



HAL
open science

Concevoir un outil didactique embarqué pour accompagner l'apprentissage de la conduite automatisée

Hugo Cusanno

► **To cite this version:**

Hugo Cusanno. Concevoir un outil didactique embarqué pour accompagner l'apprentissage de la conduite automatisée. Sciences cognitives. Nantes Université, 2022. Français. NNT : 2022NANU2008 . tel-03855036

HAL Id: tel-03855036

<https://theses.hal.science/tel-03855036v1>

Submitted on 16 Nov 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.

THÈSE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 603
Education, Langages, Interaction, Cognition, Clinique
Spécialité : *Sciences de l'Éducation, Ergonomie Cognitive*

Par

Hugo CUSANNO

Concevoir un outil didactique embarqué pour accompagner l'apprentissage de la conduite automatisée

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 23 mai 2022

Unité de recherche : Centre de Recherche en Éducation de Nantes (CREN EA2661)

Rapporteurs avant soutenance :

Jacques AUDRAN

Stéphanie MAILLES VIARD METZ

Professeur des universités, INSA Strasbourg

Professeure des universités, Aix-Marseille Université

Composition du Jury :

Président : Marc-Éric BOBILLIER-CHAUMON

Examineurs : Jacques AUDRAN

Stéphanie MAILLES VIARD METZ

Vincent BOCCARA

Dir. de thèse : Christine VIDAL-GOMEL

Enc. de thèse : Sophie LE BELLU

Professeur du CNAM, CNAM de Paris

Professeur des universités, INSA Strasbourg

Professeure des universités, Aix-Marseille Université

Maître de conférences, Université Paris Saclay

Professeure des universités, Nantes Université

Docteure, Groupe Renault

*Je dédie ce travail à la Mémoire de ma grand-mère, Rosa Cusanno.
Pour ton amour, pour ta générosité, et pour tout ce que tu as pu m'apporter.*

A Mamie Rosette.

Remerciements

Je remercie toutes les personnes ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de cette thèse. Je les remercie chaleureusement pour leur soutien et leurs encouragements.

Pour commencer, je tenais particulièrement à remercier Christine VIDAL-GOMEL et Sophie LE BELLU de m'avoir guidé avec justesse et de m'avoir fait confiance pendant ces quatre années de thèse. Vos conseils, autant sur le plan professionnel que personnel, ont été une mine d'or pour moi, et m'ont permis de garder le cap même dans les moments les plus difficiles.

Mes remerciements vont également à Stéphanie MAILLES-VIARD-METZ et Jacques AUDRAN, rapporteurs de la thèse, ainsi qu'à Marc-Éric BOBILLIER-CHAUMON et Vincent BOCCARA pour les échanges, rares mais précieux, que l'on a pu avoir ces quatre dernières années, et pour avoir accepté de faire partie du jury. Merci également à Valéry NOSULENKO d'avoir suivi mon travail et de m'avoir conseillé.

Merci aux membres du laboratoire du CREN de l'Université de Nantes de m'avoir accueilli à bras ouverts, et de m'avoir fait confiance en me donnant la chance d'enseigner des matières qui me tiennent à cœur. Mes pensées vont en particulier à mes camarades et compagnons de route, Géraldine et Joël, merci pour votre bonne humeur, votre aide et vos conseils.

Ma reconnaissance va également à l'entreprise Renault pour le cadre de travail et les ressources allouées pour la bonne réalisation de cette thèse tout au long de la convention CIFRE. Je remercie également mes collègues du projet AD Learning, Clément, Rémy, Benjamin et Sabine, ainsi que tous les collègues du service Expérience Utilisateur. Merci aux pilotes experts pour leur disponibilité tout au long d'une étude qui aura duré plus d'un an.

Je remercie ma famille et mes amis pour leur soutien sans faille. Avec une pensée toute particulière à mes parents, et mon frère Vincent, qui ont largement contribué à mon parcours universitaire et à ma réussite. Merci pour l'éducation que j'ai reçue, pour vos conseils, et tout simplement pour tout l'amour que vous m'avez donné.

Enfin, merci Penda, ma compagne depuis tant d'années, pour ta compréhension, ta patience, ton soutien, et ton amour. Merci d'avoir su m'épauler et d'avoir endurer ce dur labeur avec moi ces quatre dernières années, dans les pires comme dans les meilleurs moments.

Résumé

L'essor des nouvelles technologies pousse les constructeurs automobiles à proposer des aides à la conduite de plus en plus performantes évoluant vers de la conduite automatisée. De nombreuses études ont montré une rupture dans l'activité des conducteurs nécessitant de les accompagner pour garantir un usage sécurisé de ces systèmes. Cette thèse s'inscrit dans le cadre du projet AD Learning (Direction de la Recherche du Groupe Renault) et a pour but d'explorer, de concevoir et d'évaluer un outil didactique pouvant être embarqué directement dans les véhicules hautement automatisés. Mais alors comment élaborer un contenu pédagogique adapté aux besoins des futurs conducteurs ? Et comment concevoir un dispositif adapté à ce contexte d'activité si particulier ? Pour répondre à ces questions, nous avons élaboré une méthodologie de recherche en trois étapes. Nous avons d'abord mené deux études pour appréhender l'activité de conduite automatisée et identifier les besoins en apprentissage sous l'angle des genèses instrumentales (Rabardel, 1995). Nous avons ensuite déroulé un processus de conception s'appuyant aussi bien sur nos données empiriques que sur des modèles théoriques issus de l'approche instrumentale de Rabardel (1995). Ce travail a abouti à la conception du didacticiel embarqué « AUTO-DIDACT' », dont nous avons évalué l'impact sur l'apprentissage de la conduite automatisée en situations de simulations élaborées sur la base de nos travaux. Des résultats mitigés mais encourageants au sujet du didacticiel nous ont permis de valider en partie nos hypothèses et d'identifier un effet de la simulation sur les genèses instrumentales, plaidant en faveur d'un parcours mixant simulation et didacticiel embarqué. Enfin, nous proposons des axes d'amélioration du didacticiel en vue de son industrialisation.

Sommaire

REMERCIEMENTS.....	5
RÉSUMÉ	7
SOMMAIRE.....	9
LISTE DES FIGURES	13
LISTE DES TABLEAUX.....	17
ACRONYMES.....	19
INTRODUCTION GENERALE.....	23
PARTIE 1 : CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUES.....	29
CHAPITRE 1 : DE LA CONDUITE MANUELLE À LA CONDUITE AUTOMATISÉE, QUELS BESOINS EN APPRENTISSAGE ?	31
1.1. Introduction : la sécurité routière en quelques chiffres.....	32
1.2. Des compétences pour la conduite automobile traditionnelle.....	33
1.2.1. Trois exemples de modèles des compétences en conduite automobile	33
1.2.2. L'apprentissage de la conduite automobile traditionnelle.....	39
1.3. Des aides à la conduite pour assister le conducteur dans ses tâches : les ADAS	41
1.3.1. Différents types d'ADAS.....	42
1.3.2. Quelques travaux sur les ADAS.....	43
1.4. L'automatisation de l'activité de conduite automobile.....	51
1.4.1. La notion d'automatisation de l'activité	51
1.4.2. La classification des niveaux d'automatisation de la Society of Automotive Engineers (SAE).....	53
1.4.3. Quelques travaux sur la conduite automatisée	55
1.5. Conclusion du chapitre et problématique pour la conduite automatisée	67
CHAPITRE 2 : CONCEPTION D'UN OUTIL DIDACTIQUE, QUELS ENJEUX POUR L'INDUSTRIE AUTOMOBILE ?	71
2.1. Ce qu'en disent les autorités et les constructeurs automobiles	72
2.1.1. A l'international	73
2.1.2. Au sein de l'Union Européenne	73
2.1.3. En France.....	74
2.2. État des lieux des mises en main et aides existantes pour l'usage des ADAS	77
2.2.1. Les mises en main en concession	77
2.2.2. Les notices papier et les notices numérisées	77
2.2.3. Les autres sources d'informations / formations pour l'usage des ADAS	79
2.3. Des études exploratoires sur des dispositifs innovants pour l'apprentissage de la conduite automatisée.....	81
2.4. Méthodes de conception d'un prototype dans un contexte industriel.....	84
2.5. Conclusion du chapitre et problématique pour la conception d'un outil didactique embarqué dans le véhicule automatisé.....	87
PARTIE 2 : CADRES THÉORIQUES.....	89
CHAPITRE 3 : LA CONDUITE AUTOMATISÉE COMME ACTIVITÉ COLLECTIVE MÉDIATISÉE PAR L'INSTRUMENT	91
3.1. Introduction à l'approche instrumentale de Rabardel	91
3.2. La notion de schème	93
3.3. Les médiations dans les activités collectives : le modèle SACI	94
3.4. Des artefacts aux instruments : le processus de genèse instrumentale.....	97
3.5. Apport des modèles néo-piagétiens contemporains : l'inhibition	100
3.6. Conclusion du chapitre et hypothèse sur les transformations de l'activité de conduite automobile..	102
CHAPITRE 4 : LA CONDUITE AUTOMATISÉE D'UN VEHICULE : UNE ACTIVITÉ DE GESTION DES RISQUES DANS UN ENVIRONNEMENT DYNAMIQUE	103
4.1. La gestion des risques.....	103
4.2. Du modèle « Skill-Rule-Knowledge » de Rasmussen à la modélisation de l'activité de gestion d'un environnement dynamique.....	105
4.2.1. Le modèle de Rasmussen.....	106
4.2.2. Vers des modèles de gestion des situations dynamiques	108
4.2.3. Concevoir des outils ou des formations pour la gestion d'environnements dynamiques	113

4.3. Conclusion du chapitre et hypothèse sur l'intervention d'un outil didactique dans l'activité de conduite automatisée.....	115
CHAPITRE 5 : LA CONCEPTION D'UN OUTIL DIDACTIQUE POUR GUIDER L'APPRENTISSAGE D'UNE ACTIVITÉ INSTRUMENTÉE	117
5.1. Principes de conception d'une aide efficace à l'utilisation d'un dispositif : point de vue issue de la psychologie cognitive.....	117
5.2. EIAH : Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain.....	120
5.3. La conception d'artefacts pour l'apprentissage médiatisé : un point de vue reposant conjointement sur des approches Piagétienne et les Théories de l'activité.....	122
5.4. Les systèmes d'instruments et l'Orchestration instrumentale	124
5.4.1. Les systèmes d'instruments et les systèmes d'artefacts	124
5.4.2. L'Orchestration instrumentale.....	127
5.5. Situations de simulation et apprentissage	129
5.5.1. La simulation pour l'apprentissage.....	130
5.5.2. Rétroactions et méthodes réflexive d'auto-analyse.....	133
5.6. Conclusion du chapitre, hypothèses de conception et validité écologique	135
PARTIE 3 : MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE	139
CHAPITRE 6 : ÉTUDE DE L'ACTIVITÉ DE CONDUCTEURS POUR IDENTIFIER LE BESOIN EN APPRENTISSAGE POUR LA PRISE EN MAIN D'UN VÉHICULE AUTOMATISÉ	141
6.1. Étude de l'activité de pilotes experts en conduite automatisée sur un prototype fonctionnel.....	142
6.1.1. Matériel.....	142
6.1.2. Méthode	147
6.2. Étude de l'activité de conducteurs lambda novices en conduite automatisée sur un prototype fonctionnel.....	155
6.2.1. Matériel.....	155
6.2.2. Méthode	157
CHAPITRE 7 : CONCEPTION D'UN OUTIL DIDACTIQUE EMBARQUÉ POUR ACCOMPAGNER L'APPRENTISSAGE DE LA CONDUITE AUTOMATISÉE.....	163
7.1. Construction du contenu pédagogique à intégrer dans l'outil didactique	163
7.2. Méthode de conception de l'outil didactique embarqué	165
7.3. Conclusion du chapitre : vers un modèle de conception pour l'apprentissage médiatisé en situation	171
CHAPITRE 8 : ÉVALUATION DE L'OUTIL DIDACTIQUE EMBARQUÉ ET SON IMPACT SUR L'ACTIVITÉ DE CONDUITE AUTOMATISÉE EN SIMULATEUR.....	175
8.1. Matériel	176
8.1.1. Population étudiée.....	176
8.1.2. Caractéristiques du simulateur de conduite automatisée « Easy Drive Learning »	178
8.1.3. Conception des scénarios de conduite automatisée pour la simulation	183
8.2. Méthode	189
8.2.1. Protocole expérimental et données recueillies	190
8.2.2. Traitement des données	194
PARTIE 4 : RÉSULTATS DE LA THÈSE.....	197
CHAPITRE 9 : IDENTIFICATION DU BESOIN EN APPRENTISSAGE POUR LA PRISE EN MAIN D'UN VÉHICULE AUTOMATISÉ.....	199
9.1. Une reconstruction partielle des genèses instrumentales passées des pilotes experts en conduite automatisée.....	199
9.1.1. Une liste de situations « sensibles » spécifiques à l'activité de conduite automatisée.....	199
9.1.2. Quelques exemples d'analyses cliniques pour chaque catégorie de situations sensibles	202
9.1.3. Une série de conseils et recommandations proposés par les pilotes experts destinés aux futurs conducteurs de véhicules automatisés.....	234
9.1.4. Conclusion de l'étude auprès des pilotes experts en conduite automatisée.....	238
9.2. Identification d'amorces de genèses instrumentales chez les conducteurs « tout venant » novices en conduite automatisée.....	239
9.2.1. Confirmation et complétion de la liste des situations sensibles spécifiques à la conduite automatisée	239
9.2.2. Quatre classes de situations sensibles en fonction de leurs caractéristiques communes.....	257
9.3. Conclusion du chapitre	266
9.3.1. Concevoir le didacticiel « AUTO-DIDACT' » : trois champs d'apprentissage nécessaires	267
CHAPITRE 10 : « AUTO-DIDACT' », UN DIDACTICIEL EMBARQUÉ POUR ACCOMPAGNER L'APPRENTISSAGE DE LA CONDUITE AUTOMATISÉE.....	277

10.1. Définition du contenu pédagogique à intégrer dans le didacticiel et configuration didactique de 2 ^{ème} niveau	278
10.1.1. Expliquer le fonctionnement du véhicule automatisé	279
10.1.2. Initier aux procédures d'activation et de désactivation de la conduite automatisée.....	283
10.1.3. Guider la gestion des situations sensibles de la conduite automatisée.....	284
10.2. Présentation du didacticiel embarqué « AUTO-DIDACT' » et configuration didactique de 3 ^{ème} niveau	286
10.2.1. L'interface principale : la page d'accueil (artefact pivot)	287
10.2.2. Le module « Mes premiers pas »	289
10.2.3. Le module vidéo « Présentation générale »	290
10.2.4. Le module « Guide interactif »	291
10.2.5. Le module vidéo « Situations types »	294
10.2.6. Le module « Simulation embarquée »	296
10.3. Conclusion du chapitre : un didacticiel embarqué pivot d'une orchestration artefactuelles pour l'apprentissage d'une activité instrumentée	297
CHAPITRE 11 : RÉSULTATS DE L'ÉVALUATION DU DIDACTICIEL EMBARQUÉ « AUTO-DIDACT' »	299
11.1. Avant-propos : résultats de la conception des deux scénarios de simulation de conduite automatisée pour évaluer l'impact du didacticiel	299
11.1.1. Situations sensibles sélectionnées pour intégrer les scénarios.....	300
11.1.2. Présentation des deux scénarios de simulation de conduite automatisée.....	306
11.2. Élaboration du schème d'activation de la conduite automatisée dans des situations sensibles de la Classe A.....	308
11.2.1. La connaissance des conditions de disponibilité de la conduite automatisée.....	308
11.2.2. La connaissance de la procédure d'activation de la conduite automatisée : Résultats des questionnaires	310
11.2.3. Activité de gestion des situations d'activation de la Classe A en situation	313
11.3. Connaissances générales du fonctionnement du véhicule automatisé et gestion des situations sensibles des classes B et C.....	324
11.3.1. Les connaissances générales sur le fonctionnement du véhicule automatisé : Résultats des questionnaires	324
11.3.2. Activité de gestion des situations sensibles de la Classe B (situations gérées par le système) en situation	334
11.3.3. Activité de gestion des situations sensibles de la Classe C (situations ambiguës) en situation.....	352
11.4. Élaboration du schème de désactivation de la conduite automatisée et gestion des situations sensibles de la Classe D.....	368
11.4.1. La connaissance de la procédure de désactivation de la conduite automatisée : Résultats des questionnaires	368
11.4.2. Activité de gestion des situations de la Classe D (situations de désactivation) en situation	371
11.5. Synthèse des résultats et comparaison des deux groupes	388
11.5.1. Synthèse des résultats du Groupe 1 « didacticiel »	388
11.5.2. Synthèse des résultats du Groupe 2 « sans didacticiel ».....	406
11.5.3. Comparaison de l'activité de conduite automatisée des deux groupes en fonction des classes de situations	423
11.6. Données d'utilisation du didacticiel embarqué « AUTO-DIDACT' »	427
11.6.1. Apport du didacticiel pour l'activité de conduite automatisée	428
11.6.2. Évaluation de l'expérience utilisateur du didacticiel	433
11.7. Conclusion du chapitre : des résultats encourageants pour « AUTO-DIDACT' ».....	438
DISCUSSION GENERALE	441
1. Rappel du contexte et de la problématique de la thèse	443
2. Des apports méthodologiques pour la conception de dispositifs innovants destinés à l'apprentissage d'activités avec instruments pour le grand public.....	449
2.1. Apports méthodologiques pour l'identification du besoin en apprentissage.....	449
2.2. Apports méthodologiques pour la conception d'un outil didactique	452
2.3. Apports méthodologiques pour l'évaluation d'un outil didactique	455
3. Vers un parcours d'apprentissage associant simulation et didacticiel embarqué	456
3.1. Un effet limité du didacticiel sur l'apprentissage de la conduite automatisée	456
3.2. Le potentiel d'apprentissage de la simulation	460
4. Discussion autour de la validité écologique des résultats	462
4.1 La validité écologique de la conception du didacticiel « AUTO-DIDACT' »	462

4.2. La validité écologique de l'évaluation du didacticiel « AUTO-DIDACT' »	464
CONCLUSION	467
BIBLIOGRAPHIE.....	473
ANNEXES	487

Liste des figures

FIGURE 1 : SCHEMATISATION DES TROIS NIVEAUX DU MODELE DE LA CONDUITE AUTOMOBILE DE MICHON (1985).	35
FIGURE 2 : LE MODELE COSMODRIVE DE BELLET ET TATTEGRAIN-VESTE (2003).	36
FIGURE 3 : TAUX D'ACCIDENTS EN FONCTION DES KILOMÈTRES PARCOURUS. STATISTIQUES FINLANDAISES BASÉES SUR HAKAMIES- BLOMQVIST <i>ET AL.</i> (2002) ; (ELVIK, 2006).	40
FIGURE 4 : POSITIONNEMENT DE QUELQUES ADAS PAR RAPPORT AU MODÈLE À TROIS NIVEAUX DE MICHON (1985), ADAPTÉ DE DE WAARD & BROOKHUIS (1999).	42
FIGURE 5 : MODELE DE L'ENTONNOIR DE REENGAGEMENT DU CONDUCTEUR DANS LA BOUCLE DE CONDUITE LORS DES PHASES DE REPRISE EN MAIN SELON HAUE, LE BELLU ET BARBIER (2020).	64
FIGURE 6 : MODELE QUADRIPOLAIRE DES SITUATIONS D'ACTIVITE COLLECTIVE INSTRUMENTEE (SACI) DE RABARDEL (1995).	95
FIGURE 7 : SCHEMA DE L'INSCRIPTION DU MODELE TRIPOLAIRE DES SITUATIONS D'ACTIVITE INSTRUMENTEE (SAI) DANS LES CLASSES DE SITUATIONS (GALINIER, 1996).	97
FIGURE 8 : SCHEMA DU MODELE DE LA GENESE INSTRUMENTALE (RABARDEL, 1995).	99
FIGURE 9 : SCHEMATISATION DU MODELE SRK DE RASMUSSEN (1983, 1986), TRADUIT PAR VAUDRY (2002).	107
FIGURE 10 : SCHEMA DE LA BOUCLE DE GESTION D'ENVIRONNEMENT DYNAMIQUE (SAMURÇAY & ROGALSKI, 1998).	111
FIGURE 11 : MODELE DE GESTION DE SITUATION DYNAMIQUE (GSD) ADAPTE DE HOC ET AMALBERTI (1995, IN HOC, 2004). ...	112
FIGURE 12 : ORGANISATION DES ENVIRONNEMENTS ET DES ARTEFACTS (PERNIN, 2007)	126
FIGURE 13 : SYSTÈME DE DOUBLE COMMANDES INSTALLÉ DANS LE PROTOTYPE FONCTIONNEL DE VÉHICULE AUTOMATISÉ DE RENAULT. IL EST CONSTITUÉ D'UN VOLANT, D'UN BOÎTIER POUR LES COMMODO, DE PÉDALES (NON VISIBLES) ET DE RÉTROVISEURS.	142
FIGURE 14 : POSTE DE CONDUITE DU PROTOTYPE FONCTIONNEL UTILISÉ POUR CETTE ÉTUDE. ENTOURÉS EN ROUGE DE GAUCHE À DROITE : LE BOUTON D'ACTIVATION « R », L'ÉCRAN DU TABLEAU DE BORD, L'ÉCRAN CENTRAL DE SUPERVISION.	145
FIGURE 15 : INTERFACES DE LA CONDUITE AUTOMATISÉE (SA VIEW) PRÉSENTES SUR L'ÉCRAN DU TABLEAU DE BORD DU PROTOTYPE.	146
FIGURE 16 : CARTE DU TRAJET EFFECTUÉ ENTRE LE TECHNOCENTRE RENAULT À GUYANCOURT ET LE PONT DE SÈVRES À BOULOGNE- BILLANCOURT.	148
FIGURE 17 : CAPTURE D'ÉCRAN D'UN ENREGISTREMENT VIDÉO EN VUE SUBJECTIVE LORS DE L'ÉTAPE 2.	149
FIGURE 18 : CAPTURE D'ÉCRAN D'UN ENREGISTREMENT VIDÉO D'UN ENTRETIEN D'AUTO-CONFRONTATION LORS DE L'ÉTAPE 3.	150
FIGURE 19 : CAPTURE D'ÉCRAN DE L'ENREGISTREMENT VIDÉO DE L'ENTRETIEN D'ALLO-CONFRONTATION LORS DE L'ÉTAPE 4.	151
FIGURE 20 : EXEMPLE D'EXTRAIT DE TRANSCRIPTION ISSU D'UN ENTRETIEN DE L'ÉTAPE 1.	152
FIGURE 21 : EXEMPLE D'UN MODÈLE SACI D'UNE SITUATION DE « QUEUE DE POISSON » OU « CUT-IN ».	154
FIGURE 22 : CARTE DU TRAJET EFFECTUÉ ENTRE LE CENTRE D'ESSAIS DE MORTEFONTAINE ET LE PARKING DE L'INTERMARCHÉ DE FONTENAY-SOUS-BOIS.	157
FIGURE 23 : ILLUSTRATION DE LA DISPOSITION DES PERSONNES PRÉSENTES DANS LE PROTOTYPE LORS DES ESSAIS.	159
FIGURE 24 : ORGANISATION DES ARTEFACTS DE L'OUTIL DIDACTIQUE EMBARQUÉ EN SYSTEMES D'ARTEFACTS CONSTITUANT DES ENVIRONNEMENTS (ADAPTÉ DE PERNIN, 2007)	169
FIGURE 25 : LA BOUCLE DE LA CONCEPTION (RABARDEL, 1995).	171
FIGURE 26 : MODELE DE CONCEPTION POUR L'APPRENTISSAGE MEDIATISE EN SITUATION.	174
FIGURE 27 : SIMULATEUR DE CONDUITE AUTOMATISEE EASY DRIVE LEARNING DEVELOPPE CHEZ RENAULT DANS LE CADRE DU PROJET AD LEARNING.	179
FIGURE 28 : INTERFACES DE LA CONDUITE AUTOMATISÉE (SA VIEW) PRÉSENTES SUR L'ÉCRAN DU TABLEAU DE BORD DU SIMULATEUR.	181
FIGURE 29 : CAPTURE D'ÉCRAN D'UN ENREGISTREMENT VIDÉO D'UNE SESSION DE ROULAGE SUR LE SIMULATEUR « EASY DRIVE LEARNING ». VUE DE LA CAMÉRA (2) EN HAUT À GAUCHE, VUE DE LA CAMÉRA (1) EN HAUT À DROITE, ET VUE DE LA CAMÉRA (3) EN BAS À GAUCHE.	183
FIGURE 30 : SCHÉMA RÉCAPITULATIF DU PROCESSUS DE CONCEPTION DES SCÉNARIOS DE SIMULATION DE CONDUITE AUTOMATISÉE.	185
FIGURE 31 : CAPTURE D'ÉCRAN D'UNE PAGE DU QUESTIONNAIRE D'ÉVALUATION SUBJECTIVE DE LA CRITICITÉ DES SITUATIONS SENSIBLES DE LA CONDUITE AUTOMATISÉE.	187
FIGURE 32 : SCHÉMA RÉCAPITULATIF DE LA MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE DE LA THÈSE.	196
FIGURE 33 : SCHÉMA ILLUSTRANT UNE SITUATION D'ACTIVATION À HAUTEUR D'UNE ENTRÉE D'AUTOROUTE (CATÉGORIE 1).	203
FIGURE 34 : MODÈLE SACI D'UNE SITUATION DE LA CATÉGORIE 1 : L'ACTIVATION DE LA CONDUITE AUTOMATISÉE À HAUTEUR D'UNE ENTRÉE D'AUTOROUTE.	205

FIGURE 35 : LES DIFFERENTES COMPOSANTES DU SCHEMA D'ACTIVATION DE LA CONDUITE AUTOMATISEE RECOMPOSE A PARTIR DES PILOTES EXPERTS POUR LES SITUATIONS DE LA CATEGORIE 1.	208
FIGURE 36 : SCHEMA ILLUSTRANT UNE SITUATION DE FREINAGE AUTOMATISE DÙ A UN RALENTISSEMENT FORT ET SOUDAIN DU TRAFIC AVANT UN EMBOUTAILLAGE (CATEGORIE 2).	209
FIGURE 37 : MODELE SACI D'UNE SITUATION DE LA CATEGORIE 2 : LE FREINAGE AUTOMATISE DÙ A UN RALENTISSEMENT FORT ET SOUDAIN DU TRAFIC.	211
FIGURE 38 : LES DIFFERENTES COMPOSANTES DU SCHEMA D'UTILISATION DU VEHICULE AUTOMATISE DES PILOTES EXPERTS POUR LES SITUATIONS DE LA CATEGORIE 2.	214
FIGURE 39 : SCHEMA ILLUSTRANT UNE SITUATION DE DEPASSEMENT AUTOMATISE D'UN POIDS-LOURD (CATEGORIE 3).	216
FIGURE 40 : MODELE SACI D'UNE SITUATION DE LA CATEGORIE 3 : LE DEPASSEMENT AUTOMATISE D'UN POIDS-LOURD PAR LA GAUCHE.	217
FIGURE 41 : SCHEMA ILLUSTRANT UNE SITUATION DE DEMANDE DE REPRISE EN MAIN RAPIDE (10 SECONDES) POUR CAUSE DE TRAVAUX SUR LA VOIE.	220
FIGURE 42 : MODELE SACI D'UNE SITUATION DE LA CATEGORIE 4 : UNE DEMANDE DE REPRISE EN MAIN RAPIDE POUR CAUSE DE TRAVAUX SUR LA VOIE.	221
FIGURE 43 : LES COMPOSANTES DU SCHEMA DE REPRISE EN MAIN DES PILOTES EXPERTS POUR LES SITUATIONS DE LA CATEGORIE 4.	224
FIGURE 44 : SCHEMA ILLUSTRANT UNE SITUATION DE CIRCULATION DENSE ET CHAOTIQUE AVEC DES INSERTIONS INTEMPESTIVES EMPÊCHANT LE VEHICULE AUTOMATISE D'AVANCER (CATEGORIE 5).	226
FIGURE 45 : MODELE SACI D'UNE SITUATION DE LA CATEGORIE 5 : LA CIRCULATION DENSE ET CHAOTIQUE AVEC INSERTIONS INTEMPESTIVES.	227
FIGURE 46 : LES COMPOSANTES DU SCHEMA DE REPRISE EN MAIN DES PILOTES EXPERTS POUR LES SITUATIONS DE LA CATEGORIE 5.	229
FIGURE 47 : SCHEMA ILLUSTRANT UNE SITUATION DE DEMANDE DE REPRISE EN MAIN ANTICIPÉE (60 SECONDES) AVEC UN VEHICULE PROCHE DERRIERE.	231
FIGURE 48 : MODELE SACI D'UNE SITUATION DE LA CATEGORIE 6 : UNE DEMANDE DE REPRISE EN MAIN ANTICIPÉE AVEC UN VEHICULE PROCHE DERRIERE.	231
FIGURE 49 : MODELE SACI DE LA SITUATION D'ACTIVATION À CÔTÉ D'UNE ENTRÉE D'AUTOROUTE POUR LES CONDUCTEURS LAMBDA NOVICES (CATEGORIE 1).	241
FIGURE 50 : MODELE SACI DE LA SITUATION DE FREINAGE AUTOMATISE FORT ET SOUDAIN POUR LES CONDUCTEURS « LAMBDA » NOVICES (CATEGORIE 2).	244
FIGURE 51 : MODELE SACI DE LA SITUATION DE DEPASSEMENT AUTOMATISE D'UN POIDS LOURD POUR LES CONDUCTEURS LAMBDA NOVICES (CATEGORIE 3).	246
FIGURE 52 : MODELE SACI DE LA SITUATION DE CIRCULATION DENSE ET CHAOTIQUE AVEC INSERTIONS INTEMPESTIVES POUR LES CONDUCTEURS « LAMBDA » NOVICES (CATEGORIE 5).	249
FIGURE 53 : MODELE SACI DE LA SITUATION DE REPRISE EN MAIN AVEC UN VEHICULE PROCHE DERRIERE POUR LES CONDUCTEURS « LAMBDA » NOVICES (CATEGORIE 6).	251
FIGURE 54 : MODELE SACI COMMUN À TOUTES LES SITUATIONS DE LA CLASSE A.	258
FIGURE 55 : MODELE SACI COMMUN À TOUTES LES SITUATIONS DE LA CLASSE B.	260
FIGURE 56 : MODELE SACI COMMUN À TOUTES LES SITUATIONS DE LA CLASSE C.	262
FIGURE 57 : MODELE SACI COMMUN À TOUTES LES SITUATIONS DE LA CLASSE D.	264
FIGURE 58 : DES DOMAINES D'APPRENTISSAGE POUR LA CONCEPTION DU DIDACTICIEL « AUTO-DIDACT' ».	268
FIGURE 59 : MATRICE DES CARACTÉRISTIQUES COMMUNES AUX SITUATIONS DE LA CLASSE A.	273
FIGURE 60 : MATRICE DES CARACTÉRISTIQUES COMMUNES AUX SITUATIONS DE LA CLASSE B.	273
FIGURE 61 : MATRICE DES CARACTÉRISTIQUES COMMUNES AUX SITUATIONS DE LA CLASSE C.	274
FIGURE 62 : MATRICE DE CARACTÉRISTIQUES COMMUNES AUX SITUATIONS DE LA CLASSE D.	274
FIGURE 63 : RAPPEL DU MODELE DE CONCEPTION POUR L'APPRENTISSAGE MEDIATISE EN SITUATION ELABORE DANS CETTE THESE.	278
FIGURE 64 : CAPTURE D'ECRAN DE LA PAGE D'ACCUEIL (INTERFACE PRINCIPALE) DU DIDACTICIEL AUTO-DIDACT'.	287
FIGURE 65 : CAPTURE D'ECRAN DU MODULE "MES PREMIERS PAS" DU DIDACTICIEL AUTO-DIDACT'.	290
FIGURE 66 : CAPTURE D'ECRAN DU MODULE "PRESENTATION GENERALE" DU DIDACTICIEL AUTO-DIDACT'.	291
FIGURE 67 : CAPTURE D'ECRAN DE LA PAGE 2 DU CHAPITRE 4 DU MODULE "GUIDE INTERACTIF" DU DIDACTICIEL AUTO-DIDACT'.	293
FIGURE 68 : CAPTURE D'ECRAN DE LA PAGE 2 DU MINI-QUIZZ DU MODULE "GUIDE INTERACTIF" DU DIDACTICIEL AUTO-DIDACT'.	294
FIGURE 69 : CAPTURE D'ECRAN DU MODULE "SITUATIONS TYPES" (CLASSE A) DU DIDACTICIEL AUTO-DIDACT'.	295
FIGURE 70 : CAPTURE D'ECRAN DU TABLEAU DE BORD AFFICHANT LA SIMULATION DE CONDUITE DU MODULE "SIMULATION EMBARQUEE" DU DIDACTICIEL AUTO-DIDACT'.	297
FIGURE 71 : SCHEMA DU SCENARIO A DE SIMULATION DE CONDUITE AUTOMATISEE.	306
FIGURE 72 : SCHEMA DU SCENARIO B DE SIMULATION DE CONDUITE AUTOMATISEE.	307

FIGURE 73 : L'ÉVOLUTION DES SCORES MOYENS DES GROUPES 1 « DIDACTICIEL » ET 2 « SANS DIDACTICIEL » POUR LA CONNAISSANCE DES CONDITIONS DE DISPONIBILITÉ DE LA CONDUITE AUTOMATISÉE.	309
FIGURE 74 : L'ÉVOLUTION DES SCORES MOYENS DES GROUPES 1 « DIDACTICIEL » ET 2 « SANS DIDACTICIEL » POUR LA CONNAISSANCE DE LA PROCEDURE D'ACTIVATION DE LA CONDUITE AUTOMATISÉE.	311
FIGURE 75 : RAPPEL DU MODÈLE SACI DES SITUATIONS SENSIBLES DE LA CLASSE A.	315
FIGURE 76 : L'ÉVOLUTION DES SCORES MOYENS DES GROUPES 1 « DIDACTICIEL » ET 2 « SANS DIDACTICIEL » POUR LA QUESTION SUR LES TECHNOLOGIES RÉGISSANT LE FONCTIONNEMENT DE LA CONDUITE AUTOMATISÉE.	325
FIGURE 77 : LES SCORES MOYENS DES GROUPES 1 « DIDACTICIEL » ET 2 « SANS DIDACTICIEL » CONCERNANT LA RECONNAISSANCE DES INTERFACES DU MODE AUTOMATISE.	327
FIGURE 78 : L'ÉVOLUTION DES SCORES MOYENS DES GROUPES 1 « DIDACTICIEL » ET 2 « SANS DIDACTICIEL » POUR LA CONNAISSANCE DES DEVOIRS DU CONDUCTEUR LORSQUE LA CONDUITE AUTOMATISÉE EST ACTIVÉE.....	329
FIGURE 79 : L'ÉVOLUTION DES SCORES MOYENS DES GROUPES 1 « DIDACTICIEL » ET 2 « SANS DIDACTICIEL » SUR LA CONNAISSANCE DES POSSIBILITÉS DE VIE À BORD LORSQUE LA CONDUITE AUTOMATISÉE EST ACTIVÉE.	332
FIGURE 80 : RAPPEL DU MODÈLE SACI DES SITUATIONS SENSIBLES DE LA CLASSE B.	337
FIGURE 81 : RAPPEL DU MODÈLE SACI DES SITUATIONS SENSIBLES DE LA CLASSE C.	354
FIGURE 82 : L'ÉVOLUTION DES SCORES MOYENS DES GROUPES 1 « DIDACTICIEL » ET 2 « SANS DIDACTICIEL » POUR LA CONNAISSANCE DE LA PROCEDURE DE DÉSACTIVATION DE LA CONDUITE AUTOMATISÉE.	369
FIGURE 83 : RAPPEL DU MODÈLE SACI DES SITUATIONS SENSIBLES DE LA CLASSE D.	373
FIGURE 84 : COMPARAISON DE L'ACTIVITÉ DU GROUPE 1 « DIDACTICIEL » ET DU GROUPE 2 « SANS DIDACTICIEL » DANS LES SITUATIONS D'ACTIVATION DE LA CLASSE A.	424
FIGURE 85 : COMPARAISON DE L'ACTIVITÉ DU GROUPE 1 « DIDACTICIEL » ET DU GROUPE 2 « SANS DIDACTICIEL » DANS LES SITUATIONS DE LA CLASSE B.....	425
FIGURE 86 : COMPARAISON DE L'ACTIVITÉ DU GROUPE 1 « DIDACTICIEL » ET DU GROUPE 2 « SANS DIDACTICIEL » DANS LES SITUATIONS AMBIGÜES DE LA CLASSE C.....	426
FIGURE 87 : COMPARAISON DE L'ACTIVITÉ DU GROUPE 1 « DIDACTICIEL » ET DU GROUPE 2 « SANS DIDACTICIEL » DANS LES SITUATIONS DE DESACTIVATION DE LA CLASSE D.	427

Liste des tableaux

TABLEAU 1 : MATRICE GDE OU « GOALS FOR DRIVERS EDUCATION » (ASSAILLY, 2013 ; HATAKKA, KESKINEN, GREGERSEN, GLAD, & HERNETKOSKI, 2002).	38
TABLEAU 2 : DESCRIPTION DE LA POPULATION DE PILOTES EXPERTS EN CONDUITE AUTOMATISÉE ÉTUDIÉE.	144
TABLEAU 3 : EXEMPLE D'EXTRAIT D'ANALYSE CHRONOLOGIQUE D'UN ENREGISTREMENT VIDÉO DE L'ÉTAPE 2.	153
TABLEAU 4 : DESCRIPTION DE LA POPULATION DE 20 CONDUCTEURS « LAMBDA » NOVICES EN CONDUITE AUTOMATISÉE ÉTUDIÉE.	156
TABLEAU 5 : DESCRIPTION DE LA POPULATION DE CONDUCTEURS LAMBDA NOVICES EN CONDUITE AUTOMATISÉE DU GROUPE 1 « DIDACTICIEL ».	177
TABLEAU 6 : DESCRIPTION DE LA POPULATION DE CONDUCTEURS LAMBDA NOVICES EN CONDUITE AUTOMATISÉE DU GROUPE 2 « SANS DIDACTICIEL ».	178
TABLEAU 7 : ORDRE DE PRÉSENTATION DES SCÉNARIOS A ET B AUX PARTICIPANTS DES GROUPES 1 ET 2.	190
TABLEAU 8 : RÉCAPITULATIF DES DONNÉES RECUEILLIES À CHAQUE ÉTAPE DE L'EXPÉRIMENTATION	194
TABLEAU 9 : DESCRIPTION DES RELATIONS ET MÉDIATIONS EN JEU CHEZ LES PILOTES EXPERTS DANS LES SITUATIONS D'ACTIVATION À HAUTEUR D'UNE ENTRÉE D'AUTOROUTE (CATÉGORIE 1).	205
TABLEAU 10 : DESCRIPTION DES RELATIONS ET MÉDIATIONS EN JEU CHEZ LES PILOTES EXPERTS DANS LES SITUATIONS DE FREINAGE AUTOMATISÉ DÙ À UN RALENTISSEMENT FORT ET SOUDAIN DU TRAFIC (CATÉGORIE 2).	211
TABLEAU 11 : DESCRIPTION DES RELATIONS ET MÉDIATIONS EN JEU DANS UNE SITUATION DE DÉPASSEMENT AUTOMATISÉ D'UN POIDS-LOURD PAR LA GAUCHE (CATÉGORIE 3).	217
TABLEAU 12 : DESCRIPTION DES RELATIONS ET MÉDIATIONS EN JEU CHEZ LES PILOTES EXPERTS DANS LES SITUATIONS DE DEMANDE DE REPRISE EN MAIN RAPIDE POUR CAUSE DE TRAVAUX (CATÉGORIE 4).	222
TABLEAU 13 : DESCRIPTION DES RELATIONS ET MÉDIATIONS EN JEU DANS LA SITUATION DE CIRCULATION DENSE ET CHAOTIQUE AVEC INSERTIONS INTEMPESTIVES (CATÉGORIE 5).	227
TABLEAU 14 : DESCRIPTION DES RELATIONS ET MÉDIATIONS EN JEU CHEZ LES PILOTES EXPERTS DANS LES SITUATIONS DE DEMANDE DE REPRISE EN MAIN ANTICIPÉE AVEC UN VÉHICULE PROCHE DERRIÈRE (CATÉGORIE 6).	232
TABLEAU 15 : CONSEILS ET RECOMMANDATIONS DES PILOTES EXPERTS POUR SE PRÉPARER À LA CONDUITE AUTOMATISÉE (CATÉGORIE A).	235
TABLEAU 16 : CONSEILS ET RECOMMANDATIONS DES PILOTES EXPERTS POUR BIEN ACTIVER LA CONDUITE AUTOMATISÉE (CATÉGORIE B).	236
TABLEAU 17 : CONSEILS ET RECOMMANDATIONS DES PILOTES EXPERTS POUR ADOPTER LA BONNE ATTITUDE EN CONDUITE AUTOMATISÉE (CATÉGORIE C).	237
TABLEAU 18 : CONSEILS ET RECOMMANDATIONS DES PILOTES EXPERTS POUR BIEN DÉSACTIVER LA CONDUITE AUTOMATISÉE (CATÉGORIE D).	238
TABLEAU 19 : LISTE DES SITUATIONS SENSIBLES RÉPERTORIÉES EN FONCTION DE LEUR PRÉSENCE OU NON DANS NOS DEUX ÉTUDES (PILOTES EXPERTS ET CONDUCTEURS NOVICES).	241
TABLEAU 20 : CONSEILS ET RECOMMANDATIONS RETENUS POUR BIEN COMPRENDRE LE FONCTIONNEMENT DU VÉHICULE AUTOMATISÉ.	269
TABLEAU 21 : CONSEILS ET RECOMMANDATIONS RETENUS POUR UNE BONNE RÉALISATION DES PROCÉDURES D'ACTIVATION ET DE DÉSACTIVATION DE LA CONDUITE AUTOMATISÉE.	270
TABLEAU 22 : LISTE COMPLÈTE DES SITUATIONS SENSIBLES SPÉCIFIQUES À LA CONDUITE AUTOMATISÉE IDENTIFIÉES LORS DES ÉTUDES RÉALISÉES AUPRÈS DES PILOTES EXPERTS ET DES CONDUCTEURS « LAMBDA » NOVICES EN CONDUITE AUTOMATISÉE.	271
TABLEAU 23 : CONSEILS ET RECOMMANDATIONS RETENUS POUR UNE BONNE GESTION DES SITUATIONS SENSIBLES DE LA CONDUITE AUTOMATISÉE.	275
TABLEAU 24 : CONFIGURATION DIDACTIQUE DES MODULES COMPOSANT LE DIDACTICIEL AUTO-DIDACT'.	288
TABLEAU 25 : RÉSULTATS DU QUESTIONNAIRE D'ÉVALUATION SUBJECTIVE DE LA CRITICITÉ DES SITUATIONS SENSIBLES SPÉCIFIQUES À LA CONDUITE AUTOMATISÉE.	301
TABLEAU 26 : RÉPARTITION DES SITUATIONS SENSIBLES EN FONCTION DE LEUR PROBABILITÉ D'APPARITION DANS LES SITUATIONS "SOURCES".	304
TABLEAU 27 : RÉPARTITION DES SITUATIONS SENSIBLES SÉLECTIONNÉES ENTRE LES DEUX SCÉNARIOS DE SIMULATION DE CONDUITE AUTOMATISÉE.	305
TABLEAU 28 : RÉSULTATS DU GROUPE 1 « DIDACTICIEL » CONCERNANT LA GESTION DES SITUATIONS SENSIBLES DE LA CLASSE A LORS DES SESSIONS 1 ET 2.	314
TABLEAU 29 : DIFFICULTÉS IDENTIFIÉES CHEZ LES PARTICIPANTS DU GROUPE 1 « DIDACTICIEL » EN FONCTION DES RELATIONS ET MÉDIATIONS EN JEU DANS LES SITUATIONS DE LA CLASSE A.	315

TABLEAU 30 : RÉSULTATS DU GROUPE 2 « SANS DIDACTICIEL » CONCERNANT LA GESTION DES SITUATIONS SENSIBLES DE LA CLASSE A LORS DES SESSIONS 1 ET 2.	319
TABLEAU 31 : DIFFICULTÉS IDENTIFIÉES CHEZ LES PARTICIPANTS DU GROUPE 2 « SANS DIDACTICIEL » EN FONCTION DES RELATIONS ET MÉDIATIONS EN JEU DANS LES SITUATIONS DE LA CLASSE A.	320
TABLEAU 32 : LA GESTION DES SITUATIONS SENSIBLES DE LA CLASSE B LORS DES SESSIONS 1 ET 2 PAR LE GROUPE 1 « DIDACTICIEL ».	336
TABLEAU 33 : DIFFICULTÉS IDENTIFIÉES CHEZ LES PARTICIPANTS DU GROUPE 1 « DIDACTICIEL » EN FONCTION DES RELATIONS ET MÉDIATIONS EN JEU DANS LES SITUATIONS DE LA CLASSE B.	338
TABLEAU 34 : DIFFICULTÉS RENCONTRÉES PAR LES PARTICIPANTS DU GROUPE 1 « DIDACTICIEL » EN FONCTION DES SOUS-BUTS LIÉS À L'ACTIVITÉ DES CONDUCTEURS DANS LES SITUATIONS DE LA CLASSE B.	339
TABLEAU 35 : LA GESTION DES SITUATIONS SENSIBLES DE LA CLASSE B LORS DES SESSIONS 1 ET 2 DU GROUPE 2 « SANS DIDACTICIEL ».	344
TABLEAU 36 : DIFFICULTÉS IDENTIFIÉES CHEZ LES PARTICIPANTS DU GROUPE 2 « DIDACTICIEL » EN FONCTION DES RELATIONS ET MÉDIATIONS EN JEU DANS LES SITUATIONS DE LA CLASSE B.	345
TABLEAU 37 : DIFFICULTÉS RENCONTRÉES PAR LES PARTICIPANTS DU GROUPE 2 « SANS DIDACTICIEL » EN FONCTION DES SOUS-BUTS LIÉS À L'ACTIVITÉ DES CONDUCTEURS DANS LES SITUATIONS DE LA CLASSE B.	347
TABLEAU 38 : LA GESTION DES SITUATIONS SENSIBLES DE LA CLASSE C LORS DES SESSIONS 1 ET 2 PAR LE GROUPE 1 « DIDACTICIEL ».	354
TABLEAU 39 : DIFFICULTÉS IDENTIFIÉES CHEZ LES PARTICIPANTS DU GROUPE 1 « DIDACTICIEL » EN FONCTION DES RELATIONS ET MÉDIATIONS EN JEU DANS LES SITUATIONS DE LA CLASSE C.	355
TABLEAU 40 : DIFFICULTÉS RENCONTRÉES PAR LES PARTICIPANTS DU GROUPE 1 « DIDACTICIEL » EN FONCTION DES SOUS-BUTS DE LA TÂCHE D'ACTIVATION DANS LES SITUATIONS DE LA CLASSE C.	357
TABLEAU 41 : RÉSUMÉ DES RÉSULTATS DU GROUPE 2 « SANS DIDACTICIEL » CONCERNANT LA GESTION DES SITUATIONS SENSIBLES DE LA CLASSE C LORS DES SESSIONS 1 ET 2.	361
TABLEAU 42 : DIFFICULTÉS IDENTIFIÉES CHEZ LES PARTICIPANTS DU GROUPE 2 « SANS DIDACTICIEL » EN FONCTION DES RELATIONS ET MÉDIATIONS EN JEU DANS LES SITUATIONS DE LA CLASSE C.	362
TABLEAU 43 : DIFFICULTÉS RENCONTRÉES PAR LES PARTICIPANTS DU GROUPE 2 « SANS DIDACTICIEL » EN FONCTION DES SOUS-BUTS DE LA TÂCHE D'ACTIVATION DANS LES SITUATIONS DE LA CLASSE C.	365
TABLEAU 44 : RÉSUMÉ DES RÉSULTATS DU GROUPE 1 « DIDACTICIEL » CONCERNANT LA GESTION DES SITUATIONS SENSIBLES DE LA CLASSE D LORS DES SESSIONS 1 ET 2.	372
TABLEAU 45 : DIFFICULTÉS IDENTIFIÉES CHEZ LES PARTICIPANTS DU GROUPE 1 « DIDACTICIEL » EN FONCTION DES RELATIONS ET MÉDIATIONS EN JEU DANS LES SITUATIONS DE LA CLASSE D.	374
TABLEAU 46 : DIFFICULTÉS RENCONTRÉES PAR LES PARTICIPANTS DU GROUPE 1 « DIDACTICIEL » EN FONCTION DES SOUS-BUTS DE LA TÂCHE DE DÉSACTIVATION DANS LES SITUATIONS DE LA CLASSE D.	376
TABLEAU 47 : RÉSUMÉ DES RÉSULTATS DU GROUPE 2 « SANS DIDACTICIEL » CONCERNANT LA GESTION DES SITUATIONS SENSIBLES DE LA CLASSE D LORS DES SESSIONS 1 ET 2.	381
TABLEAU 48 : DIFFICULTÉS IDENTIFIÉES CHEZ LES PARTICIPANTS DU GROUPE 2 « SANS DIDACTICIEL » EN FONCTION DES RELATIONS ET MÉDIATIONS EN JEU DANS LES SITUATIONS DE LA CLASSE D.	382
TABLEAU 49 : DIFFICULTÉS RENCONTRÉES PAR LES PARTICIPANTS DU GROUPE 2 « SANS DIDACTICIEL » EN FONCTION DES SOUS-BUTS DE LA TÂCHE DE DÉSACTIVATION DANS LES SITUATIONS DE LA CLASSE D.	385
TABLEAU 50 : NOMBRE D'ERREURS ET DE DIFFICULTÉS DES PARTICIPANTS DU GROUPE 1 « DIDACTICIEL » PAR CLASSE DE SITUATION EN SESSION 1 ET EN SESSION 2.	389
TABLEAU 51 : NOMBRE D'ERREURS ET DE DIFFICULTÉS DES PARTICIPANTS DU GROUPE 2 « SANS DIDACTICIEL » PAR CLASSE DE SITUATION EN SESSION 1 ET EN SESSION 2.	407
TABLEAU 52 : TYPES DE CONNAISSANCES MOBILISÉES PAR LES PARTICIPANTS DU GROUPE 1 « DIDACTICIEL » EN FONCTION DES CLASSES DE SITUATIONS DE LA CONDUITE AUTOMATISÉE.	429
TABLEAU 53 : POURCENTAGE DE TEMPS PASSÉ SUR LES DIFFÉRENTS MODULES DU DIDACTICIEL « AUTO-DIDACT' » POUR CHAQUE PARTICIPANT DU GROUPE 1 TOUTES SESSIONS CONFONDUES.	431
TABLEAU 54 : RÉCAPITULATIF DES FORCES ET DES FAIBLESSES DE CHAQUE INTERFACES ET MODULES DU DIDACTICIEL « AUTO-DIDACT' ».	434

Acronymes

ACC : *Adaptative Cruise Control*

AD : *Automated Driving* (conduite automatisée)

ADAS : *Advanced Driver-Assistance System* (système d'aide à la conduite)

EIAH : Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain

FH : Facteurs Humains

GDE : *Goals for Drivers Education*

GT : Groupe de Travail

HUD : *Head-Up Display*

IHM : Interface Humain-Machine

LCA : *Lane Centering Assist*

MRM : *Minimum Risk Maneuver* (manœuvre de refuge automatique)

PoC : *Proof of Concept*

SAE : *Society of Automotive Engineers*

SA View : *Situation Awareness View* (affichage de la conscience de la situation)

SdF : Sûreté de Fonctionnement

VA : Véhicule Automatisé

*« I believe in standardizing automobiles.
I do not believe in standardizing human beings. »*

Albert Einstein

In « *What Life Means to Einstein: an Interview by George Sylvester Viereck* »
The Saturday Evening Post, p. 17, October 26, 1929

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

PARTIE 1 : Contexte et Problématiques

PARTIE 2 : Cadres Théoriques

PARTIE 3 : Méthodologie Générale

PARTIE 4 : Résultats de la Thèse

DISCUSSION GENERALE

CONCLUSION

Poussés par l'essor des nouvelles technologies, depuis plus de 25 ans, les constructeurs automobiles proposent des systèmes d'aide à la conduite de plus en plus performants. Aujourd'hui, ces systèmes évoluent vers le remplacement progressif du conducteur dans l'entièreté de son activité de conduite. Ce nouveau paradigme est à l'origine d'une rupture dans l'activité des conducteurs qui sont amenés à coopérer avec leur véhicule dans un jeu d'échange de rôle plus ou moins complexe. De nombreuses études ont ainsi mis en évidence les difficultés liées à l'utilisation de véhicules de plus en plus automatisés. Leur conclusion est sans équivoque : un accompagnement des conducteurs est nécessaire pour garantir un usage sécurisé de ces systèmes.

Le projet AD Learning mené au sein de la Direction de la Recherche du Groupe Renault a eu pour objectif d'explorer, de concevoir et d'évaluer différents moyens d'accompagnement des clients de la marque, pour l'usage des véhicules automatisés de niveaux 2, 3 et 4 SAE¹. C'est dans ce contexte que ce travail de thèse a été réalisé. Il s'agissait alors d'explorer, de concevoir et d'évaluer un dispositif d'accompagnement pouvant être embarqué directement dans les véhicules automatisés de niveaux 3 et 4 SAE. Deux questions se posaient : comment élaborer un contenu de connaissances adapté aux besoins des futurs conducteurs ? Et comment concevoir un dispositif embarqué adapté au contexte d'usage du véhicule automatisé ? La littérature scientifique que nous présentons dans la première partie de ce document, nous a offert une base solide pour identifier les grands thèmes concernant le besoin en apprentissage des futurs conducteurs, mais aussi pour donner une orientation à notre travail de conception. Les modèles théoriques que nous présentons en deuxième partie nous ont ensuite permis de mieux cerner les enjeux de l'analyse de l'activité de conduite automatisée pour identifier le besoin en apprentissage des conducteurs, et de cadrer notre méthodologie de conception d'un outil didactique embarqué.

Ainsi, nous avons dressé la liste d'hypothèses suivante : le passage de la conduite traditionnelle à la conduite automatisée serait source de transformation des relations et médiations en jeu dans l'activité des conducteurs, nécessitant une adaptation de leurs schèmes par assimilation, accommodation (Rabardel, 1995, 2001, 2005) ou inhibition (Houdé, 1995, 2007, 2014, 2020). Ces adaptations ne pourraient pas avoir lieu « sur le tas » car la conduite automatisée constitue une activité à risque en situations dynamiques peu propices aux tâches de résolution de problème nécessaires au développement des compétences (Samurçay et Rogalski, 1992 ; Amalberti, 1996 ; Vidal-Gomel, 2001 ; Hoc, 2004...). C'est notamment pour cela que nous avons fait l'hypothèse que le dispositif conçu devait intervenir en amont de l'activité réelle, pour la préparer en amorçant la transformation ou l'inhibition des

¹ *Society of Automotive Engineers*

schèmes de la conduite traditionnelle dans un environnement sécurisé. Enfin, concernant la conception, nous avons mobilisé l'ensemble des artefacts disponibles dans l'environnement d'apprentissage, en proposant un système d'artefacts pour l'apprentissage (Rabardel, 1995 ; Trouche, 2003, 2007 ; Bourmaud, 2006...) à plusieurs niveaux, dans lequel nous avons intégré notre outil didactique en tant qu'EIAH (Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain ; Tchounikine, 2002, 2004 ; Balacheff, 2002 ; Jean-Daubias, 2004...). Nous avons fait l'hypothèse que ce dispositif permettrait le développement des compétences des deux premiers niveaux du modèle GDE (Siegrist, 1999 ; Boccara, 2011) : la maîtrise instrumentale du véhicule et la maîtrise des situations de conduite ; ainsi que le développement de méta-connaissances grâce à la simulation et à des méthodes réflexives d'auto-analyse (Samurçay & Rogalski, 1998 ; Samurçay, 2005 ; Audran, 2016 ; Vadcard & Luengo, 2005 ; Lemercier et al. 2001...).

Pour répondre à nos questions de recherche et valider nos hypothèses, nous avons élaboré et mis en œuvre une méthodologie de recherche en trois phases que nous rapportons dans la Partie 3 de ce document. En première phase, nous avons d'abord mené deux études sur prototype roulant et sur route ouverte pour mieux comprendre l'activité de conducteurs experts et novices en conduite automatisée, et ainsi identifier leurs besoins en apprentissage sous l'angle des genèses instrumentales (Rabardel, 1995). Pour la première étude nous avons déroulé une démarche de recherche en quatre étapes auprès de pilotes experts en conduite automatisée. L'objectif était de recueillir leur expérience vécue, d'extraire leurs connaissances et de tenter de reconstruire leurs genèses instrumentales passées avec des prototypes fonctionnels de véhicules automatisés. La seconde étude a été menée auprès de conducteurs « tout venant » novices en conduite automatisée, dans le but de confirmer les résultats de la première étude et d'identifier les difficultés et les besoins en apprentissage spécifiques à cette catégorie de population. Les résultats de ces deux études (Partie 4) ont été mis au regard du modèle SACI (Situations d'Activité Collective Instrumentée) de Rabardel (1995) et nous ont permis d'identifier une liste de situations sensibles spécifiques à la conduite automatisée. Nous pensons que ces situations nécessitent une attention particulière des conducteurs pour apprendre à les gérer. Les transformations requises dans ces situations ont permis d'identifier les sources des difficultés rencontrées par les conducteurs, et d'établir une classification des situations sur la base des buts poursuivis par ces derniers : (A) les situations d'activation de la conduite automatisée, (B) les situations gérées par la conduite automatisée, (C) les situations ambiguës de la conduite automatisée, et (D) les situations de désactivation de la conduite automatisée. Les difficultés identifiées concernent principalement l'apprentissage et la réalisation des procédures d'activation et de désactivation, mais également l'inhibition des habitudes des conducteurs dans les situations gérées par la conduite automatisée.

INTRODUCTION GENERALE

En deuxième phase, nous avons déroulé un processus de conception s'appuyant à la fois sur les données empiriques récoltées dans nos deux premières études et sur des modèles théoriques issus notamment de l'approche instrumentale de Rabardel (1995) et du domaine des EIAH. Ce travail a abouti à la conception du didacticiel embarqué « AUTO-DIDACT' » que nous présentons dans la Partie 4 de ce document. Il s'agit d'un EIAH composé d'un premier niveau de système d'artefacts pour l'apprentissage (l'outil didactique que nous avons conçu), lui-même intégré dans un système d'artefacts aidant l'apprentissage (l'ensemble d'artefacts présents dans le cockpit du véhicule : écrans, boutons, volant, pédales, etc.). Au sein de l'outil didactique on retrouve deux modules au format vidéo (Présentation générale et Situation-types), un module proposant des infographies interactives (Guide interactif) et un module proposant une simulation de conduite automatisée (Simulation embarquée). Les connaissances sont réparties dans les modules selon une logique de fonctionnement et une logique d'utilisation avec trois objectifs principaux : (1) expliquer le fonctionnement du véhicule automatisé, (2) initier aux procédures d'activation et de désactivation de la conduite automatisée, et (3) guider la gestion des situations sensibles de la conduite automatisée.

Enfin, en troisième et dernière phase, ce travail de thèse a consisté à évaluer l'impact de ce dispositif d'apprentissage sur l'activité de conduite automatisée dans le but de valider ou infirmer nos hypothèses de recherche. Nous avons réalisé une étude (semi)longitudinale sur un simulateur de conduite automatisée pour comparer deux groupes : (1) un groupe test ayant accès à notre dispositif d'apprentissage avant la phase de conduite, et (2) un groupe témoin n'ayant qu'un léger briefing oral avant la conduite. Dans l'ensemble, les résultats (Partie 4) ont montré que le didacticiel a principalement aidé le premier groupe à inhiber ses automatismes de la conduite traditionnelle dans les situations de la Classe B, et à gérer les situations ambiguës de la Classe C. En revanche, concernant les situations de désactivation (Classe D) les résultats montrent que le groupe test « didacticiel » a appris plus rapidement à gérer ces situations, mais que dès le second essai la différence entre les deux groupes s'est estompée. Enfin, notre dispositif n'a pas impacté la gestion des situations d'activation (Classe A). Nous notons également que les scénarios de simulation que nous avons conçus spécifiquement pour cette évaluation, sur la base des résultats de nos deux premières études, a permis un apprentissage chez les deux groupes que nous n'avions pas prévu initialement. Ce résultat est intéressant et nous incite à imaginer un parcours d'apprentissage articulant simulation de conduite automatisée en simulateur et utilisation de l'outil didactique embarqué dans le véhicule. Ces résultats couplés à une analyse approfondie de l'utilisation de l'outil didactique par le groupe test, nous ont permis de dégager des axes d'améliorations en vue d'une potentielle industrialisation.

INTRODUCTION GENERALE

Dans la dernière partie de ce document, nous discutons l'ensemble du travail réalisé au regard de la littérature, en particulier la méthodologie et les résultats obtenus. La validité écologique de la conception est également discutée, avant de proposer des perspectives concernant l'amélioration de notre méthodologie et de l'outil didactique lui-même.

PARTIE 1 : Contexte et Problématiques

INTRODUCTION GENERALE

PARTIE 1 : Contexte et Problématiques

Chapitre 1 : De la conduite manuelle à la conduite automatisée, quels besoins en apprentissage ?

Chapitre 2 : Conception d'un outil didactique, quels enjeux pour l'industrie automobile ?

PARTIE 2 : Cadres Théoriques

PARTIE 3 : Méthodologie Générale

PARTIE 4 : Résultats de la Thèse

DISCUSSION GENERALE

CONCLUSION

Résumé : Dans cette partie, nous exposons dans un premier temps une revue de littérature concernant l'évolution de l'activité de conduite automobile vers l'automatisation, mettant en exergue les problématiques que cela soulève, notamment en termes d'apprentissage de l'utilisation des nouveaux systèmes. Dans un second temps, nous nous penchons plus spécifiquement sur la question de la conception de dispositifs d'accompagnement des conducteurs, et sur les enjeux pour l'industrie automobile. Ces deux premiers chapitres apportent un contexte à ce travail de thèse, et permettent d'identifier les principales problématiques.

Chapitre 1 : De la conduite manuelle à la conduite automatisée, quels besoins en apprentissage ?

Depuis les années soixante, le nombre de travaux sur la conduite automobile n'a cessé d'augmenter dans le champ de la psychologie cognitive et de l'ergonomie. C'est ainsi qu'une définition de l'activité de conduite automobile faisant consensus dans ce champ de recherche a émergé : « *une tâche complexe qui nécessite des capacités perceptives, motrices et cognitives. Au plan cognitif, le conducteur doit sélectionner, parmi les informations multiples en provenance de la situation routière, celles qui sont pertinentes pour la tâche routière. Il doit ensuite répondre par des actions adaptées à cette situation* » (INSERM, 2011, p.21). Le fil rouge des travaux menés concerne alors la volonté de réduire le nombre d'accidents de la route en élaborant des modèles de l'activité de conduite automobile les plus fidèles possible rendant compte des processus cognitifs en jeu, des phénomènes environnementaux, et des interactions entre le conducteur et son milieu (ses instruments, les situations et contextes de conduite, l'environnement social et sociétal, etc.). Dans la continuité de l'ensemble des travaux menés jusqu'alors, l'émergence des nouvelles technologies et la volonté des constructeurs automobiles de toujours innover davantage pour plus de confort et de sécurité, a fait naître de nouveaux axes de recherche. Ces derniers s'intéressent à l'impact des systèmes innovants s'immisçant dans l'activité des conducteurs, pour le meilleur (aide à la conduite, prévention, sécurité, etc.) et pour le pire (accumulation et incompréhension des nouveaux systèmes, abandon de l'usage ou usages menant à des incidents ou des accidents de la route).

Dans ce chapitre nous commençons par présenter quelques chiffres récents de la sécurité routière pour faire un état des lieux du contexte dans lequel prend place ce travail de thèse. Nous nous attardons ensuite sur quelques travaux concernant l'activité de conduite automobile dite « traditionnelle », puis sur les aides à la conduite et leur impact sur l'activité des conducteurs, pour enfin aborder la question de la conduite automatisée et les challenges en cours ou à venir pour les constructeurs automobiles. Nous terminons ce chapitre en présentant quelques travaux menés en ergonomie sur les aides à la conduite et sur la conduite automatisée chez Renault. La conclusion de ce chapitre vise à cadrer une partie de la problématique de recherche de cette thèse.

1.1. Introduction : la sécurité routière en quelques chiffres

Environ 1,35 millions de personnes décèdent chaque année dans le monde sur les routes dont 2 % dans l'Union européenne. Dans cette section nous avons choisi de présenter les chiffres de l'année qui a précédé la pandémie de la Covid-19. En effet, les chiffres de l'année 2021 ne sont que partiels au moment où nous rédigeons ces lignes, et selon le Bilan 2020 de l'ONISR², en France, les chiffres de l'année 2020 ont été historiquement bas en raison des différents confinements imposés par le gouvernement en place (nombre d'accidents en baisse de 19%, nombre de blessés en baisse de 20% et nombre de décès en baisse de 21% par rapport à 2019).

A l'échelle de l'Union Européenne (pour les 27 États membres), le Bilan 2019 de l'ONISR fait état d'environ 22 800 décès, soit une baisse de 2% par rapport à 2018. Le ratio de décès par million d'habitant est estimé à 51 personnes. En France métropolitaine, ce ratio est de 50 personnes décédées dans un accident de la route pour un million d'habitants. Ce chiffre, certes légèrement inférieur à la moyenne européenne reste néanmoins supérieur à des pays comme l'Allemagne, l'Espagne et le Royaume-Uni (hors Union Européenne). La part de la France représente 14%, mais si l'on rapporte ces chiffres au nombre de kilomètres parcourus par les véhicules, le bilan est inférieur à la moyenne européenne (moins de 6,1 personnes décédées par milliard de kilomètres parcourus).

Pour être plus précis, le Bilan 2019 de l'ONISR révèle que la France (métropole et outre-mer) compte environ 58 840 accidents corporels (+0,8% par rapport à 2018), dont 3 498 décès (+0,3% par rapport à 2018) et 74 165 blessés (+1,2% par rapport à 2018). Les principaux facteurs influençant le risque d'accident sont le sexe et l'âge. En effet, la population masculine concerne plus des trois quarts de la mortalité contre moins d'un quart pour les femmes. Concernant l'âge, les 18-24 ans sont les plus impactés et concentrent pas moins de 17% de la mortalité. Ce chiffre est encore plus important lorsqu'on rapporte le nombre de décès par rapport au nombre d'individus dans la population concernée. Un autre facteur entre en jeu, il concerne l'expérience des conducteurs. Les conducteurs novices (dont l'ancienneté du permis est de moins de deux ans) sont impliqués dans 10 306 accidents, soit 18% des accidents enregistrés en 2019. Ces accidents ont entraîné environ 600 décès, soit 18% de la mortalité (environ 45% concernent les conducteurs novices eux-mêmes, et environ 55% concernent d'autres usagers). Le manque d'expérience joue donc un rôle important dans le

² L'Observatoire National Interministériel de la Sécurité Routière (ONISR) est un organisme interministériel français depuis 1993 qui assure au titre de ses missions statistiques la collecte, la mise en forme, l'interprétation et la diffusion des données statistiques se rapportant à la sécurité routière aux plans national et international.

risque d'accident de la route, confirmant les travaux de certains chercheurs indiquant que quelle que soit la tranche d'âge, les conducteurs novices font face à un risque d'accident plus important dans les six premiers mois de permis (Mayhew, Simpson, Desmond, & Williams, 2003 ; Mayhew, Simpson, & Pak, 2003). Enfin, un accident corporel sur cinq révèle un défaut d'attention du conducteur (ONISR, 2019).

Le coût des accidents corporels en France métropolitaine est estimé à 39,7 milliards d'euros (Md€) en 2019 : 11,4 Md€ pour la mortalité, 23,1 Md€ pour les hospitalisations, 4 Md€ pour les victimes légères, et 1,2 Md€ pour les dégâts matériels liés aux accidents corporels. A cela peut s'ajouter le coût des accidents uniquement matériels qui s'établirait à 11,1 Md€, ramenant à un total de 50,9 Md€ (environ 2,2% du PIB de la France).

1.2. Des compétences pour la conduite automobile traditionnelle

La conduite automobile est une activité constituée de tâches complexes que le conducteur doit réaliser dans un environnement dynamique potentiellement à risque. La cohabitation de plusieurs usagers ayant leurs buts et caractéristiques propres (profils de conducteurs, types de véhicules, etc.) donne une dimension collective à cette activité que le conducteur doit prendre en compte pour mener à bien ses objectifs. En effet, ce dernier ne peut qu'agir de façon indirecte sur les autres usagers (klaxon, clignotants, gestes), et n'a aucune influence sur l'ensemble des éléments composant les infrastructures routières ou la météo (Boccaro, 2011). La conduite nécessite un contrôle cognitif lui permettant de sélectionner, traiter, et évaluer les informations disponibles en vue de réaliser des actions adaptées et atteindre des buts définis par le conducteur. Ce sont donc les ressources perceptives, cognitives et motrices du conducteur qui lui permettent d'agir dans l'environnement dynamique de conduite. De nombreuses études ont mis en évidence des activités de diagnostic nécessitant la construction d'une représentation opérationnelle des situations, et de pronostic qui intègre l'adaptation proactive des actions sur le véhicule en fonction de la dynamique, dans la gestion des situations (Leplat, 1985 ; Hoc & Amalberti, 1999 ; Cellier & Hoc, 2001 ; Leplat & Montmollin, 2001 ; Boccaro, 2011).

1.2.1. Trois exemples de modèles des compétences en conduite automobile

Allen, Lunenfeld et Alexander (1971) sont parmi les premiers à avoir proposé une modélisation de l'activité de conduite automobile en la hiérarchisant en trois niveaux : le contrôle (trajectoire, vitesse), la guidance (gestion des croisements, dépassements, etc.), et la

navigation (itinéraire, choix de la direction). Selon les auteurs, l'anticipation est nécessaire à chaque niveau de l'activité. Ce modèle a ensuite été repris par un certain nombre d'auteurs qui ont tenté de le compléter en précisant les caractéristiques de chaque niveau ou en ajoutant des éléments tels que les tâches d'exploration visuelle, de reconnaissance et de surveillance (McRuer, Allen, Weir, & Klein, 1977).

Depuis, de nombreux modèles ont fleuri dans la littérature mais certains d'entre eux sont devenus des incontournables et ont influencé un très grand nombre de recherches sur l'activité de conduite automobile. Nous présentons trois de ces modèles marquants dans les sections suivantes.

1.2.1.1. Le modèle de Michon (1985)

En 1985, Michon propose un modèle hiérarchique de la conduite divisé en trois niveaux (Figure 1) : le niveau stratégique (planification), la tactique (manœuvre), et le niveau opérationnel (contrôle). Cette division prend en compte deux facteurs. Le premier est la temporalité, allant de quelques millisecondes pour le niveau opérationnel, à plusieurs minutes pour le niveau stratégique. Le second facteur correspond à des caractéristiques des processus cognitifs en jeu, allant du plus élaboré (niveau stratégique) au plus automatique (niveau opérationnel). Le niveau stratégique, dont le coût cognitif est assez élevé, correspond à des choix d'ordre général sur le long terme qui concernent l'ensemble d'un trajet (sa planification, le choix de l'itinéraire, etc.). Le niveau tactique, dont le coût cognitif est plus modéré, concerne les décisions de manœuvre qui doivent être prises en quelques secondes pour répondre aux objectifs du niveau stratégique ou pour les faire évoluer en cas d'imprévu (par exemple, décider de prendre une direction particulière à un croisement, effectuer un dépassement, éviter un obstacle, etc.). Enfin, le niveau opérationnel correspond à la mise en œuvre des actions nécessaires pour pouvoir suivre les objectifs décidés aux plus hauts niveaux, via le contrôle du véhicule (accélérer, freiner, tourner le volant, changer de vitesse, mettre le clignotant, etc.). Il s'agit alors de prendre la décision en quelques millisecondes et d'effectuer une manœuvre adaptée au contexte pour répondre aux buts fixés.

Dans ce modèle, chaque niveau peut influencer les autres, les niveaux supérieurs impactent les niveaux inférieurs, mais l'inverse est également vrai. Par exemple, si le conducteur commet une erreur au niveau opérationnel en actionnant le mauvais clignotant, cela peut générer une situation dans laquelle il ne peut plus tourner. Au niveau tactique, il va donc devoir décider de continuer tout droit au lieu de tourner, ce qui aura pour conséquence la nécessité de devoir revoir l'itinéraire au niveau stratégique. Par ailleurs, une action effectuée à un niveau peut également entraîner une nouvelle action au même niveau. Par exemple, lorsque le

conducteur décide de ralentir, il doit également rétrograder (niveau tactique). Enfin, l'environnement peut également influencer les différents niveaux. Par exemple, dans un embouteillage il se peut que le conducteur ne parvienne pas à se rabattre sur la voie de droite malgré son clignotant (niveau opérationnel), et décide alors de continuer sur la voie de gauche jusqu'à que la voie de droite se libère (niveau tactique).

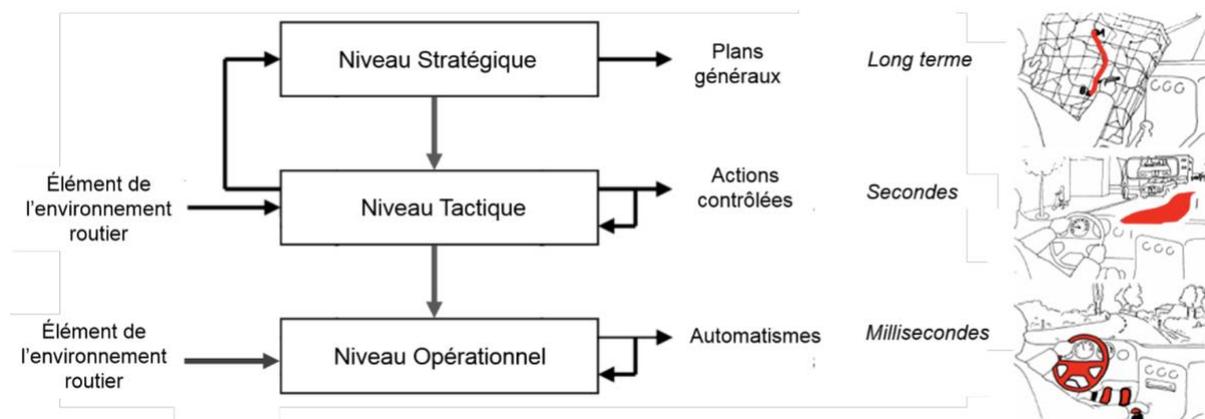


Figure 1 : Schématisation des trois niveaux du modèle de la conduite automobile de Michon (1985).

Plus une situation de conduite est complexe, plus elle nécessite une mobilisation importante des ressources cognitives du conducteur. Il en est de même concernant l'expérience du conducteur, la charge cognitive est plus élevée pour les novices (notamment dans les premiers mois de conduite). Une grande expérience de la conduite permet au conducteur d'automatiser de nombreuses tâches (par exemple passer les vitesses). Néanmoins, une charge cognitive importante peut être créée par la confrontation à des situations peu communes ou extrêmement complexes, y compris pour les conducteurs expérimentés. L'apprentissage apparaît alors central pour permettre l'atteinte de performance de conduite (gestion d'actions adaptées au contexte routier) suffisantes pour assurer la sécurité des conducteurs et des autres usagers de la route.

1.2.1.2. Le modèle COSMODRIVE

Dans la continuité des modèles hiérarchiques de Michon (1985) et de Van der Molen & Bötticher (1988), le modèle COSMODRIVE (Cognitive Simulation Model of the Driver) est issu des travaux de Bellet et Tattegrain-Veste (2003). On y retrouve les trois niveaux (ou modules) stratégique, tactique et opérationnel, auxquels les auteurs ajoutent les modules de perception, d'exécution, de gestion d'urgence, et de contrôle et gestion. Le module de perception correspond à l'interface entre l'environnement de conduite et le modèle mental du conducteur. Le module d'exécution concerne la réalisation des actions programmées par les modules

tactiques et opérationnels. Le module de gestion d'urgence intervient en cas de situation critique en faisant l'impasse sur les modules supérieurs et assure le contrôle de l'activité directement via le module opérationnel et le module d'exécution. Enfin, le module de contrôle et de gestion permet de gérer la répartition des ressources entre les différents processus cognitifs mis en œuvre dans la situation de conduite.

Le modèle COSMODRIVE (Figure 2) articule ces sept modules à partir d'échanges de données issues de chacun d'eux, des paramétrages de processus récepteurs, et d'envoi de messages modulant l'activité des traitements (activation ou inhibition de processus par exemple). Ainsi, tout part du traitement des informations de l'environnement par le module de perception, puis de la répartition des ressources en fonction de la catégorisation des situations (nominale ou critique).

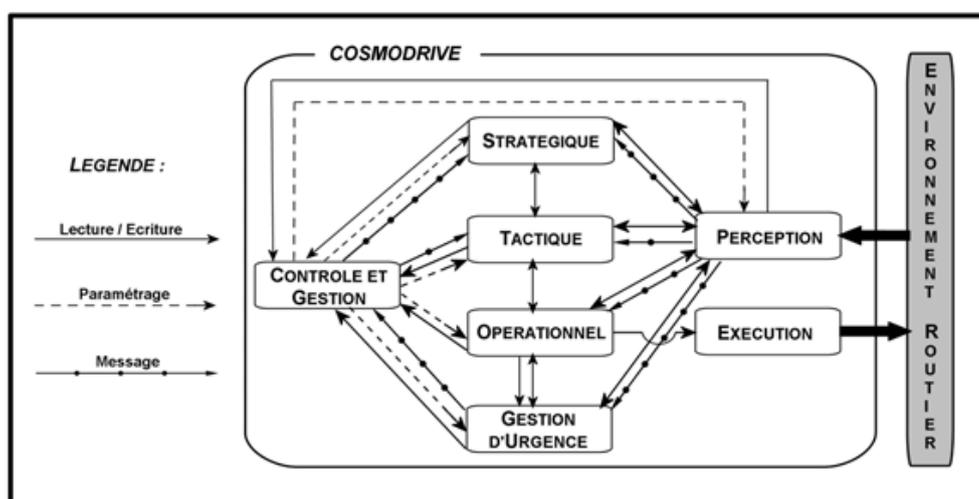


Figure 2 : Le modèle COSMODRIVE de Bellet et Tattegrain-Veste (2003).

Selon ce modèle, dans le cas d'une situation nominale le contrôle de l'activité se fait via les modules stratégique, tactique et opérationnel de la même façon que dans le modèle de Michon (1985). Ce n'est que dans les situations critiques que le module de contrôle et de gestion inhibe le processus habituel des modules tactique et stratégique qui ne bénéficient alors plus de ressources cognitives. Cette réaction d'urgence fonctionne tant que le « problème » n'est pas résolu et que la situation est toujours jugée comme critique. Lorsque le problème est résolu, un message avertit le module de contrôle et de gestion qui rétablit le processus normal en réactivant les modules tactique et stratégique, et en désactivant le module de gestion d'urgence.

1.2.1.3. Le modèle GDE

Le modèle GDE pour « *Goals for Drivers Education* », aussi appelé matrice GDE, est le fruit d'un travail collectif réalisé dans le cadre du projet européen GADGET (Siegrist, 1999). Il fait consensus dans le secteur de l'automobile en Europe depuis plus de 20 ans comme cadre de réflexion et modèle de référence pour les compétences des conducteurs et pour la formation à la conduite automobile. Comme le modèle COSMODRIVE précédemment présenté, le modèle GDE est un des principaux héritiers des modèles hiérarchiques de Michon (1985) et Van der & Bötticher (1988). On y retrouve donc une correspondance évidente entre les trois premiers niveaux de cette matrice et les trois niveaux de Michon : opérationnel, tactique et stratégique. Le quatrième niveau du modèle GDE, quant à lui, prend sa source dans les travaux de Keskinen (1996) et correspond aux facteurs motivationnels et au contrôle de soi. Alors que COSMODRIVE constitue une modélisation du fonctionnement cognitif des sujets, GDE découpe leur activité de façon à faciliter la conception de situations de formation en conduite. Ainsi, Boccara (2011) interprète la matrice GDE non pas comme un modèle de l'activité de conduite automobile, mais plutôt comme un référentiel de compétences. De plus, ce cadre a influencé les projets de recherches sur la formation à la conduite en Europe ces 20 dernières années. Il permettrait de favoriser les apprentissages et de prévenir les accidents de la route en incitant les formations à intervenir au-delà de la simple maîtrise des capacités psychomotrices et des fonctions physiologiques, jugées comme insuffisantes pour assurer des performances sûres et efficaces de la conduite (Hatakka, Keskinen, Gregersen, Glad, & Hernetkoski, 2002). Pour ce faire, le modèle GDE est organisé en cinq niveaux (Tableau 1) :

	Connaissances et compétences	Compréhension des facteurs de risques	Auto-évaluation
Niveau 5 : Pressions économiques et sociétales	- Résister aux influences des médias et des lobbies	- Résister aux influences de la publicité et des stéréotypes	- Évaluer sa sensibilité à ces influences
Niveau 4 : Objectifs existentiels et contrôle de soi	- Style de vie - Motivation - Maîtrise de soi	- Recherche de sensation/du risque - Pression du groupe	- Évaluer son contrôle de soi et sa tendance à la prise de risque
Niveau 3 : Objectifs et contextes de conduite	- Choix de son transport - Planification du trajet/choix des routes	- Alcool, fatigue, stress... - Trafic chargé - Résister aux pressions sociales de proximité (ex : passagers dissipés)	-Évaluer ses motivations d'une conduite risquée
Niveau 2 : Maîtrise des situations routières	- Connaissance des règles de circulation - Perception des dangers - Communication avec les autres usagers de la route	- Surcharge informationnelle - Comportement inadapté	- Évaluer ses compétences vis-à-vis des situations dangereuses

Niveau 1 : Contrôle du véhicule	- Contrôler son véhicule - Connaître distances de sécurité/capacité de freinage	- Vitesse inappropriée - Conditions de conduite difficiles (ex : pluie)	- Estimer ses points forts et points faibles des manœuvres basiques
--	--	--	---

Tableau 1 : Matrice GDE ou « *Goals for Drivers Education* » (Assailly, 2013 ; Hatakka, Keskinen, Gregersen, Glad, & Hernetkoski, 2002).

- Niveau 1 (opérationnel) : le contrôle du véhicule ou maîtrise instrumentale. Il correspond aux compétences ou habiletés psychomotrices, dont certaines doivent être automatisées pour libérer des ressources cognitives utiles autrement.
- Niveau 2 (tactique) : la maîtrise des situations routières ou des scénarios de conduite. Il concerne les connaissances et le respect des règles de circulation (Code de la Route) permettant une adaptation proactive du comportement du conducteur en fonction du contexte routier (autres usagers de la route, infrastructures, etc.). Une certaine automatisation est également requise à ce niveau pour obtenir de meilleures performances.
- Niveau 3 (stratégique) : les objectifs et contextes de conduite (planification des trajets par exemple, météo, etc.). Il correspond aux compétences communes permettant de préparer l'itinéraire sur la base de connaissances des objectifs de conduite et du contexte socio-environnemental.
- Niveau 4 : les objectifs existentiels et le contrôle de soi, autrement dit les projets de vie et les habiletés fondamentales. Il concerne principalement les motivations, les aptitudes générales pour gérer des situations de vie, et les méta-connaissances. Ce niveau est fortement influencé par l'âge, le sexe, et le style de vie du conducteur.
- Niveau 5 : les pressions économiques et sociétales. Il correspond par exemple aux compétences requises pour la conduite économique et écologique, mais aussi à l'influence des stéréotypes et des lobbies.

Chacun de ces cinq niveaux est décliné en trois axes : (a) les connaissances et compétences requises pour gérer le niveau (savoirs et savoir-faire), (b) la compréhension des facteurs de risques qui dégradent le comportement, et (c) les compétences d'auto-évaluation (Hatakka, Keskinen, Gregersen, Glad, & Hernetkoski, 2002 ; Siegrist, 1999).

Un constat, fait notamment par Lefèbvre (2001), Boccara (2011) et Assailly (2013), stipule que les formations initiales contemporaines se concentrent principalement sur les deux premiers niveaux du modèle GDE, c'est-à-dire sur les habiletés psychomotrices et les connaissances permettant la maîtrise instrumentale du véhicule et des situations de conduite. Ces deux premiers niveaux sont les plus directement accessibles par la formation mais sont insuffisants pour assurer un comportement de conduite sécuritaire, notamment car ils sont

sous l'influence des niveaux supérieurs non maîtrisés par la formation. C'est pour cette raison que différents auteurs s'intéressant à GDE recommandent fortement d'ouvrir le champ des formations initiales de la conduite automobile, afin qu'elles puissent couvrir les niveaux supérieurs en préparant les conducteurs à maîtriser des compétences métacognitives (voir Boccara, 2011, par exemple) comprenant les facteurs motivationnels, le style de conduite, la prise de risque, l'auto-évaluation et la conscience du risque routier.

1.2.2. L'apprentissage de la conduite automobile traditionnelle

A l'heure actuelle, les formations initiales pour l'apprentissage de la conduite automobile en occident (Europe, Amérique du Nord, etc.) se déroulent en deux phases : une phase de formation « théorique » suivie d'une phase de formation « pratique ». La formation dite « théorique » intervient en première et cible principalement l'apprentissage du Code de la Route, la réglementation, les signalisations, les règles d'usage, les risques routiers, etc. Elle vise aussi à entraîner les futurs conducteurs à détecter les dangers dans les situations de conduite et à apprendre à choisir les bonnes actions et les bons comportements à adopter. Pour cela, cette phase de formation théorique tente de mettre en situation *ex-situ*³ les apprenants grâce à des livres, des logiciels et des applications mobiles présentant des illustrations (photos ou dessins) des situations de conduite, accompagnés de questionnaires à choix multiples (QCM). Dans certains cas, l'usage d'un simulateur permet d'amorcer la transition entre cette formation en salle et la formation en situation de conduite.

La formation dite « pratique », autrement dit en situation de conduite, a pour but de permettre aux conducteurs de développer leurs compétences comme la maîtrise instrumentale du véhicule via la manipulation des commandes de conduite (accélérer, freiner, tourner, changer les vitesses, reculer, etc.). Des compétences de plus haut niveau sont aussi ciblées par cette formation, notamment la gestion des situations à risque et des situations complexes. Cette formation existe en différents formats :

- La formation encadrée par des professionnels de la conduite (moniteurs d'auto-école par exemple).
- La conduite accompagnée ou supervisée par un conducteur étant titulaire du permis B, en cours de validité, depuis au moins cinq ans.

³ En dehors des situations de conduite réelle, en salle par exemple.

- Le permis gradué qui restreint les possibilités du conducteur dans les premiers mois de la conduite après avoir obtenu le permis (limitation de la vitesse, réglementation plus strictes, etc.).

Ce « continuum éducatif » (CISR, 1997) a été mis en place en France pour faire face au taux d'accident élevé chez les jeunes conducteurs et les conducteurs novices. En effet, le taux d'accidents tend à diminuer au fur et à mesure que le conducteur gagne de l'expérience comme le montre la Figure 3 (Elvik, 2006).

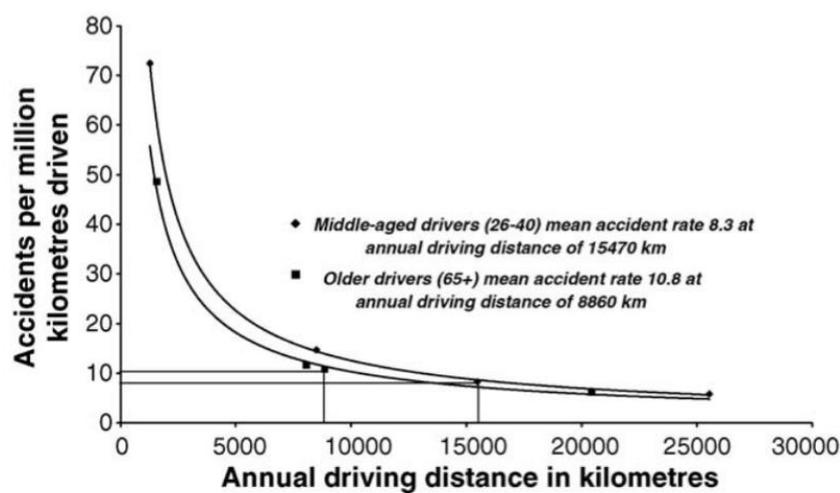


Figure 3 : Taux d'accidents en fonction des kilomètres parcourus. Statistiques finlandaises basées sur Hakamies-Blomqvist *et al.* (2002) ; (Elvik, 2006).

Néanmoins, l'efficacité des différents types de formation fait encore débat dans la littérature à ce jour (Assailly, 2013 ; Beanland, Goode, Salmon, & Lenné, 2013). Certains travaux penchent en faveur de la formation en situation de conduite (Carstensen, 2002) et de la conduite accompagnée (Nyberg, Gregersen, & Wiklund, 2007), alors que d'autres ne trouvent pas de réduction significative du taux d'accidents (Page, Ouimet, & Cuny, 2004). Un point intéressant a été soulevé par certains auteurs concernant les limites de la conduite accompagnée et de la conduite supervisée. En effet, dans les deux cas, des « mauvaises pratiques » construites par expérience chez les tuteurs sont susceptibles d'être transférées aux conducteurs apprenants (Taubman-Ben-Ari, Lotan, & Prato, 2017 ; Wilson, Meckle, Wiggins & Cooper, 2006). En revanche, tous les auteurs précédemment cités s'accordent sur le fait que la conduite automobile est une activité complexe dont l'apprentissage nécessite de l'expérience et dépend de facteurs internes et externes au conducteur. Selon Lefèbre (2001, p.34), « *la psychologie et la didactique doivent constituer les piliers de l'éducation et de la formation à la conduite automobile et à la sécurité routière. Les intervenants et autres praticiens devraient en premier lieu maîtriser [suffisamment] une approche conceptuelle de, leur(s) domaine(s) afin d'être capables de transposer le savoir en question au niveau*

pertinent, quels que soient les apprenants ou les auditeurs, les buts, niveaux et motivations de ces derniers ». Cette approche suppose que les formations devraient aider à la construction de représentations opérationnelles. Ces dernières intégreraient alors non seulement des lois physiques influençant l'activité, mais également des schématisations des classes de situations et des scénarios d'interaction avec les autres usagers, pour orienter l'action (Lefèbvre, 2001).

1.3. Des aides à la conduite pour assister le conducteur dans ses tâches : les ADAS

Les ADAS (Advanced Driver-Assistance Systems) sont des aides à la conduite conçues dans le but d'assurer une plus grande sécurité et d'apporter davantage de confort en assistant les conducteurs dans leurs tâches. Elles s'appuient sur des nouvelles technologies embarquées comme des capteurs (radars, lidars, etc.), des caméras, et des algorithmes de traitement des données (ONISR, 2019). Il existe deux types d'ADAS : celles dites « passives » et celles dites « actives ». Les aides passives sont essentiellement des alertes avertissant le conducteur ou des systèmes fonctionnant en arrière-plan de la conduite. On y retrouve notamment le détecteur d'angle mort, l'ABS (*Anti-lock Braking Systems* : système antiblocage des roues), ou encore le LDW (*Lane Departure Warning* : avertisseur de franchissement de ligne). Les aides actives, quant à elles, interviennent plus directement dans l'activité de conduite en prenant en charge, en partie ou en totalité, certaines tâches. Parmi les aides actives on retrouve par exemple le freinage automatique d'urgence, le régulateur de vitesse classique (CC : *Cruise Control*) et adaptatif (ACC : *Adaptive Cruise Control*), l'assistance au maintien dans la voie (LKA : *Lane Keeping Assist*) ou le centrage dans la voie (LCA : *Lane Centering Assist*), ou encore le valet de parking (*Park Assist*).

Le programme européen PROMETHEUS, lancé en 1986, a rendu possible l'émergence de nombreux travaux sur les assistances à la conduite dans le but d'améliorer la sécurité routière. Le concept de « véhicule intelligent » était alors au centre des discussions impliquant les constructeurs automobiles, les équipementiers et les laboratoires de recherche (Villame, 2004). Ces travaux ont fait naître les premiers systèmes d'aide avancés ; par exemple, des systèmes d'aide à la navigation ou encore le régulateur de vitesse adaptatif (ACC). Bien que ces systèmes aient été originellement prévus pour prévenir les accidents de la route en réduisant le risque d'erreur humaine, force est de constater qu'ils soulèvent de nombreuses questions et problématiques relatives aux nouvelles formes d'interactions entre un conducteur et son véhicule. Cette transformation progressive de la conduite traditionnelle est d'autant plus vraie pour les systèmes dit « semi-automatisés » couplant l'ACC et l'assistant de centrage dans la voie (LCA). En agissant d'une façon nouvelle pour le conducteur, en lui donnant accès

à de nouvelles informations ou en l'assistant dans sa tâche, ces ADAS nécessitent un certain apprentissage, non prévu dans les formations actuelles.

1.3.1. Différents types d'ADAS

Comme nous venons de le voir, les ADAS peuvent être catégorisées en fonction de leur nature passive ou active. Les premières sont de type informationnel et posent des questions de conception « relatives à la définition des informations à transmettre au conducteur et aux modalités à adopter pour présenter ces informations » (Villame, 2004). Les secondes assistent le conducteur sur différentes tâches en intervenant directement sur la conduite. Ainsi, les systèmes d'ADAS actifs peuvent être classés selon qu'ils interviennent sur le contrôle longitudinal (régulation de la vitesse, gestion des distances, et gestion des freinages) ou sur le contrôle latéral (correction de trajectoire, maintien dans la voie, changement de voie, et autres manœuvres). Les aides actives posent des questions de conception bien différentes des systèmes passifs, relatives aux nouvelles interactions (et modalités d'intervention du système dans l'activité du conducteur), de la répartition des rôles entre le conducteur et le système, et d'acceptation de ces systèmes par les conducteurs (Villame, 2004).

De Waard et Brookhuis (1999) proposent une catégorisation des ADAS en positionnant les divers systèmes en fonction des trois niveaux du modèle de Michon (1985). La Figure 4 ci-dessous présente cette catégorisation dans laquelle nous retrouvons les aides passives principalement dans les niveaux supérieurs (tactique et stratégique), alors que les aides actives interviennent principalement au niveau opérationnel.

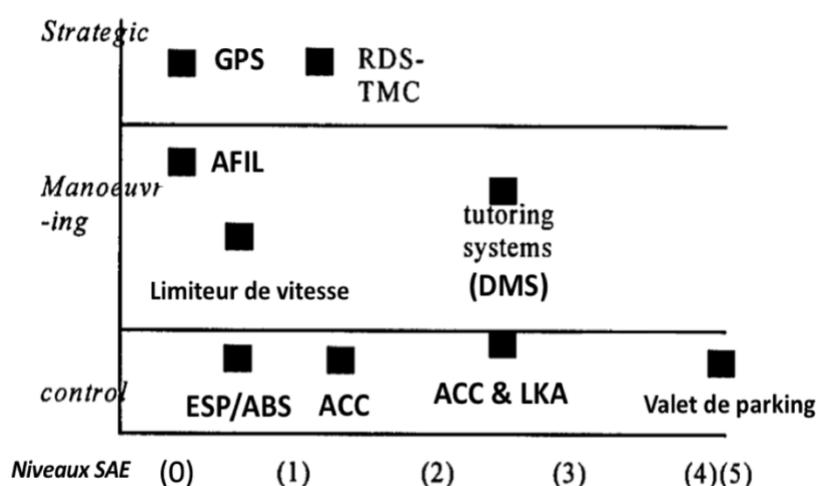


Figure 4 : Positionnement de quelques ADAS par rapport au modèle à trois niveaux de Michon (1985), adapté de de Waard & Brookhuis (1999).

Légende : RDS-TMC (Radio Data System - Traffic Message Channel : système de feedback sur les embouteillages), Tutoring systems/DMS (Driving Monitoring System ; système de surveillance des comportements du conducteur), AFIL (Alerte de Franchissement Involontaire de Ligne), AAC (Adaptive Cruise Control : régulateur de vitesse adaptatif), LKA (Lane-Keeping Assist : aide au maintien dans la file de circulation).

Dans ce travail de thèse, ce sont les aides actives qui nous intéressent car elles se rapprochent des systèmes de conduite automatisée en remplaçant partiellement le conducteur dans certaines tâches. L'idée de remplacer le conducteur part du postulat que si l'humain est à l'origine de la majorité des erreurs causant des accidents, alors cela semble logique de le décharger de certaines tâches en le retirant partiellement de la boucle de contrôle du véhicule pour le soulager et ainsi diminuer le taux d'accidents grâce aux ADAS (Stanton & Marsden, 1996). Néanmoins, ce postulat ne prend pas en compte l'activité réelle du conducteur : l'humain sera toujours présent dans la boucle de contrôle, et de manière active, par sa coopération avec le système et en prenant la décision de l'activer ou de le désactiver. Ce sont ces interactions qui peuvent être sources d'erreurs, pouvant entraîner des accidents en lien avec l'usage des ADAS, d'autant plus que la formation initiale au permis de conduire n'intègre pas suffisamment la formation à l'usage de ces systèmes (Le Monde, 2005 ; Mas, 2012).

Ainsi, les avantages des ADAS actives en termes de sécurité sont toujours en débat dans la littérature scientifique, avec certains travaux plaidant en faveur de certaines d'entre-elles (Cicchino, 2017), et d'autres plus mitigés identifiant des usages non prévus pouvant créer des problèmes de type surcharge mentale, monotonie entraînant de la somnolence, augmentation des temps de réaction, sur-confiance, ou encore un désengagement cognitif au cours de la réalisation de la tâche (van Wees & Brookhuis, 2005 ; Young, 2012 ; Cades, Crump, Lester, & Young, 2017). Certaines études montrent même que les conducteurs sont favorables à ces systèmes pour ce qui a trait à la sécurité tout en ayant conscience des distractions et des usages augmentant le risque d'accident (Pradhan, Pulver, Bao, & Molnar, 2018).

1.3.2. Quelques travaux sur les ADAS

Dès les années 90, des projets ont été créés pour étudier les effets de ces aides à la conduite sur l'activité des conducteurs dans le but de proposer des recommandations pour la conception des systèmes (exemple du projet DRIVE ; Parkes & Franzen, 1993 ; Nilsson, 1995 ; Hoedemaeker & Brookhuis, 1998). Ces recommandations ont notamment permis de proposer des nouveaux modes de coopération entre les conducteurs et ces systèmes comme évoqué dans les rapports du Groupement de Recherche CNRS/INRETS « Coopération Homme-Machine pour l'assistance à la conduite automobile » (Meizel & Saad, 1998 ; Tricot,

et al., 2003). Dans cette section, nous présentons quelques travaux mettant en évidence l'impact des ADAS sur l'activité des conducteurs, puis nous présentons d'autres études portant sur la question de la formation à l'usage des ADAS, et enfin quelques travaux réalisés chez Renault sur les mêmes thèmes. La majorité de ces études a été réalisée sur piste ou en simulateur. En effet, les études sur routes ouvertes ont commencé à se démocratiser bien plus tard car elles ne permettent pas de reproduire les situations rencontrées, et ainsi de comparer les résultats de plusieurs participants (Villame, 2004). C'est principalement pour cette raison, mais aussi pour des questions de sécurité évidentes, que les cadres expérimentaux contrôlés sont restés la norme pendant très longtemps.

1.3.2.1. Des conséquences pour l'activité des conducteurs

Dans le cadre de nos travaux de recherche, parmi l'ensemble des ADAS actives, nous nous sommes intéressés plus particulièrement au régulateur de vitesse adaptatif (ACC), et dans une moindre mesure au régulateur de vitesse classique (CC), car ils présentent d'une certaine manière des versions moins évoluées de la conduite automatisée. Ces systèmes sont maintenant utilisés depuis suffisamment longtemps pour que de nombreuses études aient été publiées (Hoedemaeker & Brookhuis, 1998 ; Simon, 2005 ; Vollrath, Schleicher, & Gelau, 2011 ; Beggiato & Krems, 2013). Certains de ces travaux pointent notamment des difficultés d'usage récurrentes. Ces difficultés peuvent concerner les temps de réaction des conducteurs, des usages non prévus, de la « complaisance » (du terme « *complacency* » signifiant une surveillance inadaptée du fonctionnement du système par le conducteur ; Parasuraman, Molloy, & Singh, 1993), et/ou de la sur-confiance (Xiong, Boyle, Moeckli, Dow, & Brown, 2012).

Concernant le temps de réaction du conducteur, certains auteurs s'accordent à dire que l'usage du régulateur de vitesse classique (CC) et du régulateur adaptatif (ACC) l'allongent tous les deux (Vollrath, Schleicher & Gelau, 2011 ; Larsson, Kircher, & Andersson Hultgren, 2014). Par exemple, dans une situation de queue de poisson (« *cut-in* »), quel que soit le niveau d'expérience des conducteurs avec l'ACC, tous ont un temps de réaction plus élevé qu'en conduite manuelle classique. Cet effet reste tout de même moins important chez les conducteurs expérimentés avec l'ACC, indiquant un certain apprentissage des limites du système et des actions à réaliser quand elles sont atteintes (Larsson, Kircher, & Andersson Hultgren, 2014).

D'autres études montrent que le modèle mental des conducteurs au sujet de l'ACC joue un rôle fondamental en permettant de connaître et de comprendre les capacités et les limites du système (Xiong, Boyle, Moeckli, Dow, & Brown, 2012). Selon les auteurs, un modèle mental

adapté permettrait une conduite plus sûre et une meilleure coopération entre le conducteur et l'ACC. Malheureusement, les limites de ces systèmes sont souvent peu ou mal connues des conducteurs qui se construisent des modèles mentaux rudimentaires entraînant un sentiment de sur-confiance envers l'ACC, avec des conséquences sur la sécurité routière (Bianchi Piccinini, Rodrigues, Leitão, & Simões, 2015). Les auteurs ont notamment démontré que le risque de collision dans une situation critique (véhicule à l'arrêt sur la voie) est plus élevé lorsque les conducteurs utilisent l'ACC que lorsqu'ils sont en conduite manuelle classique. Une forte corrélation négative a été identifiée entre les modèles mentaux des conducteurs concernant le fonctionnement du système en situation critique, et leur propension à garder une marge de sécurité dans cette même situation : plus le modèle mental est élaboré (sans forcément être adapté), moins la marge de sécurité est importante (Bianchi Piccinini, Rodrigues, Leitão, & Simões, 2015).

La dimension collective de l'usage de l'ACC et du régulateur de vitesse classique a également été mise en évidence, soulignant que les passagers et les autres usagers de la route influencent plus ou moins fortement l'usage de ces systèmes (Lheureux, Saad, Pianelli, Abric, & Roland, 2006 ; Saad, et al., 2006 ; Bjørkly, Jenssen, Moen, & Vaa, 2003 ; Rudin-Brown & Parker, 2004 ; Ojeda & Nathan, 2006 ; Aupetit & Riff, 2012). L'intervention d'autres personnes dans cet usage est importante dès la phase d'apprentissage selon Aupetit et Riff (2012).

En permettant une automatisation du contrôle longitudinal et latéral, la combinaison du régulateur de vitesse adaptatif (ACC) et du système de centrage dans la voie (LCA) peut être considérée comme une ébauche de véhicule semi-automatisé. Ce dernier a aussi fait l'objet de nombreuses recherches dont les résultats révèlent là-encore des difficultés d'usage pour les conducteurs. Le rapport NTSB⁴ de 2018 identifie les causes principales de ces difficultés. Parmi celles-ci, on retrouve la dépendance des conducteurs envers l'automatisation partielle du véhicule, le manque de réaction des conducteurs en situation critique, ainsi que des usages non prévus. Par ailleurs, sans que cela soit une nouveauté, le rapport souligne que les notices d'utilisation des systèmes ne permettent pas une meilleure appropriation : elles ne sont pas lues, ou alors bien souvent mal comprises). En 2017, Endsley a également mis en évidence des erreurs de manipulation des commandes ; par exemple, l'activation de l'Autopilote de Tesla a pu poser problème car trop proche du commodo du clignotant. Dans le même registre, certains conducteurs désactivent involontairement ce même système, soit en déplaçant le

⁴ *National Transportation Safety Board* (NTSB), ou Conseil national de la sécurité des transports, est une agence indépendante du gouvernement des États-Unis, qui est responsable des enquêtes sur les accidents aériens et sur certains types d'accident routiers, maritimes, et ferroviaires. <https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/HAB1907.pdf>

commodo du régulateur vers l'avant, soit en tournant le volant (Wilson, Yang, Roady, Kuo, & Lenné, 2020).

Bien que la combinaison de l'ACC et du LCA soit une étape vers la conduite automatisée, cette configuration implique que le conducteur reste encore maître de son véhicule et puisse intervenir à tout moment, si nécessaire. Pour cela il doit donc rester conscient de la situation en surveillant activement à la fois le fonctionnement du système et l'environnement de conduite. Cette tâche de surveillance, nécessitant une attention soutenue du conducteur pendant une durée plus ou moins longue, a été identifiée dans la littérature comme l'un des facteurs les plus importants impactant l'usage sécurisé de ces systèmes. Banks et al. (2018) ajoutent que les conducteurs ne sont pas efficaces pour cette tâche de surveillance prolongée, et que les systèmes de ce type ne sont pas prévus pour les aider à garder une attention soutenue. Selon les auteurs, cela entraînerait des phénomènes de « complaisance » et de sur-confiance envers le système, contribuant à une plus grande prise de risque. Cependant l'étude d'Endsley, précédemment citée, montre que la conscience de la situation et la confiance ne sont pas significativement modifiées au cours de l'usage de ce type de système, bien que la confiance a tendance à augmenter. L'auteure souligne néanmoins la nécessité d'introduire la question de l'usage des ADAS dans les formations des conducteurs, de façon détaillée et interactive, en mettant en avant les différences de fonctionnement des différents systèmes, leurs capacités et leurs limites en fonction des situations, ainsi que les interactions. Cette suggestion provient également du constat que les informations fournies aux conducteurs lors de l'achat de véhicules équipés d'ADAS actives ne sont pas suffisantes, et qu'elles ne permettent pas l'élaboration de modèles mentaux précis et adaptés ainsi que d'une confiance appropriée (Lee & See, 2004) envers les systèmes.

1.3.2.2. La question de la formation à l'usage des ADAS

A partir du constat selon lequel plus de 4 conducteurs sur 10 ne liraient pas du tout la notice d'utilisation fournie par le constructeur automobile (Mehlenbacher, Wogalter, & Laughery, 2002), la question de la formation à l'usage des ADAS a fait émerger un certain nombre d'études. En effet, comme nous l'avons évoqué dans la section précédente, le manque de formation et d'expérience des conducteurs avec ces systèmes peut expliquer au moins en partie les difficultés d'usage observées. Une mauvaise compréhension du fonctionnement du système conduirait à l'élaboration de modèles mentaux inappropriés, menant à la formalisation d'hypothèses erronées des conducteurs sur le fonctionnement de leur véhicule, ses possibilités et ses limites. Une majorité des recherches menées sur le sujet suggère donc que le fonctionnement des systèmes d'aide à la conduite et leurs limites devraient être

intégrés dans les apprentissages et ne pas se résumer à de la simple information comme c'est le cas dans la plupart des notices d'utilisation actuelles.

En effet, même si un usage prolongé de l'ACC permet l'émergence de la conscience de ses limites de fonctionnement, le temps de prise en main nécessaire reste relativement important selon Larsson (2012). Cependant, toujours selon cet auteur, le fait que l'ACC requiert que le conducteur reprenne la main par intermittence permet de préparer les conducteurs aux situations inattendues, bien plus qu'avec des systèmes davantage automatisés. Ainsi, des utilisateurs expérimentés de l'ACC seraient plus rapides à réagir que des conducteurs novices de ce système (Larsson, Kircher & Hultgren, 2014). Le temps de prise en main nécessaire pour acquérir cette expérience varie dans la littérature : de deux à trois semaines d'utilisation régulière (Weinberger, Winner, & Bubb, 2001), ou encore de « cinq essais », 185 kilomètres et trois heures et demi d'utilisation (Beggiato, Pereira, Petzoldt, & Krems, 2015). Bien entendu, ces résultats sont à prendre avec précaution car ils sont fortement dépendants de variables inhérentes aux expérimentations menées par ces auteurs : système utilisé, marque des véhicules, IHMs, auto-évaluation, tout en considérant les différences interindividuelles. Ils permettent néanmoins de conclure que le temps nécessaire pour une prise en main efficace et sécurisée reste important, et qu'une formation permettrait très probablement de le réduire et/ou a minima d'aider les conducteurs à cadrer la construction d'un modèle mental approprié.

En effet, une formation « sur le tas », en apprenant directement à partir des erreurs commises en situation de roulage, est insuffisante et relativement risquée pour la plupart d'entre nous. Il est donc non seulement nécessaire de proposer un entraînement ou une formation préalable, mais aussi de rappeler périodiquement, d'une manière ou d'une autre, les limites du système pour permettre un usage sécurisé (Beggiato et al., 2013, 2015 ; Winkler, Kazazi, & Vollrath, 2018). Ainsi, des études récentes ont exploré différentes façons de former les conducteurs pour éviter les erreurs ou les usages dangereux. Par exemple, la combinaison d'une instruction orale de la part du vendeur lors de la livraison du véhicule et d'un support didactique physique à emporter ou d'un support consultable sur internet, aurait des bénéfices notables (Abraham, Reimer, & Mehler, 2017). Les auteurs précisent que les conducteurs ont tendance à compléter cette formation après-coup avec un apprentissage par essais/erreurs, en consultant la notice d'utilisation, et/ou en consultant d'autres ressources disponibles sur internet. Cependant, les auteurs avertissent sur les contenus provenant de sources tierces sur internet, et préconisent la consultation de contenus provenant des constructeurs automobiles. Mueller et al. (2020), quant à eux, suggèrent de former les conducteurs aux interfaces de conduite spécifiques aux systèmes combinant ACC et LCA, via des vidéos directement diffusées dans l'écran du tableau de bord. Cette méthode améliorerait en partie

la précision de la reconnaissance de ces interfaces par les conducteurs, notamment en ce qui concerne l'état actif ou inactif du LCA, ainsi que la détection des notifications nécessitant une action du conducteur. Les résultats sont plus mitigés concernant l'ACC. De manière plus générale, Abraham, Reimer et Mehler (2018) suggèrent de prendre en compte les préférences d'utilisation et de méthode d'apprentissage des conducteurs pour proposer des formations appropriées et efficaces permettant une meilleure compréhension/utilisation des ADAS.

1.3.2.3. Apports des études menées au sein du Groupe Renault concernant les ADAS

Dès les années 90, de nombreuses études ont été menées au sein du Groupe Renault concernant l'usage des aides à la conduite présentes dans les véhicules de la marque. L'une des premières études s'est déroulée en 1994 et a permis d'évaluer un prototype avancé de régulateur de vitesse adaptatif (ACC) sur route ouverte. Selon Villame (2004), cette étude avait pour objectif d'évaluer l'utilisation « future probable » de ce système dans les conditions les plus écologiques possibles : longs trajets sur autoroute avec une phase de familiarisation préalable. La phase de familiarisation, sur route ouverte, avait pour but de faire découvrir le régulateur adaptatif (très peu connu des conducteurs tout venant de l'époque) et d'apprendre aux conducteurs à utiliser le système, ses commandes et ses interfaces. Les essais ont consisté en un trajet de 900 kilomètres sur autoroute réalisé en binôme, soit quatre heures de conduite par participant, avec pour simple consigne de conduire comme ils le faisaient habituellement et d'utiliser le système à leur rythme. Le but était d'évaluer l'appropriation du système par les conducteurs et d'identifier des évolutions de leur activité de conduite suite à l'utilisation de l'ACC. Les résultats ont permis de mettre en évidence des décalages entre le comportement du système lors de ralentissements/freinages et ce que le conducteur aurait fait à sa place. Les conducteurs ont rapporté que les temps de réaction du système étaient trop lents et que ce dernier devrait mieux anticiper et commencer à ralentir plus tôt. Les participants de l'étude ont aussi rapporté le besoin d'un retour d'information plus explicite sur les interfaces de conduite concernant la détection du véhicule cible (véhicule suivi) par l'ACC.

Quelques années après la sortie sur le marché du premier régulateur adaptatif, une nouvelle expérimentation a été réalisée visant à caractériser l'influence du système sur la conduite (Villame, 2004). L'objectif de cette étude était de mieux comprendre l'appropriation et l'acceptation de l'ACC par les conducteurs, ainsi que les modifications qu'il provoquait dans l'activité de conduite. Les résultats ont montré que le décalage entre le comportement du système et les attentes du conducteur, ainsi que ses diagnostics des situations (déjà mis en évidence dans les études précédentes), pouvait être la source d'une activité de surveillance (« *monitoring* ») importante de la part de ce dernier. Un effet négatif sur la confiance envers

le système a aussi été identifié, notamment vis-à-vis de la capacité du système à « réellement » assister le conducteur (Villame, 2004).

Pour pallier ces décalages entre le système et le conducteur, Dubart, Kassaagi, Moessinger et Lefort (2007) ont souhaité identifier des profils d'utilisateurs à partir de leurs actions et verbalisations, de données sur l'environnement de conduite, et de données sur la dynamique du véhicule en situation d'usage de l'ACC. Pour cela, ils ont mené une expérimentation sur route ouverte auprès de 120 conducteurs, dont les résultats ont servi à développer un algorithme intelligent permettant de classer les conducteurs en fonction de catégories de profils prédéfinies afin de paramétrer automatiquement le fonctionnement de l'ACC. La base de données ainsi créée était composée de huit profils types de conducteurs pouvant être utilisés pour la conception des systèmes d'aide à la conduite comme l'ACC.

En 2009, Cahour et Forzy se sont questionnés sur l'influence de différentes formes de présentations du régulateur de vitesse classique, sur son usage et sur la confiance des conducteurs envers le système. Ils ont ainsi présenté le régulateur à neuf participants ne l'ayant jamais utilisé, selon les formats suivants : (a) présentation écrite orientée sur le fonctionnement du système, (b) présentation écrite orientée sur l'utilisation du système complétée par la présentation de situations difficiles, et (c) présentation vidéo orientée sur l'utilisation du système. Une échelle d'auto-évaluation de la confiance envers le régulateur était proposée avant l'expérimentation, après la formation et après l'utilisation réelle du système. Les résultats ont montré que les participants avaient une représentation idéale du système a priori, et que la présentation de ce dernier avait un impact négatif sur la confiance, leur faisant réaliser que l'utilisation du régulateur n'était pas aussi évidente que ce qu'ils avaient imaginé.

Le sujet des interfaces liées aux ADAS a également fait l'objet de nombreuses recherches au sein du Groupe Renault. L'une de ces études a, par exemple, exploré différentes façons d'alerter les conducteurs lorsqu'ils utilisent des ADAS (Navarro, Mars, Forzy, El-Jaafari, & Hoc, 2010). Cette étude suggère que des interactions haptiques (comme l'oscillation du volant) sont plus efficaces que des interactions tactiles ou sonores pour faire comprendre au conducteur qu'il doit agir. Ce type d'interaction améliorerait aussi le diagnostic de la situation par les conducteurs. Néanmoins, cette étude révèle que ce type d'interaction est moins accepté par les conducteurs que les alertes sonores. Les auteurs suggèrent donc que la combinaison de ces deux types d'interactions pourrait être un bon compromis pour assurer à la fois l'efficacité et l'acceptation des alertes provenant des systèmes.

Dans le même registre, Langlois (2013) a exploré l'idée de solliciter la vision périphérique des conducteurs pour améliorer l'utilisabilité de certaines ADAS pendant la conduite. Un dispositif permettant d'afficher sur le pare-brise des informations relatives à l'utilisation d'ADAS dans le champ de vision périphérique du conducteur a été conçu pour l'expérimentation. Son utilisation lors de tests utilisateurs en simulateur montre que ce dispositif permet d'améliorer le confort et les performances de conduite, réduisant les temps de réaction des conducteurs lors d'alertes, et en leur permettant de garder leur regard sur la route plus facilement et plus longtemps que lorsque ces alertes s'affichent sur le tableau de bord. Dans la lignée de ces travaux, Monsaingeon et al. (2021) ont comparé deux interfaces informant sur l'état et les capacités d'un système semi-automatisé (ACC et LCA combinés) : une interface multimodale périphérique orientée sur la conduite et une interface plus traditionnelle orientée sur le véhicule. Les résultats ont montré que l'interface multimodale permettait de réduire les temps de réactions concernant la vitesse et d'augmenter le temps et le nombre de fixations du regard sur le compteur de vitesse. Cette interface aiderait les conducteurs à mieux comprendre le fonctionnement du système, mais serait en même temps source de distractions visuelles plus importantes par rapport à une interface plus traditionnelle (Monsaingeon, Caroux, Mouginié, Langlois, & Lemerrier, 2021).

Concernant la conception des interfaces de conduite des systèmes combinant ACC et LCA, plusieurs études ont exploré l'idée d'un indicateur d'approche des limites du système pour prévenir le conducteur d'une éventuelle désactivation automatique en raison de conditions environnementales inadaptées. L'une de ces études s'est penchée sur la capacité du conducteur à décider d'agir pour reprendre le contrôle manuel de la conduite grâce à cet indicateur (Monsaingeon, Caroux, Langlois, Hurgobin, & Lemerrier, 2020). Les participants devaient indiquer leur accord ou non avec la décision de désactiver le système dans différentes situations de conduite en fonction de la couleur de l'indicateur, de la météo, de la qualité du marquage et de la courbure de la route. Les résultats ont suggéré que tous les facteurs avaient influencé la décision du conducteur, mais qu'en revanche le profil des conducteurs devrait être pris en compte afin de décider d'inclure ou non l'indicateur dans les systèmes. Une autre étude montre que les conducteurs sont plus actifs avant la désactivation du système et expriment un meilleur confort psychologique avec l'indicateur d'approche des limites qu'avec une interface plus classique. Néanmoins, les actions des conducteurs étaient moins appropriées et l'indicateur a été jugé plus exigeant sur le plan cognitif que l'interface classique (Monsaingeon, Carli, Caroux, Langlois, & Lemerrier, 2021).

1.4. L'automatisation de l'activité de conduite automobile

Plus récemment, les constructeurs automobiles ont commencé à se pencher sur la question de l'automatisation complète de la conduite. En effet, les systèmes combinant l'ACC et le LCA ont amorcé la tendance et ont commencé à évoluer vers des systèmes plus élaborés et uniques, ne différenciant plus le système longitudinal du système latéral, mais automatisant entièrement l'activité de conduite. L'Autopilot de Tesla en est un bon exemple, mais ce dernier ne représente que les prémices de ce que seraient de futurs systèmes de conduite hautement automatisée (toujours à l'état de prototypes actuellement). La conduite automatisée offrira, certes, la possibilité pour le conducteur de se désengager de l'activité de conduite, mais ce nouveau paradigme pose de nombreuses questions, certaines similaires aux problématiques liées à l'usage des ADAS, d'autres complètement nouvelles pour les chercheurs et praticiens en Facteurs Humains. Dans cette section, nous commençons par définir la notion d'automatisation dans les activités humaines, puis nous nous penchons sur la classification des systèmes de conduite automatisée, et enfin nous présentons quelques études portant sur ce pan d'activité.

1.4.1. La notion d'automatisation de l'activité

La littérature scientifique au sujet de l'automatisation des activités humaines offre de nombreuses définitions, allant de la simple description basique et générale à la définition plus complexe et plus précise. L'automatisation y est définie comme étant l'exécution indépendante d'une fonction par un système technologique, qui auparavant était réalisée par l'humain, permettant donc de le remplacer ou de minimiser son travail (Parasuraman & Riley, 1997 ; Boy, 2013). Ce système automatisé serait ainsi conçu « *pour travailler de manière coopérative avec les opérateurs humains à la réalisation d'objectifs définis* » (Billings, 1997). La coopération entre l'humain et le système est donc au cœur de l'activité automatisée, mais serait également source de difficultés pour l'opérateur humain.

Des travaux menés dans différents secteurs d'activité comme l'aviation, le secteur maritime, le secteur ferroviaire, et plus récemment l'automobile, pour ne citer que quelques domaines, ont révélé certains paradoxes liés à l'automatisation de l'activité (Scerbo & Mouloua, 1998). En effet, le degré d'automatisation aurait, entre autres, des effets plus ou moins importants sur la performance, la conscience de la situation, et sur la charge mentale des sujets (Poisson, 2019). De façon générale, ces systèmes sont suffisamment complexes pour que les bienfaits de l'automatisation soient vite rattrapés par la détérioration de l'activité (Hoc, in Vom Hofe, 2000). La réduction des tâches humaines au sein du système automatisé impacte les

habiletés de haut niveau (résolution de problème), aussi bien que les habiletés de bas niveau de contrôle comme les routines (Vom Hofe, 2000).

Trois biais cognitifs expliqueraient ces phénomènes : (1) la prise de décision est souvent orientée vers la stratégie la moins coûteuse cognitivement (Fiske & Taylor, 1991), (2) les systèmes automatisés sont souvent surestimés notamment en comparaison des capacités des humains, et (3) la stratégie du moindre effort dans les activités collaboratives entre humains est également vraie pour les activités collaboratives avec les systèmes automatisés (Parasuraman & Manzey, 2010). Plusieurs sources sont à l'origine de ces biais cognitifs.

Tout d'abord, selon de nombreux auteurs, la complexité des systèmes automatisés augmenterait la charge mentale des sujets au lieu de la réduire. Dès 1983, Bainbridge a expliqué que les systèmes automatisés remplacent uniquement les aspects « faciles » des tâches à réaliser, tout en rendant encore plus complexes les aspects qui l'étaient déjà. Elle a aussi souligné que l'automatisation conduisait à passer de situations dans lesquelles les humains réalisent une action à des situations dans lesquelles ces mêmes actions sont médiatisées par un automatisme qu'il s'agit alors de contrôler ; l'humain n'intervenant plus que pour pallier ses dysfonctionnements ou ses limites. Les dimensions cognitives des tâches qui restent à l'humain sont alors dominantes. En 2013, la FAA⁵ a publié un rapport dans lequel elle pointe la complexité des systèmes automatisés présents dans les avions entraînant des erreurs humaines lors de leurs utilisations. Par ailleurs, selon ce rapport, plus les pilotes sont amenés à utiliser ces systèmes, plus leurs compétences ont tendance à diminuer dans le temps en raison de la complexité des systèmes mais également car ils passent moins de temps en pilotage manuel. Étant donné que la pratique est essentielle au développement des compétences, l'automatisation ne devrait donc pas supprimer complètement cette dernière au risque d'influencer négativement le développement des sujets (Poisson, 2019). Bainbridge (op. cit.) a également mis en évidence un autre facteur à l'origine de ce qu'elle nomme le « paradoxe de l'automatisation » en montrant que l'utilisation d'un système automatisé nécessite des activités de surveillance (ou supervision), de réglage et de maintenance supplémentaires de la part du sujet, ces tâches complexes supplémentaires n'étant pas prévues par les concepteurs des systèmes automatisés.

Par ailleurs, de nombreuses études ont montré qu'un état de sur-confiance envers les systèmes automatisés pouvait naître de leur utilisation. Cette sur-confiance serait le fruit d'un phénomène de complaisance (déjà évoqué pour les ADAS) et d'un biais d'automatisation. Le

⁵ La *Federal Aviation Administration* (FAA) est une agence gouvernementale chargée des réglementations et des contrôles concernant l'aviation civile qui dépend du département des Transports des États-Unis.

phénomène de complaisance correspond à un « *état psychologique caractérisé par un faible indice de suspicion* » (Wiener, 1981) dans lequel une « auto-satisfaction » du sujet peut « *entraîner une non-vigilance fondée sur une hypothèse injustifiée d'un état satisfaisant du système* » (Billings, Lauber, Funkhouser, Lyman, & Huff, 1976). Ce phénomène est impliqué dans de nombreux accidents quel que soit le secteur dans lequel intervient l'activité automatisée (Wiener 1981 ; Hurst & Hurst, 1982 ; Funk, et al., 1999 ; Endsley, 2017 ; NTSB, 2019). Le biais d'automatisation correspond à la tendance à ignorer, ou ne pas chercher, les informations contradictoires provenant d'un système informatique, particulièrement lors de la prise de décision en situation critique (Cummings, 2004). Ce phénomène entraîne soit des erreurs humaines dites « de commission » (accepter pour vraies des informations erronées aveuglément), soit des erreurs humaines dites « d'omission » (ne pas remarquer les erreurs du système tant que celui-ci n'alerte pas). Ces phénomènes de complaisance et de biais d'automatisation seraient aussi bien présents chez les novices que chez les experts, et l'état de sur-confiance serait en partie responsable de la perte de conscience de la situation selon Endsley (2017). En effet, l'auteur explique que « *plus on ajoute de l'autonomie à un système et plus on augmente sa fiabilité et sa robustesse, moins les opérateurs humains ont une bonne conscience de la situation et moins ils seront en mesure de prendre le contrôle manuel en cas de besoin* ». Trois décennies auparavant, Endsley (1987) avait déjà entrepris la classification du degré d'automatisation des systèmes, classification que nous présentons dans la sous-section suivante.

1.4.2. La classification des niveaux d'automatisation de la Society of Automotive Engineers (SAE)

Bien avant l'arrivée des premiers systèmes d'aide à la conduite partiellement automatisés, des travaux sur l'automatisation des systèmes dans le secteur de l'aéronautique ont abouti à une classification des niveaux d'automatisation reprise de nombreuses fois dans la littérature scientifique sur le sujet. Ainsi, en 1987 Endsley présente la classification suivante :

- Niveau 1 : Aucune assistance.
- Niveau 2 : Le système émet des recommandations à l'opérateur, qu'il peut choisir de suivre ou non, pour l'aider dans sa prise de décision.
- Niveau 3 : Le système propose des recommandations d'actions pour réaliser la tâche, qu'il excécutera si l'opérateur donne son consentement.
- Niveau 4 : Le système entreprend des actions pour réaliser la tâche, sauf dans le cas où l'opérateur intervient ou interrompt l'action.

- Niveau 5 : Le système réalise les actions nécessaires à la réalisation de la tâche, de manière automatique, sans intervention de l'opérateur qui n'est plus dans la boucle.

Cette classification a influencé de nombreux travaux, et différents organismes officiels s'en sont inspirés pour établir leur propre classification des niveaux d'automatisation de la conduite. C'est notamment le cas de la NHTSA (*National Highway Traffic Safety*) et de la SAE (*Society of Automotive Engineers*). La classification proposée par la SAE est celle communément admise et utilisée par l'industrie automobile. Elle décompose le degré d'automatisation de la conduite automobile en six niveaux, allant du moins automatisé au plus automatisé (SAE, 2018) :

- Niveau 0 : Aucune automatisation. Le conducteur garde le contrôle de tous les aspects de son activité de conduite (surveillance de l'environnement, contrôle longitudinal, et contrôle latéral). Les ADAS passives (comme l'avertisseur d'angle mort) sont considérées comme appartenant à ce niveau.
- Niveau 1 : Assistance du conducteur. Le système prend en charge une fonction particulière de l'activité de conduite (contrôle longitudinal ou contrôle latéral). Le conducteur reste entièrement responsable en supervisant le système et l'environnement, et en intervenant sur l'aspect pris en charge si nécessaire. Il assure également tous les autres aspects de cette activité. A ce niveau on retrouve notamment le régulateur de vitesse adaptatif (ACC) et le centrage dans la voie (LCA).
- Niveau 2 : Automatisation partielle. Le système prend en charge une ou plusieurs fonctions de l'activité de conduite simultanément (contrôle longitudinal et contrôle latéral). Le conducteur reste entièrement responsable de l'activité de conduite en supervisant le système et l'environnement, et en intervenant sur l'une des fonctions ou les deux si nécessaire. Les systèmes combinant l'ACC et le LCA, ainsi que l'Autopilot de Tesla (niveau 2 élaboré) font partie de cette catégorie.
- Niveau 3 : Automatisation conditionnelle. Le système prend en charge tous les aspects de la conduite (contrôle latéral et contrôle longitudinal). Le conducteur n'est plus responsable de l'activité de conduite, il n'est plus obligé de superviser le système et de surveiller l'environnement, et peut réaliser certaines activités non liées à la conduite. Cependant, le système peut à tout moment demander au conducteur de reprendre la main dans les situations dans lesquelles il atteint ses limites. Le conducteur doit donc être en mesure de reprendre la conduite à tout moment et dans un temps imparti. La fonction valet de parking (*Park Assist*) ainsi que certains prototypes de véhicules automatisés constituent l'ensemble de cette catégorie.

- Niveau 4 : Automatisation élevée. Le système prend en charge tous les aspects de la conduite (contrôle latéral et contrôle longitudinal). Le conducteur n'est plus responsable de l'activité de conduite, il n'est plus obligé de superviser le système et de surveiller l'environnement, et peut réaliser certaines activités non liées à la conduite. Le système ne demande au conducteur de reprendre la main que de façon anticipée. Le conducteur doit donc être en mesure de reprendre la main dans un laps de temps plus important que pour le niveau précédent. Ce niveau correspond à des prototypes de véhicules automatisés plus élaborés.
- Niveau 5 : Automatisation complète. Le système prend en charge tous les aspects de la conduite (contrôle latéral et contrôle longitudinal). Le conducteur n'est pas responsable de la conduite, il n'est pas obligé de superviser le système et de surveiller l'environnement, et peut réaliser des activités non liées à la conduite. Le système ne demande jamais au conducteur de reprendre la main. Cette catégorie correspond à ce que certains constructeurs appellent des « robotaxis », autrement dit des navettes autonomes dans lesquelles le rôle du conducteur humain n'est plus requis.

Dans le cadre de ce travail de thèse, nous nous sommes intéressés aux véhicules de niveaux 3 et 4 SAE, autrement appelés « véhicules hautement automatisés ». Ces niveaux, toujours à l'état de prototypes, offrent un cadre de recherche intéressant car ils proposent une automatisation importante de l'activité de conduite tout en complexifiant la coopération entre le conducteur et le véhicule, notamment lors des échanges de rôles (Kyriakidis, et al., 2019).

1.4.3. Quelques travaux sur la conduite automatisée

L'essor des prototypes de véhicules automatisés chez les constructeurs automobiles, au sein de projets de recherche académiques, ou encore au sein de projets de recherche et développement d'entreprises multinationales dans les technologies, a permis l'émergence de nombreuses études dans la littérature. Ces études portent autant sur les conséquences sur l'activité de conduite, sur les problématiques de conception ergonomique de ces systèmes, que sur la question du besoin de formation des conducteurs.

1.4.3.1. Des problématiques d'ergonomie pour la conception des véhicules automatisés

Pour commencer, la question du partage des rôles entre le conducteur et le système automatisé a été étudiée par Banks et Stanton (2016) dans le but de tester une nouvelle façon d'intégrer l'automatisation dans l'activité du conducteur. Cette idée reposait sur le principe du niveau 3 de la classification de Endsley (1987), c'est-à-dire que l'automatisation était à

l'initiative du conducteur dans le sens où le système proposait des actions à réaliser que le conducteur pouvait accepter ou ignorer. Bien que cette configuration permette aux conducteurs de rester dans la boucle de contrôle, les résultats ont montré une augmentation de leur charge mentale et une diminution de leur confiance. Les recommandations des auteurs pour la conception des systèmes automatisés vont donc dans le sens d'une transparence concernant l'autorité du conducteur sur le système afin d'améliorer la confiance.

Ce partage des rôles a également été très étudié du point de vue des transitions de mode de conduite dans lesquelles le conducteur passe de l'activité de conduite et de surveillance active à une activité de surveillance passive. Lu et al. (2016) se sont penchés sur la question dans le but de proposer un cadre théorique catégorisant les différents types de transition dans la conduite automatisée. Cette catégorisation repose sur le partage des tâches primaires de conduite (contrôle longitudinal, contrôle latéral et surveillance de l'environnement) entre le conducteur et le système. Ils ont ainsi défini six catégories différentes : (1) Conduite manuelle optionnelle à l'initiative du conducteur, (2) Conduite manuelle obligatoire à l'initiative du conducteur, (3) Conduite automatisée optionnelle à l'initiative du conducteur, (4) Conduite automatisée obligatoire à l'initiative du conducteur, (5) Conduite manuelle à l'initiative du système, et (6) Conduite automatisée à l'initiative du système. Les auteurs ont ensuite testé leur proposition à partir de données issues d'études précédentes sur les transitions, en concluant que cette catégorisation était fortement complémentaire des classifications officielles des systèmes de conduite automatisée. Cette complémentarité repose sur le fait que les catégorisations officielles décrivent ce que devraient être les rôles du conducteur et du système, alors que la proposition des auteurs décrit ce que font réellement le conducteur et le système à un moment donné.

Toujours au sujet des transitions, c'est notamment le passage de la conduite automatisée à la conduite manuelle lors des phases de reprise en main qui a fait l'objet de nombreuses études. En effet, cette transition est particulièrement critique du point de vue de l'ergonomie et des facteurs humains car elle implique notamment des nouvelles compétences des conducteurs (Boelhouwer, van den Beukel, van der Voort & Martens, 2019 ; Haué, Le Bellu & Barbier, 2020 ; Radlmayr, et al., 2019 ; Sahai, Barré, & Bueno, 2021 ; Zhang, de Winter, Varotto, Happee, & Martens, 2019). Par exemple, Gold, Damböck, Lorenz, et Bengler (2013) ont comparé les activités de conduite manuelle et de conduite automatisée de conducteurs afin de déterminer le temps nécessaire pour une reprise en main ne dégradant pas la qualité de la conduite par rapport à la conduite manuelle. Leurs résultats suggèrent que plus le délai octroyé pour la reprise en main était court et plus les conducteurs la trouvaient inconfortable. Selon les auteurs, un délai de huit secondes serait idéal pour permettre au conducteur de

repandre la main sans dégrader significativement la qualité de la conduite. Merat, Jamson, Lai, Daly, et Carsten (2014), quant à eux, trouvent des résultats suggérant que ce délai devrait être plus important, entre 10 et 15 secondes en fonction de l'attention visuelle, mais que ce délai peut aller jusqu'à 35-40 secondes dans le cas d'une instabilité du contrôle latéral. Les auteurs précisent également que ces durées devraient être fixes, plutôt que proportionnelles à une ou plusieurs variables, pour assurer de meilleures performances de reprise en main.

L'exclusion de plus en plus importante du conducteur de la boucle de conduite entraîne un certain nombre de difficultés qui devraient être prises en compte pour la conception des interfaces de conduite automatisée. Ces interfaces devraient, par exemple, être suffisamment transparentes en fournissant des informations sur l'état du contrôle de la conduite par le système et sur les actions en cours ou qu'il prévoit d'entreprendre (Stockert, Tara Richardson, & Lienkamp, 2015). Cette transparence des interfaces permettrait une meilleure confiance des conducteurs envers la conduite automatisée et des connaissances plus précises sur les capacités et les limites du système. Des résultats montrent également un meilleur temps de réaction des conducteurs en cas de panne du système et une meilleure conscience de la situation. Ces résultats laissent penser qu'un système d'information de confiance améliorerait la coopération entre le conducteur et son véhicule automatisé (Stockert, Tara Richardson, & Lienkamp, 2015). Cette hypothèse du rôle de la confiance dans la coopération entre les humains et les systèmes automatisés a aussi été explorée par Waytz, Heafner, et Epley, (2014). Ces derniers ont plus précisément étudié l'influence de l'anthropomorphie d'un système de conduite automatisée sur la confiance des conducteurs. Ils ont ainsi comparé un groupe de participants utilisant un véhicule traditionnel, un groupe utilisant un véhicule automatisé, et un groupe utilisant un véhicule automatisé augmenté par des caractéristiques anthropomorphiques (nom, genre, voix, etc.), le tout sur simulateur. Les résultats montrent que les caractéristiques anthropomorphiques influencent positivement la confiance des conducteurs qui pensent que le système est plus compétent et plus performant. Les auteurs recommandent donc d'intégrer ce type de caractéristiques lors de la conception de systèmes automatisés quels qu'ils soient (Waytz, Heafner, & Epley, 2014).

1.4.3.2. Des conséquences sur l'activité des conducteurs

La question de l'acceptabilité a priori des véhicules automatisés a fait l'objet d'une étude quantitative de Payre, Cestac et Delhomme (2014). Les facteurs pris en compte pour évaluer l'intention d'utiliser un véhicule automatisé étaient, entre autres, les attitudes des participants, leurs traits de personnalité et les contextes d'acceptabilité, en lien avec la recherche de sensations et le genre des participants. Les résultats ont mis en évidence l'intérêt de certains conducteurs pour des usages non prévus malgré une conscience de leurs responsabilités

concernant le véhicule et la conduite. Enfin, les contextes d'utilisation préférés étaient l'autoroute, les embouteillages, et le stationnement automatique.

De nombreuses autres études ont par ailleurs montré que l'automatisation de la conduite entraîne différents types de difficultés pour les conducteurs. Parmi ces difficultés on retrouve notamment la supervision du bon fonctionnement du système et la surveillance de l'environnement de conduite (Banks, Stanton, & Harvey, 2014). Ces résultats vont dans le sens des difficultés déjà identifiées dans d'autres types d'activités automatisées, comme évoqué dans les sections précédentes. De plus, la supervision du système par le conducteur changerait de nature : la fréquence de supervision de la dynamique latérale diminuerait, alors que la fréquence de supervision de la dynamique longitudinale serait quasiment équivalente (Poisson, et al., 2015). Ces phénomènes, que l'on peut considérer comme étant des activités résiduelles de la conduite, se retrouvent couplés à une augmentation du temps passé sur des activités secondaires non relatives à la conduite, faisant partie des activités de vie à bord possibles (Poisson, et al., 2015). Une étude souhaitant analyser des situations de référence de la conduite automatisée à partir d'une comparaison avec des activités similaires (pilotage d'avions de lignes et conduite de métros notamment), a mis en évidence de nouvelles classes de situations spécifiques à la conduite automatisée devant être prises en compte pour la conception des systèmes (Poisson, Safin, Langlois, Bationo-Tillon, & Decortis, 2015). Parmi ces classes de situations, les auteurs identifient notamment les phases de transition, les situations d'activité de vie à bord, ainsi que les situations d'activités de supervision et de surveillance tels qu'évoquées précédemment.

L'impact des activités de vie à bord (en tant que tâches secondaires) sur les phases de reprise en main a été évalué par Merat, Jamson, Lai, et Carsten, (2012). Ces derniers montrent que les conducteurs sont plus lents pour reprendre la main dans le but de gérer une situation lorsqu'une tâche secondaire est en cours. En revanche, leurs temps de réaction ne sont pas significativement différents par rapport à la conduite manuelle dans le cas où ils ne sont pas engagés dans une tâche secondaire. Les auteurs tirent la conclusion que l'automatisation n'a pas d'effet sur l'activité de conduite tant que le conducteur ne s'engage pas dans une tâche secondaire. Zeeb, Buchner et Schrauf (2015, 2016), quant à eux, ne trouvent pas d'effets significatifs des tâches secondaires sur le temps de réaction, en revanche la qualité de reprise en main est dégradée lorsque le conducteur est engagé dans une tâche secondaire (un décalage d'une dizaine de centimètres en moyenne par rapport au centre de la voie). Le modèle proposé par les auteurs suppose que la conscience de la situation (traitement perceptif et cognitif) fonctionne en parallèle de la préparation motrice (réengagement physique dans la conduite) lors des phases de reprise en main. D'autres études vont dans le sens de

ces résultats montrant l'impact des tâches secondaires sur le temps nécessaire pour les reprises en main et la qualité de ces dernières (Banks, Stanton & Harvey, 2014 ; Boelhouwer, van den Beukel, van der Voort, & Martens, 2019). De plus, une mauvaise gestion d'une reprise en main peut avoir des conséquences graves comme la survenue d'un accident (Gold, Damböck, Lorenz, & Bengler, 2013). Ces résultats suggèrent donc qu'il est aussi important, si ce n'est plus, de considérer la qualité de la reprise en main que le temps de réaction des conducteurs pour évaluer cette tâche. D'autres facteurs entrent en jeu, comme l'expérience des conducteurs avec des systèmes se rapprochant de la conduite automatisée tel que l'ACC, par exemple.

Le niveau d'automatisation détermine aussi le degré d'impact sur l'activité du conducteur. De manière générale, les performances de conduite semblent diminuer lorsque le niveau d'automatisation augmente (Strand, Nilsson, Karlsson, & Nilsson, 2014). Selon Strand et al. (2014), en situation critique, les conducteurs adoptent un comportement de gestion de la situation plus sûr avec des systèmes semi-automatisés qu'avec des systèmes hautement automatisés. Ces résultats concernant la gestion des situations critiques sont confirmés dans une autre étude qui précise néanmoins qu'en situation d'embouteillage (condition moins critique) les conducteurs jugent l'automatisation plus utile, réduisant la difficulté et la pénibilité de l'activité de conduite (Sassman, Deniel, Bellet, & Claverie, 2018). Les auteurs ajoutent que ces effets dépendent aussi du niveau d'expérience des conducteurs. Les résultats de l'étude menées par Greenlee, DeLucia, & Newton (2018), montrent qu'avec des niveaux d'automatisation élevés, le degré d'engagement du conducteur dans la tâche de conduite serait plus faible et ses temps de réaction plus lents face à un danger de la route, augmentant la probabilité d'accidents. Enfin, comme nous l'avons évoqué dans les sections précédentes, la sur-confiance du conducteur envers la conduite automatisée entraîne une dépendance au système, des usages non prévus et/ou une diminution de la vigilance du conducteur.

L'automatisation de la conduite induit donc un ensemble de complications pour le conducteur qui n'étaient pas imaginées/prévues par les concepteurs des premiers prototypes de véhicules automatisés. Parmi ces complications on retrouve entre autres des usages détournés ou déviants, la perte de la conscience de la situation, et une augmentation de la charge mentale (Saffarian, De Winter, & Happee, 2012). Aussi, les conducteurs pourraient à terme devenir de plus en plus dépendants du système automatisé et perdre en capacité de reprise en main. Ce phénomène est connu sous le nom d'érosion des compétences (Stanton & Marsden, 1996). Ces spécificités de l'activité de conduite automatisée identifiées par différents auteurs permettent de penser la conception de ces systèmes de façon à diminuer le risque de difficultés d'usage pour les conducteurs, notamment grâce à des règles de

fonctionnement et des IHM plus adaptées (Poisson, Safin, Langlois, Bationo-Tillon, & Decortis, 2015). Cependant, l'activité de conduite automatisée se révélant plus complexe que prévu, la plupart des auteurs cités dans cette section s'accordent sur la nécessité de se pencher sérieusement sur la question de la formation des conducteurs pour la prise en main des véhicules automatisés.

1.4.3.3. La question de la formation pour l'usage des véhicules automatisés

Les impacts potentiels de l'automatisation d'un véhicule sur l'activité de son conducteur nécessitent donc que ce dernier soit formé à son utilisation (Carlin & Ducombs, 1994 ; Freyssenet, 1983 ; Poisson, 2019), notamment en sensibilisant les apprenants aux capacités et aux limites des systèmes. En effet, selon Bahner, Hüper, & Manzey (2008) le biais de complaisance diminue fortement lorsque le conducteur est exposé à des échecs de l'automatisation pendant une phase de formation préalable à la conduite. Cela est aussi vrai pour le biais d'automatisation qui peut être réduit en intégrant des erreurs délibérées du système dans la formation, plutôt que simplement informer le conducteur que ces erreurs peuvent exister. De plus, une étude a montré que lorsque la formation insiste sur les effets négatifs du biais d'automatisation, cela réduit également le nombre d'erreurs de commission, c'est-à-dire le fait que le conducteur suive aveuglément les directives ou les recommandations d'un système automatisé (Skitka, Mosier, Burdick, & Rosenblatt, 2000).

La formation pourrait également limiter les usages inappropriés et les erreurs du conducteur en combinant la théorie et la pratique (Bahner, Hüper, & Manzey, 2008 ; Parasuraman & Riley, 1997). Comme nous l'avons vu dans la section précédente, les phases de reprise en main sont des situations particulièrement critiques pour les conducteurs, entraînant un certain nombre d'erreurs. Payre, Cestac, Dang, Vienne, et Delhomme (2017) ont étudié l'effet du manque de formation spécifiquement sur la tâche de reprise en main. Ils ont ainsi comparé deux groupes lors de tâches de reprise en main inattendues pour cause de défaillance du système en simulateur. Le premier groupe avait suivi une formation « élaborée » composée d'une lecture d'un texte sur le fonctionnement du système, de questions, du visionnage de vidéos de reprises en main, et d'une phase de familiarisation avec le système et d'explication de son fonctionnement global. Le second groupe quant à lui n'a eu accès qu'à la phase de familiarisation et d'explication. Pour évaluer les reprises en main, les auteurs ont recueilli les temps de réaction, le nombre d'interactions avec les pédales, et le type de commande utilisé (volant, pédales, volant et pédales). Le groupe ayant suivi la formation complète a obtenu des temps de réaction et un nombre d'interactions plus faible que le groupe sans formation, et a rapporté une meilleure confiance envers le système. Les auteurs concluent donc que la formation aiderait les conducteurs à mieux gérer les reprises en main, mais précisent

également que le temps passé en formation n'est pas obligatoirement proportionnel aux performances des conducteurs. En effet, le plus important à prendre en compte serait la méthodologie ainsi que le type de dispositif d'apprentissage. A ce propos, les auteurs suggèrent deux choses : (1) de débloquer les fonctions de la conduite automatisée graduellement, au fur et à mesure que le conducteur gagne en expérience, et (2) limiter le temps de conduite automatisée pour s'assurer que le conducteur continue de conduire manuellement pour ne pas perdre en compétences.

Plus récemment, Blömacher, Nöcker, et Huff (2020) ont étudié l'impact du modèle mental induit par la formation. Dans deux expérimentations différentes, ils ont « manipulés » les modèles mentaux de conducteurs en leur fournissant des descriptions correctes et incorrectes du système automatisé. Dans la première expérimentation, contrairement à ce à quoi les auteurs s'attendaient, les résultats ont mis en évidence des temps de réaction plus rapides dans la condition « modèle mentale incorrect ». Ce résultat a été confirmé lors de la seconde étude, mais une explication a pu être identifiée. Ce phénomène serait dû à une trace résiduelle de la première expérience de dissonance entre le modèle mental du conducteur et le comportement réel du système, comme un « traumatisme » préparant le conducteur à réagir plus rapidement. De manière générale, la description préliminaire du système impacte le modèle mental du conducteur, et devrait intégrer une description des fonctionnalités et des limites du système. Pour cela, les formations dites « élaborées » proposant différents types de contenus pédagogiques (théorique et pratique) permettraient d'obtenir de meilleurs résultats.

Dans l'objectif de proposer un cadre pour la conception des formations destinées à l'apprentissage de la conduite automatisée, Casner et Hutchins (2019) ont élaboré un « catalogue de connaissances » inspiré des travaux sur l'automatisation dans l'aviation. Ces connaissances sont réparties en items organisés en trois catégories : (1) connaissances sur l'automatisation, (1) sur le conducteur et (3) sur la tâche de conduite (voir Annexe 1 pour la liste des items). Dans un registre similaire, Ebnali, Hulme, Ebnali-Heidari, et Mazloumi (2019) proposent trois approches complémentaires pour assurer une formation « élaborée » à la conduite automatisée. Selon les auteurs, la première approche est relative aux compétences procédurales comme le contrôle du véhicule et l'utilisation des IHM. Elles sont considérées comme des compétences de bas niveaux et correspondent au niveau 1 de la matrice GDE : la maîtrise instrumentale du système (voir 1.2.1.3. Le modèle GDE). La deuxième approche fait référence aux compétences cognitives de hauts niveaux comme la perception du danger, la conscience de la situation, ou l'auto-évaluation par exemple. Ces compétences correspondent aux ressources internes du conducteur lui permettant d'interagir de façon

adaptée avec son environnement de conduite et de gérer les situations (Corneloup, 2019 ; Deery, 1999). Cela correspond donc au niveau 2 de la matrice GDE : la maîtrise des situations de conduite. Enfin, la troisième approche correspond aux perceptions et aux attitudes du conducteur dans le but de le sensibiliser à différents facteurs accidentogènes comme la surconfiance, l'acceptabilité, les biais de complaisance et d'automatisation, etc. Cette approche fait plus ou moins référence aux niveaux 3 et 4 de la matrice GDE.

1.4.3.4. Apports des études menées au sein du Groupe Renault concernant le véhicule automatisé

Au sein du Groupe Renault, les premières études en Sciences Humaines sur le sujet du véhicule automatisé ont commencé à voir le jour vers la moitié de la dernière décennie. Ces études se sont tout aussi bien penchées sur des questions de conception des systèmes et de leurs IHMs, que sur l'activité de conduite automatisée (notamment les phases de reprise en main), et sur la question de la formation.

Comme nous l'avons vu, l'activité de conduite automatisée implique aussi bien des phases de conduite automatisée à proprement parler que des phases de transitions pouvant être critiques pour les conducteurs. Une des premières préoccupations des chercheurs chez Renault portait sur la conception d'interfaces spécifiques et appropriées à chaque phase de la conduite automatisée permettant au conducteur d'avoir une bonne conscience des situations. C'est ainsi que le principe de transparence du système et de ses interfaces a été mis en avant par Debernard, Chauvin, Pokam, et Langlois en 2016, dans une étude qui avait pour objectif d'identifier et de catégoriser les informations à afficher au conducteur. A partir de ce constat, Langlois et Boussaad (2016) ont entrepris une étude comparative sur simulateur pour évaluer l'impact de différentes IHM sur la tâche de reprise en main. Ils ont ainsi comparé les résultats d'un groupe utilisant un afficheur tête haute (HUD : *Head Up Display*) classique, et les résultats d'un groupe utilisant un HUD en réalité augmentée. Les auteurs ont pu montrer que l'utilisation du HUD en réalité augmentée améliore la conscience de la situation, l'anticipation du comportement du véhicule, ainsi que la qualité et le confort de reprise en main. Plus récemment, une étude a permis d'approfondir le sujet en explorant plusieurs principes de transparences appliqués à l'affichage d'information sur un HUD en réalité augmentée dans une situation de reprise en main (Pokam, Debernard, Chauvin, & Langlois, 2019). Les auteurs ont intégré les fonctions suivantes dans les IHM du HUD en réalité augmenté : l'acquisition d'informations sur l'environnement, l'analyse de ces informations, la prise de décision du système automatisé, et l'exécution de l'action par le système. Pour valider ces principes de transparence, les auteurs ont évalué la conscience de la situation de conducteurs, la sensation d'inconfort, et les préférences des participants. Les résultats ont

montré que ces principes de transparence permettent aux conducteurs de mieux comprendre l'environnement de conduite, en particulier les principes d'acquisition d'informations et d'exécution de l'action.

Guo, Sentouh, Popieul, et Haué (2019) ont eux aussi étudié les transitions en explorant l'idée d'un mode de transition permettant de partager le contrôle du volant grâce à un modèle prédictif lors du transfert de contrôle entre le véhicule automatisé et le conducteur. Un contrôle de haut niveau permettait de détecter les intentions du conducteur (changer de voie par exemple), permettant à un contrôle de plus bas niveau d'assister activement le conducteur dans une manœuvre (changement de voie par exemple). Les résultats ont permis de confirmer l'hypothèse des auteurs selon laquelle ce mode de transition permettrait de faciliter le transfert du contrôle entre le véhicule et le conducteur, en le rendant beaucoup plus fluide. La coopération entre le conducteur et le système de conduite automatisée a aussi été mise à l'épreuve d'une autre situation de conduite, à savoir les croisements d'autoroutes (Guo, et al., 2019). Les auteurs ont évalué un certain nombre de principes de coopération, leur intuitivité, les performances des conducteurs dans la coopération avec le véhicule, et les IHMs conçues pour l'expérimentation réalisée en simulateur. A l'instar des études présentées plus haut, les résultats de Guo et al. (2019) montrent l'intérêt d'utiliser la réalité augmentée pour améliorer la perception des IHMs, ainsi qu'un effet positif des principes proposés sur la coopération conducteur-véhicule et sur les performances de la conduite automatisée.

Une étude sur le réengagement du conducteur lors des phases de reprises en main a été réalisée par Haué, Le Bellu et Barbier en 2020. Dans leur article, les auteurs expliquent que le réengagement du conducteur nécessite une préparation préalable vue comme un ensemble de « *fenêtre attentionnelles (Vermersch, 2002), maintenues et mises à jour en permanence* », tout en se réactualisant en cas d'événement pertinent (Salembier, Theureau, Zouinar, & Vermersch, 2001). La force d'engagement du conducteur module son attention, qui se focalise sur des éléments de l'environnement de conduite en se basant sur un suivi des attentes et sur la mobilisation des schèmes. L'attention du conducteur est également modulée par les expériences passées qui vont influencer les médiations symboliques et sensorielles. Haué, Le Bellu et Barbier (2020) distinguent deux types de réengagement dans la boucle de conduite lors des phases de reprises en main : le réengagement partiel (résultant souvent d'un désengagement fort préalable), et le réengagement complet (résultant souvent d'un désengagement limité). Le réengagement partiel survient lorsque le conducteur est « sous pression », il privilégie alors l'accès aux commandes, sans prendre le soin de reconstruire une image de la situation de conduite au préalable. Dans ce cas de figure, le conducteur serait alors incapable d'anticiper une évolution inattendue de la situation (la survenue d'un danger

par exemple) et adopterait un comportement réactif plutôt que proactif. Le réengagement complet survient soit lorsque le conducteur ne s'est pas totalement désengagé de la conduite (surveillance passive permettant une coordination avec le trafic et donc une certaine anticipation, mais coûteuse cognitivement et peu fiable), soit lorsqu'il a suffisamment de temps pour reconstruire sa conscience de la situation. Les auteurs de cette étude proposent alors trois solutions pour assurer un réengagement complet du conducteur lors des phases de reprises en main. La première solution serait de limiter le temps passé en conduite automatisée afin d'assurer des réengagements fréquents du conducteur ; la deuxième solution consisterait à solliciter régulièrement l'attention du conducteur sur des éléments de l'environnement de conduite (sans forcément le réengager) pour réactualiser régulièrement sa conscience de la situation ; enfin, la troisième solution serait de favoriser un réengagement complet grâce à un processus accompagnant le conducteur pendant les étapes de reprise en main (préparation du conducteur en amont de la reprise en main). C'est à cette troisième solution que les auteurs se sont particulièrement intéressés, en proposant une démarche qui consisterait à intervenir à la fois lors de la phase d'apprentissage du système pour amorcer la constitution de schèmes appropriés à la tâche de reprise en main, et lors des moments de reprises en main en conduite, en supportant la mobilisation de ces schèmes. Les auteurs proposent alors le modèle d'« entonnoir de réengagement » (Figure 5) pour expliquer les étapes à suivre afin de permettre une meilleure qualité de reprise en main des conducteurs.

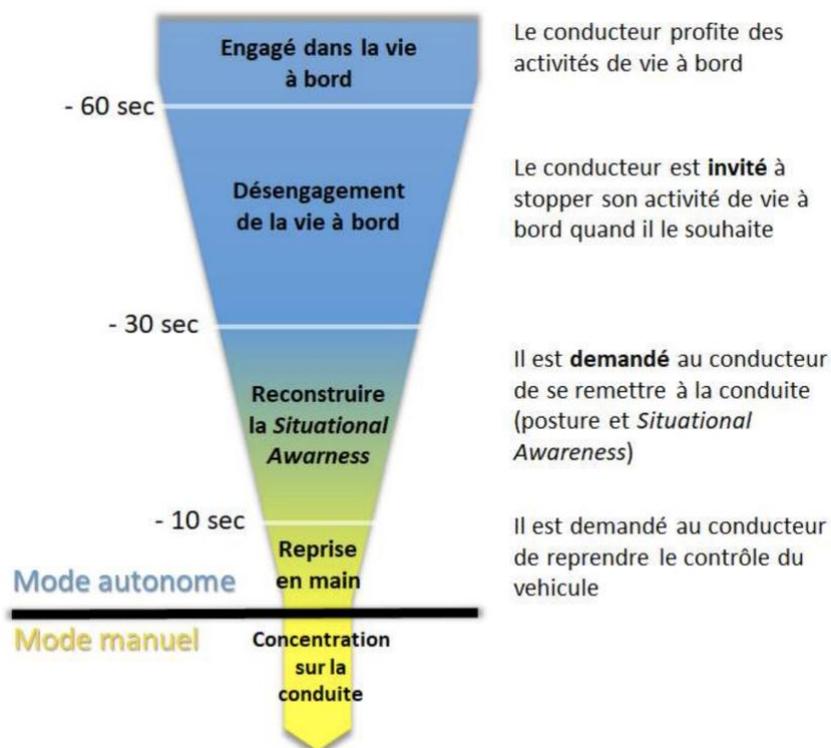


Figure 5 : Modèle de l'entonnoir de réengagement du conducteur dans la boucle de conduite lors des phases de reprise en main selon Haué, Le Bellu et Barbier (2020).

Ce modèle suppose que le conducteur dispose d'au moins 60 secondes pour se réengager dans l'activité de conduite manuelle, et se décompose en quatre étapes. L'étape 0 fait référence au moment durant lequel le conducteur est engagé dans une tâche secondaire d'activité de vie à bord (lecture, visionnage de film, etc.). L'étape 1 est la phase de prise de conscience de la nécessité d'agir et donc de se désengager de l'activité de vie à bord. L'étape 2 concerne la reconstruction de la conscience de la situation (réengagement cognitif) à partir du moment où le conducteur s'est désengagé de son activité de vie à bord. Enfin, l'étape 3 constitue la reprise en main à proprement parler, c'est-à-dire le réengagement physique et cognitif dans la conduite à partir de la désactivation de la conduite automatisée. Pour accompagner chacune de ces étapes, Haué, Le Bellu et Barbier (op. cit.) proposent plusieurs hypothèses de solutions (alertes visuelles, sonores, messages, etc.) à mettre en œuvre pour aider le conducteur en situation.

Concernant le sujet de la formation des conducteurs de véhicules automatisés, entre 2018 et 2019, un Groupe de Travail (GT) scientifique a vu le jour chez Renault dans le but de mettre en commun les travaux de plusieurs acteurs du secteur concernant le besoin en apprentissage des conducteurs pour l'usage des ADAS et des futurs véhicules automatisés (Le Bellu & Forzy, 2019). Ces travaux ont clairement confirmé le constat fait dans la littérature scientifique (Kyriakidis, et al., 2017 ; Endsley, 2017 ; Hergeth, Lorenz, & Krems, 2017 ; Payre, et al. 2017) et par les pouvoirs publics et autres instances (voir Chapitre 2) concernant la nécessité d'accompagner les futurs conducteurs de véhicules automatisés dans leurs connaissances et leur compréhension du fonctionnement du système pour favoriser l'élaboration de représentations et de modèles mentaux appropriés. Le but étant à terme de faciliter l'acceptabilité et la confiance envers ces nouvelles technologies par le grand public. Les chercheurs ont ainsi identifié quatre grandes catégories de connaissances permettant de classifier les thèmes qu'un contenu pédagogique pour l'apprentissage de la conduite automatisée devrait intégrer. Les deux premières sont les connaissances déclaratives et procédurales, que Le Bellu et Forzy considèrent comme étant des connaissances externes au sujet et qui s'accumulent au fil de l'expérience en conduite automatisée, constituant une base de solutions mobilisables (Anderson, 1996). La 3^{ème} grande catégorie correspond aux connaissances dites « tacites » et « incorporées », considérées cette fois-ci comme des connaissances internes au sujet, développées au cours d'expériences vécues (on en retrouve notamment chez les experts du domaine d'activité). Les connaissances dites « tacites » ont été internalisées et littéralement incorporées car elles impliquent des sensations du corps (faire corps avec son véhicule, ce dernier devenant un prolongement du conducteur – *embodied cognition* : Varela, 1991 ; Barsalou, 2020 ; Hutchins, 2010), et sont par conséquent difficilement explicitables et généralement très peu observables, rendant la tâche des

concepteurs de formation plus difficile. Enfin, la 4^{ème} grande catégorie de connaissances est transverse puisqu'elle concerne des connaissances expérientielles ou situationnelles pouvant alimenter les trois autres catégories. Il s'agit par exemple de situations de conduite spécifiques que le conducteur aura vécu. Selon les auteurs, la mobilisation de ces quatre catégories de connaissances dans des formations permettrait au conducteur d'être « *davantage en capacité d'anticiper, s'adapter, et gérer des situations complexes, en adoptant une approche visant en priorité à comprendre et diagnostiquer, plutôt qu'à chercher à résoudre directement un problème, comme le font des personnes novices* » (Le Bellu & Forzy, 2019, p.33). Ce groupe de travail a également abouti à la proposition d'une liste de thèmes plus précis à aborder dans les formations pour un contenu pédagogique adapté :

- La nature du système automatisé et son domaine d'usage
- Les règles de partage des rôles entre le conducteur et le véhicule automatisé
- Les modalités d'activation, de désactivation et de paramétrage du système
- Les conditions et les limites de fonctionnement du système
- La gestion des situations qui nécessitent un entraînement (ex : les reprises en main)
- Les effets de bord avec les autres systèmes présents dans le véhicule en termes d'IHM, de fonctionnalités, etc.
- Les règles concernant les activités de vie à bord possibles en fonction du niveau d'automatisation du véhicule
- La communication avec les autres usagers de la route et la gestion de situations spécifiques relatives (ex : l'approche d'un véhicule d'urgence)
- Des connaissances générales sur le fonctionnement technique du système automatisé (ex : types de capteurs, de caméras, etc.)

De nouvelles études, récentes ou en cours au sein du Groupe Renault, sur le sujet de l'apprentissage de la conduite automatisée viennent compléter les résultats de ce Groupe de Travail. Le Bellu (soumis) présente ainsi deux études réalisées en simulateur de conduite automatisée de niveaux 3-4 SAE, ayant eu pour but d'identifier un contenu pédagogique précis à transmettre aux futurs utilisateurs de ces systèmes. Les résultats de ces expérimentations montrent qu'un certain nombre de connaissances manquent aux conducteurs pour bien comprendre et utiliser le système de conduite automatisée. Parmi ces connaissances manquantes, Le Bellu identifie des connaissances portant sur : le fonctionnement du système, ses limites, le rôle du conducteur, et sur le partage des rôles entre le conducteur et le véhicule (spécifiquement dans des situations critiques et les situations de transitions). L'auteure en conclut que ces connaissances devraient faire l'objet d'un contenu formatif qui pourrait être dispensé aux conducteurs avant même les premiers

usages de ces systèmes, ou a minima être disponibles facilement pour aider ces derniers à se construire un modèle mental approprié de l'usage possible d'un véhicule automatisé (domaine d'usage et limites) afin d'envisager une coopération et une anticipation adéquates. Ces résultats, en ligne avec la littérature scientifique sur le sujet, soulignent l'importance d'une formation préalable à l'utilisation des véhicules automatisés (Boelhouver, Van Den Beukel, et al. 2019 ; Ebnali, et al. 2019 ; Kyriakidis et al., 2017 ; Endsley, 2017 ; Hergeth, et al., 2017 ; Payre, et al. 2017). Le Bellu (soumis) propose une liste plus précise (par rapport à liste proposée par le Groupe de Travail de Le Bellu et Forzy, 2019) de 19 items de connaissances préalables à l'usage des véhicules automatisés (Annexe 2).

Ces items sont répartis en sept catégories. La Catégorie 1 (description générale et fonctionnelle du système) et la Catégorie 3 (comportement du véhicule en conduite automatisée) concernent des informations assez générales sur le véhicule automatisé. La Catégorie 2 (activation et désactivation de la conduite automatisée) et la Catégorie 4 (IHM de la conduite automatisée) fournissent des explications sur les procédures d'utilisation et les moyens d'action du conducteur. La Catégorie 5 (domaine d'usage de la conduite automatisée) fait référence aux limites du système, et la Catégorie 6 (réglementation et sécurité) rappelle les règles de conduite et les responsabilités du conducteur. Enfin, la Catégorie 7 (situations de conduite spécifiques à la conduite automatisée) concerne des connaissances expérientielles ou situationnelles. Selon Le Bellu (op. cit.), la principale difficulté pour les constructeurs automobiles sera de fournir un contenu pédagogique adapté, dans un format permettant au conducteur, non seulement d'apprendre à utiliser le système, mais également de gérer des situations de conduite automatisée qui mobilisent le corps et la cognition. En effet, un tel apprentissage pourrait aider le conducteur à acquérir et incorporer des connaissances opérationnalisables, en particulier dans des situations dites « sensibles » (Cusanno, Vidal-Gomel, & Le Bellu, 2021b).

1.5. Conclusion du chapitre et problématique pour la conduite automatisée

Dans ce chapitre nous avons retracé, de manière non exhaustive, un historique des recherches sur l'automatisation progressive de la conduite automobile dans le champ des sciences humaines, et plus particulièrement en ergonomie et facteurs humains. Nous avons vu que très tôt, les chercheurs ont tenté de décrire l'activité de conduite automobile traditionnelle grâce à différentes approches aboutissant à des modèles ayant pour point commun une hiérarchisation de l'activité et des compétences mobilisées par les conducteurs. Ces modèles ont servi, et servent toujours, de socle pour la conception des formations initiales

théoriques et pratiques à la conduite automobile, malgré des débats toujours en cours sur l'efficacité des différentes approches existantes.

L'arrivée progressive de technologies dans les véhicules, permettant d'aider les conducteurs dans leur activité de conduite (ADAS), a eu un impact inattendu (bien que prévisible selon des études réalisées dans d'autres secteurs d'activité) entraînant des complications pour les conducteurs. Les ADAS sont de différentes natures, mais dans le cadre de cette thèse nous nous sommes particulièrement intéressés aux ADAS actives, dont la fonction réside dans le remplacement du conducteur dans l'une ou plusieurs de ses tâches primaires de conduite : à savoir le contrôle longitudinal (régulateur de vitesse classique : CC ; et adaptatif : ACC), le contrôle latéral (centrage dans la voie automatique : LCA) ou les deux (conduite semi-automatisée combinant l'ACC et le LCA). De nombreux travaux ont identifié des difficultés induites par l'usage de ces ADAS actives augmentant le risque d'accident de la route. Parmi ces difficultés, on trouve principalement des temps de réaction plus longs des conducteurs, des usages détournés, des biais de complaisance, de la sur-confiance envers les systèmes, ou encore un défaut de conscience de la situation. Un manque de connaissances et donc de compréhension du fonctionnement des ADAS, entraînant des représentations et des modèles mentaux erronés, serait à l'origine de ces difficultés. En effet, près de la moitié des conducteurs ne liraient pas les notices d'utilisation : les chercheurs s'accordent donc sur la nécessité d'accompagner de façon plus importante les utilisateurs d'ADAS. Ces résultats ont été amplement confirmés par les études et recherches réalisées au sein du Groupe Renault.

Nous avons ensuite défini ce qu'était l'automatisation de la conduite automobile en présentant l'une des classifications des niveaux d'automatisation les plus répandues dans le domaine, à savoir la classification de la SAE proposant six niveaux allant du moins automatisé au plus automatisé. Dans le cadre de cette thèse nous nous sommes intéressés aux niveaux 3 et 4 correspondants à une automatisation complète de l'activité des conducteurs selon certaines conditions. Ces niveaux permettent un désengagement du conducteur et la réalisation de tâches secondaires d'activité de vie à bord non relatives à la conduite. Les travaux menés sur la conduite automatisée ont mis en évidence des nouvelles classes de situations spécifiques à cette activité, dont certaines sont plus critiques que d'autres. Parmi les classes de situations critiques on retrouve les phases de transition de mode (passage de la conduite manuelle à la conduite automatisée, et vice-versa), et plus particulièrement les phases de reprise en main qui ont fait l'objet de nombreuses études. En effet, l'engagement du conducteur dans des tâches secondaires d'activité de vie à bord, rendu possible par l'automatisation, complique le réengagement de ce dernier dans la boucle de conduite (défaut de conscience de la situation, par exemple). De nombreuses autres difficultés ont été constatées, dont certaines sont

similaires à celles identifiées dans les études sur l'usage des ADAS actives, et d'autres complètement nouvelles. Par exemple, la supervision du fonctionnement du système et la surveillance de l'environnement entraînent soit une charge mentale trop importante, soit un biais de complaisance et/ou un biais d'automatisation (en lien avec la sur-confiance envers le système). Des problèmes d'érosion des compétences de la conduite traditionnelle des conducteurs ont également été identifiés.

Pour pallier ces difficultés, les chercheurs ont exploré des solutions aboutissant à des recommandations pour la conception des systèmes automatisés et de leurs IHMs (temps de reprise en main nécessaires, transparence des interfaces et du système, anthropomorphisme, etc.). Malheureusement, force est de constater que ces systèmes, aussi ergonomiques soient-ils, restent trop complexes et nécessitent donc un apprentissage spécifique. Par conséquent, les chercheurs suggèrent de concevoir des formations « élaborées » articulant différents types de connaissances présentées sous différents formats, permettant un apprentissage aussi bien théorique que pratique. Ces formations devraient dans un premier temps fournir une description précise et juste du système permettant l'élaboration de représentations et de modèles mentaux appropriés. Les chercheurs recommandent également que ces formations interviennent a minima sur les niveaux 1, 2 et 3 du modèle GDE, s'accordant ainsi avec les recommandations de Boccarda (2011) concernant les formations initiales à la conduite traditionnelle. Les travaux menés au sein du Groupe Renault confirment en grande majorité tous ces résultats et tous ces constats, tout en fournissant des précisions importantes sur les items de connaissances préalables à la conduite automatisée. Ces recommandations fournissent un cadre de réflexion pour la conception de contenus pédagogiques. Mais alors, quelles sont les informations et connaissances précises à fournir aux futurs conducteurs de véhicules automatisés en vue de la conception d'un outil didactique embarqué ?

Pour répondre à cette question, il est impératif de se donner les moyens organisationnels, méthodologiques et techniques d'étudier l'activité de conduite automatisée dans les conditions les plus écologiques possibles. C'est ce que nous avons tenté de faire tout au long de cette thèse et que nous présentons au fil des chapitres suivants.

Chapitre 2 : Conception d'un outil didactique, quels enjeux pour l'industrie automobile ?

Comme nous venons de le voir, de nombreuses études montrent la nécessité d'accompagner les conducteurs dans la prise en main des systèmes automatisés allant des ADAS (niveau 1 SAE), aux systèmes hautement automatisés (niveaux 3 et 4 SAE), en passant par les systèmes semi-automatisés (niveau 2 SAE). Ainsi, un nouveau champ de recherche a vu le jour ces dernières années, dont les travaux cherchent à explorer, concevoir et évaluer des nouvelles façons de guider l'apprentissage de l'usage de ces systèmes. L'émergence de plus en plus de travaux scientifiques issus de la recherche académique s'accompagne de mouvements dans les institutions de réglementation (Ministère des transports, CNSR⁶, Euro NCAP⁷, NHTSA⁸, etc.) ainsi que chez les constructeurs automobiles soucieux de proposer la meilleure expérience à leurs clients. Un travail conjoint de ces trois pôles permet d'articuler respectivement la théorie, la réglementation et la technique, en vue de constituer une base d'études solide pour la conception des nouveaux systèmes de conduite, de leurs IHMs, ainsi que des nouvelles réglementations nécessaires pour leur bonne intégration dans l'environnement routier actuel (assurer la transition vers les nouvelles mobilités). La question de la formation à l'usage des systèmes automatisés de la conduite se pose alors en tant que condition préalable à la bonne intégration de toutes ces réflexions dans l'activité des conducteurs.

Dans ce chapitre nous présentons dans un premier temps les actions menées, et les décisions prises, par les autorités compétentes et les constructeurs automobiles concernant l'accompagnement des conducteurs, puis nous faisons un état des lieux des moyens existants actuellement sur le marché pour répondre à cette problématique de prise en main des ADAS. Enfin, nous présentons quelques études exploratoires sur des dispositifs innovants pour l'apprentissage de la conduite automatisée, avant d'évoquer les contraintes et les potentialités sous-jacentes au contexte industriel pour la conception d'un outil didactique embarqué dans les futurs véhicules automatisés. La conclusion de ce chapitre met en exergue une autre partie

⁶ Le Conseil National de la Sécurité Routière (CNSR), a été créé par décret le 28 août 2001. Cet organisme, composé d'élus, d'associations, d'entreprises et d'administrations, est un lieu de débats et une instance de conseil pour le gouvernement en matière de sécurité routière.

⁷ Le *European New Car Assessment Program*, est un organisme international indépendant basé à Bruxelles, en Belgique, créé en 1997. Il a pour fonction principale d'effectuer des essais de choc afin de tester les capacités dans le domaine de la sécurité passive des véhicules, notamment automobiles.

⁸ La *National Highway Traffic Safety Administration* (NHTSA) est une agence fédérale américaine des États-Unis chargée de la sécurité routière. Elle dépend du département des Transports des États-Unis.

de la problématique de recherche de cette thèse, à savoir : comment concevoir un dispositif d'apprentissage embarqué adapté au contexte d'usage du véhicule tout en engageant suffisamment le conducteur dans son apprentissage ?

2.1. Ce qu'en disent les autorités et les constructeurs automobiles

La nécessité d'accompagner les conducteurs pour la prise en main des ADAS et des véhicules automatisés est un constat issu de la littérature scientifique, mais qui a alimenté les discussions des différents acteurs impliqués dans l'industrie automobile et dans la sécurité routière (Sætren, Wigum, Robertsen, Bogfjellmo, & Suzen, 2018 ; Le Bellu & Forzy, 2019). En effet, les nouvelles compétences requises posent des questions de formation qui ne doivent pas être prises à la légère, car impliquant la sécurité des usagers de la route, et par conséquent des vies humaines. La question est alors de savoir quel cadre définir afin de guider les acteurs de l'industrie à concevoir ces formations en termes de connaissances à partager et de la façon de les transmettre (Sætren, Wigum, Robertsen, Bogfjellmo, & Suzen, 2018). Ainsi, les réglementations actuelles stipulant que les constructeurs sont dans l'obligation d'informer les conducteurs au sujet des conditions d'utilisation et du fonctionnement des systèmes, ne suffisent plus. Des textes et des initiatives publiques ont vu le jour pour aller plus loin et tenter de proposer des cadres de réflexion et des recommandations plus précises destinées aux constructeurs automobiles (Le Bellu & Forzy, 2019) – proposant par exemple des modalités de formations ou précisant a minima le type d'information à fournir. Le Groupe de Travail initié chez Renault, dont nous avons déjà présenté quelques résultats dans le chapitre précédent, a ainsi identifié cinq sources d'instances publiques s'étant penchées sur la question (Le Bellu & Forzy, 2019) :

- NHTSA automated driving systems 2.0, 2017 (États-Unis) : Section spécifique « *Consumer education and training* ».
- Commission Éthique Conduite Automatisée et Connectée, 2017 (Europe).
- Exigences EuroNCap 2020 (Europe) : « *Test protocol : Human machine Interaction, European New Car Assessment Program* ».
- La Stratégie Nationale Véhicule Autonome, 2018 et 2019 (France) : Développement des véhicules autonomes, orientations stratégiques pour l'action publique.
- L'Article 12 du Projet de Loi Orientation Mobilité (France) : Véhicule autonome et connecté.

2.1.1. A l'international

La NHTSA⁹ (2017) explique que l'éducation et la formation des conducteurs est un impératif que les entités concernées doivent prendre à bras le corps pour assurer un déploiement sécurisé des systèmes de conduite automatisée. Elle encourage donc les constructeurs à documenter, développer et maintenir des programmes d'éducation et de formation destinés aussi bien aux employés, qu'aux vendeurs, aux distributeurs et aux clients. Ces programmes devraient anticiper les différences d'usage entre les véhicules automatisés et les véhicules plus traditionnels du marché actuel, en fournissant un niveau d'information et de connaissances suffisant pour utiliser ces technologies de façon appropriée, sécurisée et efficace. La NHTSA suggère d'aborder des sujets tels que la définition du système, les paramètres opérationnels, les capacités et les limites du système, les procédures d'activation et de désactivation, les IHMs, les scénarios d'urgence, le domaine d'usage, ou encore les facteurs pouvant dégrader le comportement de conduite automatisé du système. La NHTSA recommande également aux constructeurs d'explorer, de concevoir et d'évaluer des approches pédagogiques innovantes s'appuyant sur des nouvelles technologies, comme la réalité virtuelle ou des systèmes interactifs embarqués. Enfin, des démonstrations sur route ou sur piste devraient être proposées par les vendeurs et les distributeurs du marché lors des livraisons pour montrer le fonctionnement du système et ses IHMs.

2.1.2. Au sein de l'Union Européenne

Au niveau européen, la Commission Éthique Conduite Automatisée et Connectée (2017) est une organisation interdisciplinaire d'experts qui a pour mission de proposer des principes (ou règles) d'éthique directeurs à prendre en compte pour la conception des systèmes de conduite automatisée et connectée. Parmi ces principes, deux concernent l'éducation et la formation des conducteurs :

- Principe n°12. « Le grand public a le droit d'être suffisamment informé sur ces nouvelles technologies et leur champ d'application. »
- Principe n°20. « L'utilisation de systèmes automatisés devrait déjà faire partie de l'éducation digitale. Le maniement de tels systèmes automatisés devrait être enseigné et contrôlé lors des leçons de conduite. »

⁹ *National Highway Traffic Safety Administration*

De son côté, le programme EuroNCap¹⁰ a établi 58 items que les constructeurs doivent a minima faire apparaître dans les notices d'utilisation des véhicules, dont 18 concernent spécifiquement la prise en main des systèmes de conduite automatisée. Les constructeurs doivent vérifier que l'ensemble de ces items apparaissent dans les notices pour s'assurer de transmettre le niveau d'information minimum requis.

Il est important de noter qu'actuellement, au sein de l'Union Européenne, les conducteurs disposant d'un permis de conduire pour les boîtes de vitesses manuelles peuvent aussi conduire des véhicules équipés de boîte de vitesses automatique, mais l'inverse n'est pas possible. Cela pourrait, à terme, être appliqué à la conduite automatisée, avec la création d'un permis de conduire spécifique mais non valable pour la conduite manuelle traditionnelle (Sætren, Wigum, Robertsen, Bogfjellmo, & Suzen, 2018). Néanmoins, une telle solution ne prend pas en compte la mise à jour des compétences des conducteurs disposant déjà d'un permis de conduire classique. Les moniteurs d'auto-école sont également concernés par cette mise à jour de leurs compétences pour assurer un enseignement adapté de l'usage des véhicules automatisés aux nouveaux apprenant et aux conducteurs actuels (Sætren, Wigum, Robertsen, Bogfjellmo, & Suzen, 2018). Pour répondre à ce besoin, l'Union Européenne préconise les sept stratégies suivantes : (1) améliorer l'éducation et la formation des usagers de la route, (2) compléter et renforcer les règles du Code de la Route, (3) améliorer la sûreté des infrastructures routières, (4) améliorer la sécurité des véhicules, (5) promouvoir l'utilisation des nouvelles technologies permettant d'améliorer la sécurité routière, (6) améliorer les services d'urgence et les services post-traumatiques, et (7) protéger les usagers de la route les plus vulnérables (Commission Européenne, 2010).

2.1.3. En France

En France, quel que soit le type de véhicule, les constructeurs automobiles ont un devoir d'information des clients concernant les conditions d'utilisation des véhicules et de leurs limites de fonctionnement. La question de la formation pour l'usage des systèmes de conduite automatisée rentre donc dans ce cadre, et est largement poussée par les pouvoirs publics et par les organismes chargés de la sécurité routière comme le CNSR qui souhaite impliquer les constructeurs automobiles à ce sujet. En effet, dans un communiqué s'adressant au Gouvernement datant du 9 juillet 2019, le CNSR propose huit recommandations pour améliorer la sécurité routière, dont une spécifique aux ADAS : « *Impliquer les constructeurs dans l'information et la formation à la bonne utilisation des aides à la conduite : alors que de*

¹⁰ *European New Car Assessment Programme*

plus en plus de véhicules sont équipés de dispositifs d'aide à la conduite (ADAS), (...) il semble essentiel d'agir en faveur d'un emploi correct et éclairé de ces derniers par les conducteurs. En effet, pour être gage d'une réelle sécurité ils doivent être utilisés en toute connaissance de leurs potentialités et de leurs limites par le plus grand nombre. Pour y parvenir, cette recommandation propose d'inciter les constructeurs à s'engager dans le financement et la diffusion de tutoriels qui seraient mis à disposition des conducteurs sur une plateforme officielle dédiée. Ces tutoriels pédagogiques, aisément accessibles, présenteraient ainsi l'utilisation des ADAS de chaque marque et modèle de véhicule » (CNSR, 2019).

La Stratégie Nationale Véhicule Autonome (SNVA) a déposé deux propositions entre Mai 2018 et Avril 2019 mettant en avant : (1) le besoin d'évolution de la formation à la conduite, et (2) le besoin d'information des conducteurs à la prise en main des véhicules automatisés. Ces propositions avaient pour ambition d'être portées par le projet de Loi d'Orientation des Mobilités (LOM). Concernant la première proposition, elle part du constat que la formation est un des piliers de la sécurité routière, et que quoi qu'il advienne les conducteurs devront toujours remplir les conditions requises pour prendre place derrière le volant (être détenteur d'un permis de conduire, être en bon état de santé, ne pas avoir pris de substances psychoactives, etc.). La formation à la conduite, ainsi que sa validation par un examen du permis de conduire, restent donc d'actualité, et devront être actualisés pour intégrer les éléments nécessaires de connaissance des nouveaux systèmes de conduite automatisée. Une première orientation consisterait à « *modifier profondément la formation des jeunes conducteurs, (...) en adaptant les contenus de la formation et, donc, ceux des examens du permis de conduire* » (SNVA, 2018). Le but étant de permettre aux conducteurs d'acquérir les compétences pour conduire les véhicules équipés de la conduite automatisée, et être capable de reprendre le contrôle lorsque le système le demande ou en cas d'urgence. La SNVA précise également les contours d'un Groupe de Travail mobilisant les administrations et les professionnels de l'automobile visant à construire une doctrine nationale qui sera proposée au niveau européen. La seconde proposition suggère d'informer les acheteurs de véhicules automatisés pour qu'ils puissent les utiliser de manière efficace et sans danger, tout en précisant que ces systèmes sont prometteurs pour la sécurité routière.

L'article 12 du projet de Loi d'Orientation des Mobilités (LOM), précise que le Gouvernement peut décider, par ordonnance, d'adapter la législation, notamment le Code de la Route et le régime de responsabilité, dans le cas où des véhicules automatisés seraient amenés à circuler sur les voies publiques. Le projet LOM stipule également qu'« *il pourra être prévu à ce titre d'imposer la fourniture d'une information ou d'une formation appropriée, préalablement à la*

mise à disposition des véhicules à délégation de conduite, lors de la vente ou de la location de tels véhicules » (LOM, 2019).

De nombreux groupes de travail se sont organisés autour de la question du véhicule automatisé, mais très peu se sont focalisés spécifiquement sur la manière d'accompagner les futurs conducteurs dans la prise en main de ces systèmes. Dans le cadre de la Stratégie Nationale de Développement de la Mobilité Routière Automatisée (SNDMRA, 2020), six séminaires ont été dédiés à l'éthique et l'acceptabilité des véhicules automatisés. Parmi eux, un seul (la sixième édition) a laissé place à des discussions sur la formation des conducteurs pour l'usage de ces systèmes, avec deux orientations. La première orientation est issue d'une enquête de perception et d'une revue de bibliographie, complétées par les résultats du Groupe de Travail « Conduite et formation » de la Direction de la Sécurité Routière. Ces travaux ont d'abord permis d'évaluer le niveau de connaissances des français au sujet des ADAS et du véhicule automatisé, puis d'analyser la sensibilisation de ces derniers vis-à-vis du besoin de formation pour la conduite automatisée. Les résultats ont montré que la majorité des français interrogés est prête à consacrer entre 30 minutes et 1 heure 30 minutes à une telle formation, avec une préférence pour les mises en situations réelles sur piste ou sur route plutôt qu'en simulateur. Au niveau des constructeurs, nous avons déjà vu qu'un Groupe de Travail a été organisé entre 2018 et 2019 au sein du Groupe Renault (Le Bellu & Forzy, 2019), mobilisant également PSA Peugeot-Citroën, l'IFSTTAR¹¹, le CNRS/Telecom Paris Tech, et Vedecom¹². Ces travaux ont contribué à plus grande échelle à l'objectif de recherche C8 « Garantir la sécurité et l'acceptabilité par des stratégies et méthodes de formation adaptées y compris en roulage » du GT Véhicule Autonome FH & IHM, dans le cadre du plan NFI-VA¹³ et au positionnement technique du sous-groupe Information/Formation du CSTA 14/PFA¹⁴ vis-à-vis du Ministère de l'Intérieur.

¹¹ L'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (IFSTTAR) est un établissement public à caractère scientifique et technologique créé par décret interministériel du 30 décembre 2010.

¹² Institut français de recherche partenariale publique-privée et de formation dédié aux mobilités durables : écologiques, automatisées et partagées.

¹³ Nouvelle France Industrielle – Véhicule Autonome

¹⁴ Plate-Forme Automobile : <https://pfa-auto.fr>

2.2. État des lieux des mises en main et aides existantes pour l'usage des ADAS

2.2.1. Les mises en main en concession

Lorsqu'un client est notifié de la livraison de son nouveau véhicule, il doit se rendre en concession pour le récupérer. C'est à ce moment-là qu'a lieu la « mise en main » qui est une procédure que les vendeurs (ou « metteurs en main ») doivent suivre pour faire le tour du véhicule avec le nouveau propriétaire, lui donner les informations essentielles à connaître (commandes, interfaces, fonctionnalités, etc.), et l'accompagner lors de la première prise en main. Une étude réalisée aux Pays-Bas a montré que seulement 24% des acheteurs avaient reçu des instructions concernant les ADAS présentes dans leur nouveau véhicule (Harms & Dekker, 2017). D'autres études montrent que les vendeurs eux-mêmes n'ont pas les connaissances requises concernant les ADAS, et ne sont donc pas les mieux placés pour aider les clients. Par exemple, les auteurs d'une étude exploratoire dans laquelle des entretiens semi-directifs avec des vendeurs ont été réalisés, concluent que malgré l'effort de certains concessionnaires pour éduquer et préparer leurs clients à l'usage des ADAS, un certain nombre de vendeurs interrogés ont explicitement partagé des connaissances inexactes sur ces systèmes, dont certains essentiels à la sécurité des conducteurs (Abraham, McAnulty, Mehler, & Reimer, 2017). Ce constat alarmant est également apparu dans les résultats de l'étude de Barré et Bréard, (2019), qui ont interrogé des utilisateurs de Tesla et ont relevé plusieurs cas dans lesquels l'utilisateur en savait plus sur le fonctionnement du système que le vendeur lui-même. D'autres participants ont expliqué que l'accompagnement de Tesla était quasi inexistant, notamment sur les notions de sécurité, et que la première utilisation n'était pas aussi fluide que prévue ou imaginée (Barré & Bréard, 2019).

Ces données sur la qualité des mises en main concernant les véhicules équipés d'ADAS nous laissent penser que les phases de mise en main actuelles sont largement insuffisantes pour les futurs conducteurs de véhicules automatisés. En effet, ces derniers devront à la fois comprendre les nouveaux systèmes et leurs IHMs, ainsi que réaliser des tâches pour lesquelles ils n'ont pas été formés, notamment en situations complètement nouvelles spécifiques à l'activité de conduite automatisée (Le Bellu & Forzy, 2019).

2.2.2. Les notices papier et les notices numérisées

Les notices d'utilisation, qu'elles soient au format papier ou numérisées, sont la première source d'informations officielles (fiables et crédibles car provenant des constructeurs eux-

mêmes) pour accéder à la description du fonctionnement des véhicules et de la manière de les utiliser (règles d'utilisation, règles de sécurité, rôle et responsabilités du conducteur, etc.). Elles jouent donc un rôle fondamental en ce qui concerne la sécurité routière, mais également la prise en main des technologies qui équipent les véhicules comme les ADAS. Cependant, au-delà du constat admis par tout un chacun selon lequel les notices ne sont pas ou peu lues, d'autres difficultés sont identifiées dans la littérature concernant leur usage. Par exemple, Capallera et al. (2019) ont analysé les notices de 12 véhicules équipés d'un système de niveau 2 SAE pour identifier les facteurs apparaissant le plus souvent dans ces notices pour prévenir les conducteurs des situations critiques pouvant survenir. Les résultats montrent que dans les notices, la catégorie de facteurs à l'origine de situations critiques qui apparaît le plus concerne les limites des systèmes de niveau 2 SAE. En revanche, bien que ces limites soient mentionnées dans les notices, elles ne sont jamais mises au regard des contextes et des IHMs des véhicules, et ne sont pas présentes dans les IHMs pour notifier le conducteur que le véhicule a détecté une situation critique. Ces résultats sont cohérents avec les constats faits par Ebnali, Lamb, Fathi, et Hulme (2021) selon lesquels les notices d'utilisation sont incomplètes car elles ne fournissent que des informations opérationnelles de base sans couvrir tous les scénarios d'usage possibles. Selon les auteurs, les notices ne sont pas faites pour acquérir des compétences cognitives et procédurales supérieures car elles se concentrent sur les connaissances déclaratives en ne partageant que des règles sous forme d'instructions textuelles. De plus, la longueur des notices (environ 300 à 500 pages) fait qu'elles ne sont pas lues par certains conducteurs, au mieux parcourues, et mal interprétées ou encore mal mémorisées par d'autres. En 2017, Endsley avait déjà déclaré ne pas avoir compris certains items de la notice d'utilisation de Tesla, et un manque de précision sur le fonctionnement du système.

De manière plus générale, Forster, Hergeth, Naujoks, Krems, et Keinath (2019) ont mis en évidence quatre principales limites d'usage des notices d'utilisation des véhicules équipés d'un système de niveau 2 SAE :

- La quantité et l'ordre des informations consultées est à l'appréciation des conducteurs.
- La nature textuelle prédominante et la complexité des informations peuvent perdre les conducteurs.
- Les informations sont décontextualisées et décorrélées des différents éléments graphiques et auditifs présents dans les IHM, ce qui oblige les conducteurs à transférer des connaissances abstraites aux situations réelles d'utilisation.

- Les informations concernant les fonctions automatisées ne représentent qu'une infime partie des notices et peuvent donc se noyer dans la quantité d'informations techniques, de maintenance, de réparation, etc.

En début de thèse, nous avons-nous-même réalisé un état de l'art des notices d'utilisation au format numérisé et embarqué directement dans les écrans multimédias de véhicules de niveau 2 SAE. L'objectif était d'identifier, de tester et d'évaluer les aides numériques proposées par certains constructeurs dans leurs véhicules pour en tirer des bonnes pratiques et des limites d'utilisation. Sur les huit marques de véhicules sélectionnées, seules cinq proposaient ce type d'aides embarquées. Sur les cinq véhicules restants, quatre proposaient des notices classiques en version numérique (beaucoup de texte, quelques illustrations) et une seule proposait un contenu retravaillé plus adapté au contexte embarqué (contenu simplifié, moins de texte et plus d'illustrations). Trois proposaient également de courtes vidéos pédagogiques pour expliquer certains aspects du fonctionnement du système et les procédures pour interagir avec. Enfin, deux véhicules proposaient une façon un peu innovante de naviguer dans l'aide embarquée via une infographie interactive et cliquable représentant l'habitacle du véhicule (Cusanno, 2018 ; in Le Bellu & Forzy, 2019).

Malgré le rôle central des notices d'utilisation, nous avons mis en évidence leurs limites qui amènent les acteurs de l'industrie automobile à réfléchir à de nouvelles façons de partager des informations sur des systèmes de conduite de plus en plus élaborés. Les constructeurs doivent aujourd'hui relever le défi de cette transformation technologique en termes de sécurité et d'acceptation des nouveaux modes de conduite « *en proposant de nouvelles modalités de prise de connaissance, d'apprentissage et de développement de l'expérience d'usage qui soient efficaces et au moins aussi innovants que les technologies pour lesquels ils seront conçus* » (Le Bellu & Forzy, 2019, p.35).

2.2.3. Les autres sources d'informations / formations pour l'usage des ADAS

Le manque d'accompagnement et les difficultés inhérentes aux notices d'utilisation poussent les conducteurs à adopter de nouvelles stratégies pour acquérir les connaissances nécessaires au bon usage des ADAS et des systèmes de niveau 2 SAE. Les stratégies d'auto-apprentissage sont alors les plus répandues, allant du visionnage de vidéos sur internet à l'apprentissage par essais/erreurs sur la route, en passant par des visites impromptues chez les concessionnaires pour discuter avec les vendeurs (Viktorová & Šucha, 2019). Étant donné les constats que nous avons fait sur l'état actuel des mises en main en concession, et ne considérant pas l'apprentissage par essais/erreurs comme étant le plus adapté et sécurisé,

nous nous sommes intéressés à la dernière option : le visionnage de vidéos. Ces vidéos peuvent provenir de sources tierces disponibles sur des plateformes comme YouTube par exemple, ou bien provenir des constructeurs via le même type de plateforme ou directement sur leurs propres sites internet. Dans le premier cas, les conducteurs devraient faire attention à la fiabilité de la source pour éviter d'acquérir des connaissances erronées qui modifieraient de manière inadaptée leurs représentations des systèmes.

Plusieurs études se sont penchées sur la question de la formation des conducteurs sur la base de vidéos pédagogiques. L'étude de Cahour et Forzy (2009), que nous avons évoquée dans le chapitre précédent, a comparé les représentations et la confiance de plusieurs conducteurs vis-à-vis du régulateur de vitesse, en fonction de différentes modalités de formation. Un premier groupe avait accès à une notice papier orientée sur le fonctionnement du système, un deuxième groupe avait accès à une notice papier orientée sur le fonctionnement et les limites d'utilisation du système, et pour finir le troisième groupe avait accès à une vidéo in situ de « projection dans l'usage » montrant et décrivant le système avec des commentaires sur son fonctionnement et ses limites. Bien que les trois conditions aient eu un effet négatif sur la confiance, les auteurs ont constaté que la présentation des limites du système favorisait une meilleure compréhension de son fonctionnement dans certaines situations spécifiques. De plus, la condition vidéo favorisait également l'exploration des fonctionnalités du système, une meilleure compréhension de son fonctionnement et de ses limites, et donc une meilleure représentation, notamment grâce à la projection dans l'usage permettant au conducteur de s'imaginer en situation de conduite.

Zahabi, Razak, Shortz, Mehta, et Manser (2020) ont, quant à eux, comparé l'apprentissage des ADAS grâce à la vidéo et l'apprentissage des ADAS par la démonstration, dans une étude menée sur simulateur. Dans les deux conditions, le contenu de la formation comprenait cinq items : (1) l'intérêt d'utiliser ses systèmes (les risques et les avantages), (2) la compréhension des niveaux des ADAS (leurs capacités et leurs limites), (3) les transitions entre les ADAS et la conduite manuelle, ainsi que les situations critiques (le fonctionnement du système), (4) la familiarisation avec les composants du système, et (5) la compréhension des limites des ADAS. Dans la première condition, les participants visionnaient des vidéos décrivant le fonctionnement et les caractéristiques des systèmes d'ADAS utilisés en étant « passifs » mais installés dans le simulateur avec les interfaces visibles. Pour la condition démonstration, un instructeur était là pour former les participants et leur permettre de tester les ADAS. Contrairement aux attentes des auteurs, la formation vidéo a été plus efficace que la condition démonstration. En effet, le groupe de la condition vidéo a obtenu de meilleures performances de conduite, moins de détournement de leur attention et une charge mentale moins

importante. Selon les auteurs, l'âge est un des facteurs ayant influencé ces résultats car les conducteurs de plus de soixante ans préfèrent des formations « passives » avec une posture d'observateur.

Dans une étude datant de 1999, des chercheurs ont évalué un système de tutorat audiovisuel embarqué dans le véhicule pour notifier le conducteur lorsqu'il commettait une infraction pendant la conduite (par exemple lorsqu'il dépassait la limitation de vitesse). Ce système innovant a permis d'améliorer le comportement des conducteurs, mais a également augmenté leur charge mentale, suggérant qu'un accompagnement pendant la conduite n'est pas adapté à cette activité déjà complexe et lourde d'un point de vue cognitif.

2.3. Des études exploratoires sur des dispositifs innovants pour l'apprentissage de la conduite automatisée

En prévision de l'arrivée des véhicules automatisés sur le marché, les différents acteurs de l'industrie automobile mènent des études explorant de nouvelles façons d'accompagner les futurs conducteurs dans la prise en main de ces systèmes. Nous avons vu que les formations les plus adaptées et montrant de meilleurs résultats chez les apprenants sont celles qui articulent les dimensions théoriques et pratiques de l'apprentissage. En partant de ce postulat, certains chercheurs estiment qu'il serait nécessaire d'aller au-delà en proposant des formations interactives, voire immersives. Ces formations permettraient aux conducteurs d'apprendre le fonctionnement du véhicule en leur permettant de mettre leurs connaissances en pratique dans des situations d'usage réelles, ou au moins réalistes.

Lors du Groupe de Travail sur la pédagogie pour la conduite automatisée, Le Bellu et Forzy (2019) ont identifié trois approches possibles pour garantir un certain apprentissage de la conduite automatisée chez les futurs conducteurs. La première fait référence aux approches sociales dans lesquelles l'apprenant est formé au contact d'autres personnes plus expérimentées (vendeurs, metteurs en main, ou autres experts). La deuxième concerne l'apprentissage dans l'usage qui se base sur la mise en situation de l'apprenant qui utilise le système pour apprendre à l'utiliser. Cet apprentissage est contextualisé et permet d'être au plus proche des conditions réelles d'utilisation d'un système qui existe déjà. Enfin, la troisième approche concerne la conception d'Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH) pour favoriser l'apprentissage a priori grâce à des situations d'utilisation choisies par les concepteurs/formateurs. Ces EIAH peuvent être composés de vidéos augmentées par des commentaires et/ou des schémas, à la première ou à la troisième personne, mais aussi de simulations plus ou moins immersives (réalité augmentée ou virtuelle

par exemple), ou d'autres systèmes interactifs. Ils permettent à l'apprenant de se projeter dans l'usage du système et de l'expérimenter physiquement et mentalement (Burkhardt, et al., 2016 ; Sportillo, et al., 2017 ; Cusanno, Le Bellu & Vidal-Gomel, 2021a). Le Groupe de Travail s'est particulièrement penché sur cette approche, tout comme nous l'avons fait pour ce travail de thèse.

L'idée de « projection dans l'usage » proposée par Cahour et Forzy (2009) va dans ce sens, et peut servir de point de départ pour une réflexion sur les moyens innovants de permettre cette « projection dans l'usage ». Cette méthode permet à l'apprenant de s'imaginer le plus fidèlement possible en situation d'usage tout en mettant l'accent sur les limites du système pour, à terme, construire une représentation plus opérationnelle de ce dernier. Les auteurs avaient testé de simples vidéos à la première personne accompagnées de commentaires sur les limites du système, avec des résultats intéressants mais quelque peu mitigés. Le Bellu (2016) est allée plus loin en explorant l'idée d'« environnement vidéo multimédia innovant » dans l'industrie nucléaire. L'auteure a ainsi proposé une manière de formaliser la connaissance experte et le partage de l'expérience vécue grâce à des vidéos chapitrées selon les buts des experts, en articulant les points de vue contextuels (à la troisième personne) et subjectifs (à la première personne). Ces vidéos étaient augmentées par des commentaires audio et des schémas pointant les éléments les plus pertinents à transmettre, selon les experts, concernant l'activité (par exemple les situations critiques nécessitant une vigilance particulière, les bonnes pratiques, les conseils et recommandations, etc.). Selon l'auteure, ces vidéos ont permis un apprentissage plus rapide et plus efficace des compétences à développer par les novices (Le Bellu, 2016).

Ebnali et al. (2019), ont souhaité comparer la formation en vidéo et la formation en simulateur, et leurs effets sur différentes dimensions de l'activité : les compétences procédurales, les compétences cognitives de hauts niveaux, la confiance et l'acceptabilité concernant les véhicules automatisés de niveau 3 SAE. L'étude, et donc les formations, s'est focalisée sur la tâche de reprise en main. La formation sur simulateur était complétée par des feedbacks concernant les compétences du sujet et durait environ 150 minutes. La formation en vidéo, quant à elle, ne comprenait pas de feedbacks et ne durait que 45 minutes. Les résultats de l'étude suggèrent que la formation en vidéo, plus facile à implémenter et moins coûteuse, permettait d'améliorer la compréhension des situations à risque et des performances de conduite. En revanche, l'entraînement interactif en simulateur favoriserait le développement des compétences supérieures et des habiletés impliquées dans le contrôle manuel du véhicule. Cette formation innovante a permis aux conducteurs d'élaborer un modèle mental

plus développé et plus approprié concernant le fonctionnement du système de conduite automatisée.

Dans le même registre, Sportillo, Paljic, et Ojeda (2019) ont comparé trois formats de tutoriels visant à apprendre l'utilisation d'un véhicule automatisé de niveau 3 SAE. Le premier format était un tutoriel vidéo que les participants pouvaient visionner directement à bord du véhicule. Le second était un tutoriel en réalité augmentée composé d'une vidéo et d'une session de formation dans le véhicule avec un casque de réalité augmentée. Enfin, le troisième format était un tutoriel en réalité virtuelle composé d'une vidéo et d'une session de conduite dans un simulateur en réalité virtuelle. Lors d'une session de conduite dans un véhicule simulant une conduite automatisée de niveau 3 SAE, les auteurs ont recueilli : (1) les réponses à un questionnaire d'auto-évaluation (confiance, utilité, évaluation de la formation), (2) les réponses à un test des connaissances (compréhension des situations, interfaces, procédures d'activation et de désactivation), et (3) les temps de réaction des participants lors des demandes de reprise en main. Les résultats montrent que la compréhension des situations de conduite automatisée et la réalisation des procédures étaient bien meilleures dans les conditions réalité augmentée et réalité virtuelle que dans la condition vidéo. Selon les auteurs, les formations non interactives comme les vidéos pédagogiques permettent a minima de connaître les commandes et les interfaces (notamment les alertes). En revanche, les formations plus élaborées et plus innovantes se reposant sur de la réalité augmentée ou virtuelle, sont un meilleur moyen pour comprendre le fonctionnement du système et élaborer des représentations plus appropriées. Dans tous les cas, les auteurs concluent que la familiarisation préalable avec la conduite automatisée est indispensable pour garantir une bonne compréhension et une bonne utilisation du système, ainsi que la sécurité des conducteurs.

D'autres approches ont consisté à concevoir et évaluer des didacticiels interactifs embarqués ou non dans le véhicule. Par exemple, Forster et al. (2019) ont comparé l'apprentissage via la notice papier (quatre pages sur le fonctionnement du système automatisé), l'apprentissage avec un didacticiel interactif (présentation du système et QCM sur un écran tactile), et une simple description orale globale du système pour la condition contrôle. Dans les trois conditions, la phase de formation ne durait pas plus de 10 minutes et était suivie d'une phase de familiarisation avec le système. Après cela, les participants réalisaient deux sessions de conduite automatisée en simulateur. Les résultats ont mis en évidence que les deux modes de formation (notice papier et didacticiel interactif) conduisent à des interactions plus efficaces grâce à des modèles mentaux plus précis. Selon les auteurs, le didacticiel interactif permet de faciliter la compréhension des interfaces et d'améliorer la prise en main du véhicule

automatisé lors des premiers usages. De plus, il a l'avantage de pouvoir proposer une formation élaborée et innovante tout en restant une solution relativement peu coûteuse pour les constructeurs.

Boelhouwer, van den Beukel, van der Voort, et Martens (2019) ont exploré un sujet proche, à savoir un système de tutorat embarqué s'inspirant des interactions existantes entre les moniteurs d'auto-école et les conducteurs apprenants, pour accompagner les premiers usages de la conduite automatisée. Les auteurs ont mis en évidence des patterns de tutorat qui devraient être réutilisés dans un système de tutorat embarqué. En effet, les résultats de l'étude montrent que le type de communication, leur durée et leur moment sont toujours adaptés en fonction des compétences de l'apprenant et de l'environnement de conduite. Les tâches et les choix de direction et de route sont aussi basés sur le niveau de compétences du conducteur apprenant, et les gestes, postures et mouvements du moniteur sont utilisés pour demander des actions ou des corrections à l'apprenant.

Pour conclure, nous pouvons dire que deux points essentiels ressortent des études mentionnées jusqu'ici : (1) le contenu pédagogique doit contenir des connaissances sur le fonctionnement du système, ses caractéristiques, les règles d'utilisation, ainsi que les capacités et les limites du système ; et (2) le format de présentation de ces connaissances doit également permettre la projection dans l'usage grâce à la mise en situation dans des contextes variés et représentatifs des situations d'usage du système, et si possible permettre l'expérience physique (engagement du corps) et cognitive (résolution de problèmes) de situation de conduite (Le Bellu & Forzy, 2019). Ce deuxième point montre l'intérêt d'explorer, de concevoir, et d'évaluer des systèmes d'apprentissage plus élaborés que la simple diffusion de connaissances générales et fonctionnelles telles que le font les notices d'utilisation actuelles. Ces systèmes d'apprentissage devraient permettre « *d'éprouver, de ressentir, d'expérimenter, et d'incorporer les savoirs en "vivant" les situations* » (Le Bellu & Forzy, 2019, p.34), ce qui correspond à la notion de « connaissances-en-acte » (ou « *knowing in action* » ; Schön, 1983).

2.4. Méthodes de conception d'un prototype dans un contexte industriel

Au sein de la communauté scientifique, la définition la plus simple et générale de la notion de conception indique qu'il s'agit d'une activité de transformation d'un concept en produit (Rodenacker, 1970 ; Maître & Miquel, 1992 ; Duchamp, 1999 ; Marsot, 2002). De façon plus spécifique, la conception peut se définir comme « *une activité dans laquelle le but à atteindre est peu ou mal défini et doit s'élaborer au cours même du processus de conception. C'est une*

activité d'élaboration de représentations (Visser, 2009). Dans ce cadre, soit l'analyse de l'activité intervient comme un moyen d'alimenter la conception, soit elle est mobilisée pour rendre compte du processus de conception » (Vidal-Gomel, 2018, p.12). Ce travail de thèse s'est concentré sur la première assertion, c'est-à-dire la conception d'un outil didactique destiné aux futurs conducteurs, se basant sur l'analyse préalable de l'activité de conduite automatisée.

Dans ce cadre, la structuration méthodique du processus de conception s'avère une nécessité pour définir une stratégie adaptée permettant la maîtrise des technologies essentielles à cette activité, la gestion du processus global de conception, des acteurs et autres ressources disponibles (modèles, techniques, matériaux, etc.). Au sein des entreprises, Bascoul (1999) explique qu'environ 75% des coûts de développement et d'industrialisation des produits dépendent des premières phases des processus de conception. De plus, les projets de conception structurés ont beaucoup plus de chance d'aboutir à un produit fini (Breton, 1996), et la formalisation du travail de conception permet de capitaliser sur les savoirs et les savoirs-faire développés (Marsot, 2002).

Pomian, Pradere, et Gaillard (1997) définissent les « méthodes de conception » comme des démarches dont le but est de définir l'organisation des activités à mener pour atteindre un objectif final, avec des techniques permettant la réalisation de ces activités. Dans la littérature il existe de nombreuses méthodologies de conception en fonction des domaines, des objectifs et des moyens disponibles. Cependant, l'organisation de ces différentes méthodes reste globalement similaire, avec quatre phases principales (Marsot, 2002) : (1) la phase de spécifications (cahier des charges présentant les services requis, les contraintes de développement, les exigences auxquelles doit répondre le produit, etc.), (2) la phase de conception générale (différentes représentations schématiques du produit, de son architecture, et de sa cinématique), (3) la phase de conception détaillée (conception réelle de l'objet sur la base des deux premières phases), et (4) la phase de fabrication (réalisation de l'objet physique). Selon Vadcard (1996), la principale différence entre les méthodologies de conception réside dans le point de départ de l'acte de conception et le moment où le processus prend fin. Ainsi, l'organisation des phases de conception dépend de la méthode choisie et du cycle de vie du produit (Marsot, 2002) : cycle de vie linéaire (en cascade avec ou sans retour ou en V par exemple), cycle de vie évolutif (incrémental ou en spirale par exemple).

Le modèle en spirale est une forme de développement évolutif qui permet l'intervention ergonomique à toutes les phases de conception contrairement aux formes de développements linéaires (Marsot, 2002). Il est constitué de techniques permettant le prototypage rapide du produit virtuel ou matériel dès les premières phases de conception

(Bernard, 1998), grâce à un processus itératif qui résout le paradoxe de l'ergonomie de conception de Pinsky et Theureau (1984). Ce paradoxe stipulait que pour pouvoir concevoir un produit ergonomique, il fallait d'abord étudier ses situations d'utilisation, or cela n'est pas possible puisque le produit est en cours de conception donc pas encore utilisé. Les prototypes sont la solution à ce paradoxe car ils sont la matérialisation du futur produit selon la vision des concepteurs. Marsot (2002) identifie quatre sortes de prototypes :

- Le prototype esthétique (validation de l'image du produit).
- Le prototype de géométrie (validation de l'agencement des différents éléments composant le produit).
- Le prototype fonctionnel (validation des fonctions du produit).
- Le prototype technologique (validation de la technologie derrière le produit).

Dans tous les cas, les processus de tests des prototypes nécessitent que les participants puissent se projeter dans l'usage futur du produit en cours de conception. Cette notion de « projection dans l'usage » que nous avons déjà abordée dans ce document, est donc également valable pour ce qui a trait à la conception ergonomique de produit (Bobillier-Chaumon, 2016 ; Cahour & Forzy, 2009 ; Folcher, 2015). Néanmoins, dans le cadre de cette thèse, notre projet de conception visait une activité qui n'existe pas encore, sans utilisateurs finaux bien définis, et reposant sur une technologie évolutive bien différente de ce que les utilisateurs pourront trouver sur le marché. Cette caractéristique a été le principal challenge auquel nous avons dû faire face dans ce travail de thèse, et bien que l'idée résidait dans la prédiction des activités futures probables (Daniellou, 2004) des conducteurs, il ne s'agissait cependant pas d'ergonomie prospective. En effet, notre rôle n'était pas de créer ces activités futures dans le but de concevoir un produit qui s'y intégrerait, mais plutôt d'imaginer les activités futures qui existeront avec ou sans notre intervention, et pour lesquelles nous souhaitons concevoir un produit adapté.

Le modèle de conception en spirale est donc le meilleur moyen de tester des prototypes rapidement et à différents moments du processus, auprès des utilisateurs finaux (ou au moins ciblés par l'activité future probable ; Daniellou, 2004). Plusieurs approches existent pour cela, à commencer par la conception centrée utilisateur proposée par Norman et Draper en 1986. L'idée de cette approche est de prendre en compte l'utilisateur final dès le début du projet, et à chaque phase de test des prototypes, de façon à l'intégrer, lui et sa tâche, au centre de la conception. Cela est rendu possible grâce à différentes techniques telles que l'analyse de l'activité, les entretiens, les tests utilisateurs, etc. Une des limites de cette approche est que les initiatives de conception proviennent uniquement des concepteurs sur la base d'observations des utilisateurs lors de tâches de résolution de problème, d'interrogations sur

leurs attentes, et de questionnements sur le produit en cours de conception (Jean-Daubias, 2004). Cependant, à aucun moment l'utilisateur n'est en mesure de faire des choix de conception, contrairement à l'approche participative de la conception. Cette dernière est principalement utilisée lorsque la tâche de l'utilisateur n'est pas bien définie et que la conception centrée utilisateur n'est plus suffisante. La conception participative (Schuler & Namioka, 1993) part du postulat que les utilisateurs savent ce dont ils ont besoin et qu'ils peuvent apporter des idées innovantes (Greenbaum & Kyng, 1991), l'idée est alors de les faire intervenir en tant que concepteurs du produit dès le début du processus. En plus d'être observé et interrogé, l'utilisateur peut proposer des idées et participer aux choix de l'équipe de conception (Jean-Daubias, 2004). Notons cependant qu'une telle organisation nécessite que les utilisateurs finaux soient disponibles et suffisamment engagés pour participer à des ateliers de co-conception souvent longs, et ce fréquemment tout au long du processus de conception pouvant durer plusieurs mois voire plusieurs années.

Enfin, l'environnement dans lequel s'intégrera le dispositif conçu doit être pris en compte dans sa globalité dès le début de la conception. En effet, le produit doit être compatible avec les situations d'usage (situations dynamiques ou statiques par exemple), avec les éléments présents dans l'environnement, et avec les interactions possibles et/ou existantes. Les concepteurs doivent prendre en compte et s'appuyer sur toutes les potentialités et les contraintes de l'environnement en question. Dans notre cas, cela nous a obligé à un usage catachrétique (Rabardel, 1995) des prototypes de véhicules automatisés, dans le sens où nous avons réutilisé certains des artefacts qui le composent (écrans, boutons, volant, pédales, etc...) dans un but non prévu par les concepteurs des prototypes, à savoir supporter l'apprentissage de la conduite automatisée.

2.5. Conclusion du chapitre et problématique pour la conception d'un outil didactique embarqué dans le véhicule automatisé

Dans ce chapitre nous avons vu qu'un consensus existe dans l'industrie automobile concernant la nécessité d'accompagner les conducteurs dans l'usage des ADAS, et par conséquent des futurs véhicules automatisés. En effet, qu'il s'agisse des pouvoirs publics, des organismes de recherche, ou des constructeurs automobiles eux-mêmes, les conclusions tirées des études font état de difficultés impactant l'utilisation de ces systèmes, ou tout simplement l'activité de conduite. Bien que les constructeurs s'appliquent à rendre ces systèmes de plus en plus ergonomiques, force est de constater que leur nature complexe nécessite plus que de simples notices d'utilisation. Les acteurs de l'industrie poussent alors vers la conception de formations ou d'outils didactiques visant l'apprentissage des

conducteurs. L'accent est mis sur l'innovation concernant le contenu pédagogique à transmettre et sur sa construction, mais aussi concernant les moyens de le transmettre aux conducteurs.

Ainsi, des études ont été menées pour explorer, concevoir et évaluer des dispositifs d'apprentissage basés sur des vidéos « élaborées », des simulations, de la réalité virtuelle et/ou augmentée, ou encore des interfaces interactives. Les auteurs s'accordent sur la nécessité que ces dispositifs permettent un engagement physique et cognitif de l'apprenant pour favoriser l'apprentissage. Concernant les situations d'usage, la majorité de ces dispositifs d'apprentissage ont été pensés pour être utilisés avant l'usage du véhicule ; seule une poignée d'entre eux sont embarqués directement dans le véhicule pour accompagner le conducteur en conduite, avec plus ou moins de succès. En effet, nous avons vu des exemples de dispositifs en réalité augmentée et en réalité virtuelle qui supposent d'avoir à disposition des casques encombrants, peu pratiques et relativement chers. D'autres dispositifs embarqués ont exploré l'idée d'accompagner le conducteur pendant la conduite, mais cela a provoqué une surcharge mentale chez les utilisateurs. Enfin, le visionnage de vidéos dans le véhicule a montré des résultats mitigés. Nous nous sommes donc posé la question suivante : comment concevoir un dispositif d'apprentissage embarqué adapté au contexte d'usage du véhicule tout en engageant suffisamment le conducteur dans son apprentissage ?

PARTIE 2 : Cadres Théoriques

INTRODUCTION GENERALE

PARTIE 1 : Contexte et Problématiques

PARTIE 2 : Cadres Théoriques

Chapitre 3 : La conduite automatisée comme activité collective médiatisée

Chapitre 4 : La conduite automatisée d'un véhicule : une activité de gestion des risques dans un environnement dynamique

Chapitre 5 : La conception d'un outil didactique pour guider l'apprentissage

PARTIE 3 : Méthodologie Générale

PARTIE 4 : Résultats de la Thèse

DISCUSSION GENERALE

CONCLUSION

Résumé : Cette partie est consacrée aux cadres théoriques que nous avons mobilisés dans cette thèse. Dans un premier temps, nous présentons le cadre de l'approche instrumentale (Rabardel, 1995) qui a été central tout au long de nos travaux, et qui permet d'appréhender la conduite automobile comme une activité collective médiatisée. Ensuite, nous nous intéressons à des modèles théoriques de gestion d'environnement dynamique à risque, caractéristiques de l'activité de conduite automatisée. Enfin, nous présentons des modèles théoriques de conception de dispositifs d'apprentissage. Cette Partie 2 nous permet de présenter nos hypothèses concernant l'apprentissage de la conduite automatisée et la conception d'un outil didactique embarqué.

Chapitre 3 : La conduite automatisée comme activité collective médiatisée par l'instrument

Dans le cadre de ce travail de thèse, nous avons appréhendé les questions de l'activité de conduite automatisée, du développement des conducteurs et de la conception sous le prisme de « l'approche instrumentale » introduite par Vérillon et Rabardel en 1995, et diffusée par Pierre Rabardel dans son ouvrage paru en 1995 également « Les Hommes et les Technologies ; approche cognitive des instruments contemporains ». Cette approche, reprise et enrichie par de nombreux chercheurs (Folcher, Samurçay, Vidal-Gomel, Bourmaud, Béguin, etc., 2005), conduit à étudier les activités, constructives et productives, dans lesquelles un artefact est médiateur de l'activité du sujet et devient un instrument. Dans ce chapitre, nous présentons les principaux concepts de l'approche instrumentale qui ont guidé notre travail tout au long de cette thèse. Nous commençons par une introduction générale à ce courant théorique, nous verrons ensuite les notions de « schème » et de « médiation » qui sont fondamentales dans cette approche, puis nous présenterons le modèle développemental de la genèse instrumentale au cœur de l'approche instrumentale. Enfin, nous ouvrirons une piste de réflexion sur les apports des travaux issus du courant néo-piagétien, notamment sur la notion d'« inhibition », ajoutant une nouvelle dimension aux processus d'accommodation et d'assimilation intégrés à la genèse instrumentale de Rabardel (1995).

3.1. Introduction à l'approche instrumentale de Rabardel

Le modèle des activités avec instruments de Rabardel (1995) propose une approche anthropocentrée de la conception des nouvelles technologies qui s'appuie sur des apports de Piaget avec la notion de schème, mais aussi de Vygotski et de Leontiev dont il retient par exemple la notion de médiation ou celle d'objet de l'activité. Toutefois, dans ce cadre, l'objet de l'activité se différencie de ce que propose Leontiev. En effet, ici, l'objet de l'activité renvoie aux buts du sujet sans toutefois les mettre systématiquement en relation avec les « mobiles » au sens de Leontiev, que l'on peut considérer comme hiérarchiquement de plus haut niveau. Ce modèle des activités constitue un cadre théorique, entre ergonomie et psychologie, rendant compte du rapport des individus au monde, aux autres, et à eux-mêmes, à travers leurs instruments qui y sont définis comme une construction individuelle et sociale à partir d'artefacts. L'un des apports de ce modèle est de se détacher d'un point de vue plus classique d'interactions homme-machine car elle porte en elle les rapports historico-culturels du sujet « *aux objets, ressources et conditions de son activité* », ainsi qu'aux autres sujets et à lui-

même (Poisson, 2019). Sur cette base, l'approche instrumentale s'intéresse aux processus à l'œuvre dans les situations de travail, de la vie quotidienne, ou de formation dans une perspective développementale du sujet intentionnellement engagé.

Ce cadre théorique distingue l'activité productive de l'activité constructive, bien que ces dernières soient interdépendantes. La première vise l'atteinte de buts et de résultats en étant orientée vers la réalisation des tâches en situation. Samurçay et Rabardel (2004, in Poisson, 2019, p.69) définissent l'activité productive comme une « *activité finalisée réalisée, orientée et contrôlée par le sujet pour réaliser les tâches qu'il doit accomplir en fonction des caractéristiques des situations* ». Quant à l'activité constructive, elle permet d'élaborer les ressources internes et externes du sujet en fonction des situations (instruments, compétences, conceptualisations, etc.), en étant orientée et contrôlée par le sujet, et en partie déterminée par les caractéristiques des situations (Poisson, 2019). L'objet de l'activité est alors défini par le développement des compétences ciblées, sur la base de l'activité productive.

Bourmaud (2006) présente les six principes de base de l'approche instrumentale selon les travaux de Rabardel, Waern et Folcher (Rabardel, 2001; Rabardel & Waern, 2003 ; Folcher & Rabardel, 2004) :

- « Personal vs. System view » (Norman, 1991) : le « system view » propose d'étudier le sujet, la tâche et l'artefact comme un ensemble (un système) dont les performances sont augmentées par rapport aux performances singulières de chaque élément. Le « personal view », plus adapté, considère que la nature de la tâche du sujet, et le sujet lui-même, sont transformés par l'artefact.
- L'asymétrie entre le sujet et l'artefact : l'interaction entre le sujet et l'artefact n'est pas symétrique étant donné que le sujet contrôle l'interaction et que l'artefact n'est que le médiateur de l'activité.
- Les artefacts, médiateurs de l'activité : ce concept, issu des travaux sur les théories de l'activité de Vygotsky (1934-1998), considère que l'artefact permet la médiation du sujet à l'objet de son activité, et participe ainsi à l'organisation des actions dans l'espace et le temps pour atteindre un but conscient.
- Les dimensions sociales et culturelles des artefacts : Leontiev (1975, 1981) explique que les artefacts s'inscrivent dans une histoire en portant des caractères sociaux et culturels qui dépassent le sujet singulier.
- Les artefacts, objets en développement : les sujets s'approprient progressivement les artefacts en les transformant selon leurs propres représentations (Leontiev, 1975, 1981).

- La dépendance aux situations : l'action est située et orientée vers un but, et les caractéristiques des situations influencent grandement l'activité du sujet (Suchman, 1987).

L'approche instrumentale propose un ensemble de concepts qui organisent « *la manière de regarder le réel dans sa complexité sans perdre le point de vue du sujet en développement* » (Bationo-Tillon & Rabardel, 2015). Elle s'appuie donc sur une combinaison entre théories de l'activité, et approche développementale et constructiviste de Piaget, à qui elle emprunte notamment la notion de schème que nous abordons dans la section suivante.

3.2. La notion de schème

Pour Jean Piaget (1936) les schèmes sont des structures qui permettent à un individu d'assimiler les situations et les objets auxquels il est confronté (Rabardel & Samurçay, 2006 ; Bourmaud, 2006, 2007). Cette activité assimilatrice, et plus précisément l'assimilation reproductrice, est à la base de la construction des schèmes rendue possible dès lors qu'un effort de répétition permet la schématisation de la conduite (Rabardel & Samurçay, 2006). Cette schématisation structure les caractères généralisables d'une action pour que celle-ci puisse être répétée dans un contexte plus ou moins similaire. Le schème porte une histoire intégrant la diversité des situations et des contextes qu'il a assimilé, il s'agit donc d'une structure évolutive qui comprend l'expérience vécue passée du sujet à partir de laquelle elle organise activement l'activité présente et future, et s'applique par un processus de généralisation continu (Rabardel & Samurçay, 2006). Le schème se construit également par différenciation en s'accommodant aux nouvelles situations pour lesquelles l'application du schème par assimilation s'est avérée inefficace. Par sa capacité d'évolution par l'assimilation de nouvelles situations et de nouveaux objets, ou par l'accommodation aux situations et objets résistants, Piaget a trouvé en cette notion de schème un moyen efficace d'étudier les activités d'apprentissage.

La notion de schème a finalement été intégrée par Rabardel (1995) dans son cadre théorique, reprenant les définitions de Piaget en y ajoutant la dimension instrumentale de l'activité. Il parle en effet de « schème d'utilisation », qui articule des « schèmes d'usage » et des « schèmes d'action instrumentée ». Les « schème d'usage » sont orientés vers les interactions du sujet avec l'artefact, tenant compte des caractéristiques et des propriétés de ce dernier pour réguler les tâches, les actions, et plus généralement l'activité du sujet (Rabardel, op. cit. ; Trouche, 2003 ; Folcher & Rabardel, 2004 ; Bourmaud, 2006 ; Poisson, 2019). Les « schèmes d'action instrumentée », quant à eux, sont dirigés vers l'objet de l'activité afin de le transformer par le biais des schèmes d'usage. Ils portent le sens de l'activité

en permettant au sujet d'atteindre son but (Rabardel, op. cit. ; Trouche, 2003 ; Bourmaud, 2006 ; Poisson, 2019). Pour Trouche (2003, p.16), « *l'étude des schèmes est une construction, à partir de l'observation du sujet et des régularités de son action* ». Selon Rabardel (1995), les schèmes ont trois fonctions : pragmatique (en permettant au sujet de réaliser sa tâche), heuristique (en permettant au sujet d'anticiper, d'organiser, de planifier et de contrôler ses actions ou son activité), et épistémique (en permettant au sujet de prendre l'information pertinente et de comprendre son activité). Enfin, les schèmes sont à la fois privés (l'individu élabore ses propres schèmes au fil de ses expériences) et sociaux (d'autres individus participent directement ou indirectement à l'élaboration des schèmes d'un individu) (Bourmaud, 2007).

3.3. Les médiations dans les activités collectives : le modèle SACI

Avant de s'intéresser aux médiations, nous devons préciser que la notion de « situation » est centrale dans l'approche instrumentale car toute activité instrumentée est située, et que les situations, de par leurs caractéristiques, influencent grandement l'activité du sujet (Suchman, 1987 ; Rabardel, 2001 ; Bourmaud, 2006 ; Poisson, 2019). On peut différencier les situations dites « singulières » et les « classes de situations ». Les premières correspondent aux situations et à leur contexte compris à un endroit et à un moment donné, définies par des déterminants et des variables internes et externes à la situation. Ce sont elles qui influencent l'activité du sujet (Poisson, 2019). Les classes de situations sont un regroupement de situations singulières partageant des caractéristiques similaires et un même objet de l'activité du point de vue du sujet. Elles sont donc construites par le sujet lui-même au fil de son expérience et des processus de conceptualisation mis en œuvre. Elles peuvent se regrouper autour d'un but général pour former une « famille d'activité » (Poisson, 2019).

Pour étudier ces situations singulières et ces classes de situations, Rabardel (1995) propose un premier modèle dit « tripolaire » permettant de mettre en évidence les relations et médiations en jeu dans l'activité entre le sujet, l'instrument, et l'objet de l'activité. A ce premier modèle il ajoute ensuite un quatrième pôle correspondant aux autres sujets pouvant influencer directement ou indirectement l'activité du sujet principal, notamment dans les activités collectives. Il parle alors de modèle « quadripolaire », ou modèle des « situations d'activité collective instrumentée » (modèle SACI, Figure 6).

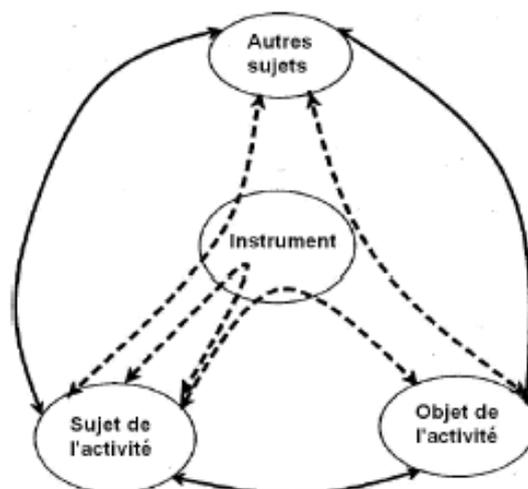


Figure 6 : Modèle quadripolaire des situations d'activité collective instrumentée (SACI) de Rabardel (1995).

Légende : les flèches pleines représentent les relations directes entre les différents pôles, et les flèches en pointillées correspondent aux médiations via l'instrument.

Les quatre pôles du modèle SACI correspondent au sujet de l'activité (S), à l'instrument (I), à l'objet de l'activité (O) et aux autres sujets (A). Le sujet « principal » est compris dans sa globalité, intégrant ses « *rapports historiques, culturels et fonctionnels aux objets, ressources et conditions de son activité, aux autres sujets et à lui-même* » (Rabardel, 2005, p.253). Il s'agit d'une entité qui perçoit et agit, tout comme les autres sujets influençant l'activité.

L'instrument est une entité mixte composée d'un artefact, ou d'une partie d'un artefact, et de schèmes d'utilisation du sujet. Nous présentons cette notion plus en détails dans la section suivante. Enfin, l'objet de l'activité oriente l'activité du sujet car il correspond à l'objectif de l'action composé des buts, sous-buts, et motivations du sujet.

Des relations directes sont présentes entre le sujet, l'objet de l'activité et les autres sujets, mais des relations directes existent également entre le sujet et l'instrument (non représentées dans le schéma), et sont liées aux schèmes d'usage évoquées dans la section précédente. Rabardel (1995) distingue ensuite trois orientations possibles pour les médiations du sujet de l'activité : vers l'objet de l'activité (médiations à l'objet), vers les autres sujets (médiations interpersonnelles), et vers le sujet lui-même (médiations réflexives). Cependant, l'activité étant toujours dirigée vers l'objet, les médiations à l'objet tiennent une place privilégiée dans les activités médiatisées par les instruments (Bourmaud, 2006).

Concernant les médiations à l'objet, Rabardel (1995) identifie deux types de médiations différentes. D'abord les médiations épistémiques qui concernent essentiellement la prise de

connaissance de l'objet de l'activité, c'est-à-dire ses propriétés, ses évolutions, et ses états en fonction des actions du sujet. Ensuite, les médiations pragmatiques qui concernent les actions sur l'objet de l'activité, autrement dit sa transformation, sa gestion, sa régulation, etc. Les médiations interpersonnelles peuvent également être de type épistémique lorsqu'il s'agit de la prise de connaissance sur les autres sujets, ou pragmatique lorsqu'il s'agit d'agir sur eux. Ces médiations sont évidemment présentes dans les activités collectives, mais peuvent également se retrouver dans les activités individuelles (par exemple lorsqu'un conducteur automobile enclenche son clignotant pour signifier aux autres usagers de la route qu'il va tourner). Enfin, les médiations réflexives concernent le rapport du sujet à lui-même par le biais de l'instrument, et permettent le développement de méta-connaissances. Il est important de préciser que dans certaines situations d'activité instrumentée ces trois orientations peuvent être présentes simultanément, avec une dominante de l'une ou l'autre, et que dans d'autres situations, certaines de ces orientations peuvent être complètement absentes de l'activité du sujet (Rabardel, 1995 ; Rabardel & Bourmaud, 2003, 2005 ; Folcher & Rabardel, 2004 ; Bourmaud, 2006).

Pour finir, Galinier dans sa thèse en 1996, propose un schéma expliquant comment le modèle tripolaire de Rabardel évolue au fil des classes de situations rencontrées et construites par le sujet (Figure 7). Ce schéma peut être repris pour le modèle SACI que nous avons présenté plus haut. Dans un plan de coupe frontale on y retrouve la succession des classes de situations constituant ce que Galinier (op. cit.) nomme « situation globale », et qui a été précisé sous le terme de « domaine d'activité » à la suite de Bourmaud (op. cit.). Ces classes de situations sont traversées à la fois par l'artefact médiateur de l'activité, qui intervient donc dans chacune des classes, et par la tâche que doit réaliser le sujet pour atteindre son objectif. A travers ce schéma, Galinier cherche à nous faire comprendre que le modèle SAI (ou tripolaire dans ce cas) est différent pour chaque classe de situations. Cela peut se traduire soit par l'absence ou la présence de certaines relations et de certaines médiations en fonction des classes de situations, soit par des différences dans la nature ou dans l'orientation des médiations en jeu d'une classe de situations à l'autre. Dans le cadre de cette thèse, nous l'avons repris pour l'étendre au modèle SACI (op. cit.).

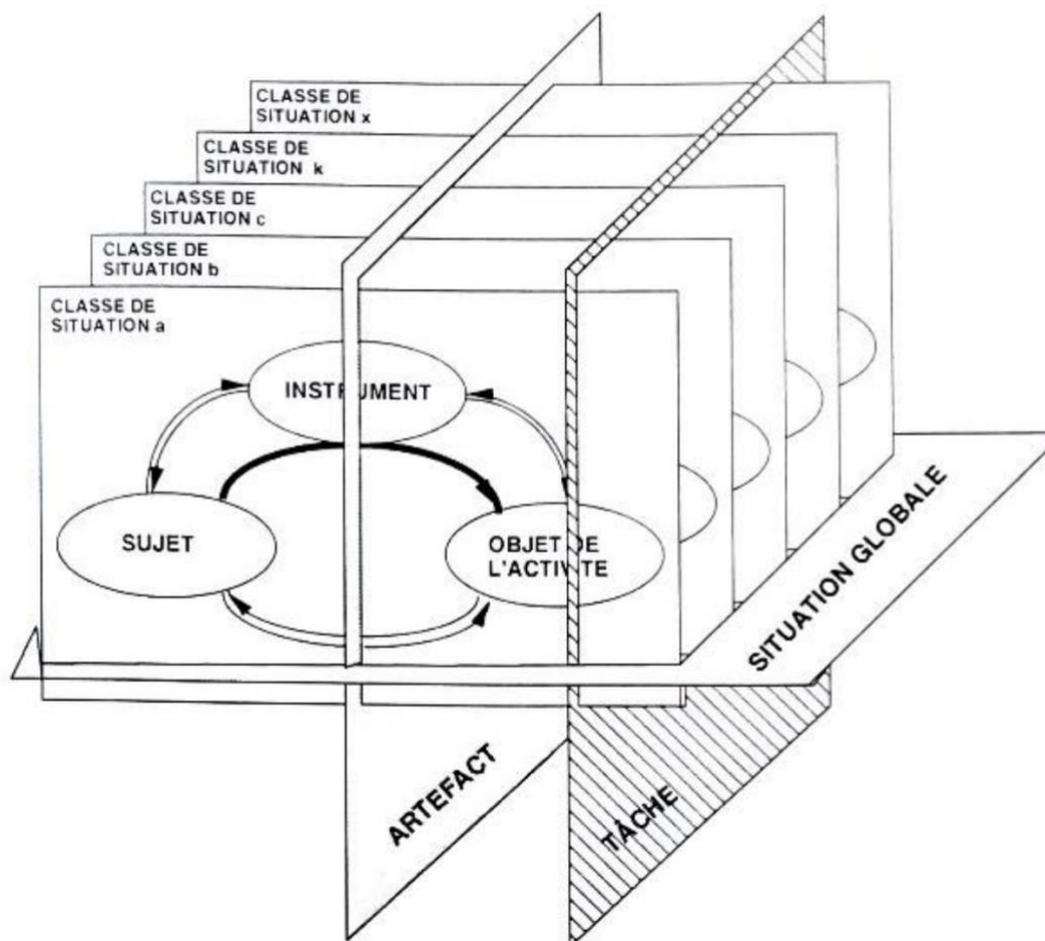


Figure 7 : Schéma de l'inscription du modèle tripolaire des situations d'activité instrumentée (SAI) dans les classes de situations (Galinier, 1996).

3.4. Des artefacts aux instruments : le processus de genèse instrumentale

Rabardel (1995) distingue trois notions différentes renvoyant à des rapports particuliers aux objets matériels fabriqués : l'objet technique, l'artefact, et l'instrument. L'objet technique correspond à un objet matériel fabriqué du point de vue technique, c'est-à-dire ses dimensions, les matériaux qui le composent, sa masse, etc. Le terme « produit » en est alors le pendant commercial, autrement dit l'objet conçu pour être vendu. Le terme « objet technique » renvoie à un point de vue technocentré de l'objet matériel fabriqué, en opposition au point de vue anthropocentré que l'approche instrumentale défend.

Ainsi, Rabardel (1995) introduit la notion d'artefact, empruntée à l'anthropologie ; ce terme désigne « toute chose ayant subi une transformation, même minime, d'origine humaine ». Contrairement à l'objet technique, l'artefact ne se résume pas aux objets matériels fabriqués, ce terme peut également qualifier les objets symboliques (cognitifs, psychologiques, ou sémiotiques). Dans la définition des artefacts, Rabardel précise que ces derniers sont

susceptibles d'un usage, en ayant été conçus pour s'inscrire dans des activités finalisées, avec la possibilité de transformer les objets de l'activité dans des conditions prévues par les concepteurs. Cependant, même si ces usages sont prévus et anticipés par les concepteurs, ils peuvent s'actualiser par l'activité des sujets.

Enfin, selon Rabardel (1995) l'instrument correspond à l'artefact en situation, inscrit dans un usage, dans un rapport instrumental à l'action du sujet, en tant que moyen de celle-ci. Il ne peut être constitué a priori puisqu'il se construit pendant l'usage par l'association d'un artefact et de ses propriétés (ou une partie de celui-ci) avec les schèmes d'utilisation du sujet qui organisent ses actions. Il s'agit donc d'une entité mixte, artefactuelle d'une part, et subjective d'autre part. A l'image des artefacts, Rabardel (in Bourmaud, 2006) identifie quatre types d'instruments : les instruments « matériels » (permettant la transformation d'un objet matériel), les instruments « cognitifs » (permettant la prise de décision cognitive), les instruments « psychologiques » (modifiant la gestion de l'activité propre du sujet), et les instruments dits « sémiotiques » (rendant possible les interactions avec un objet sémiotique ou avec les autres sujets).

Le passage de l'artefact à l'instrument repose sur un processus d'appropriation. Dans sa thèse, Poisson (2019) retrace l'évolution de la notion d'appropriation dans une perspective anthropocentrée, depuis les travaux de Karl Marx jusqu'aux travaux contemporains dans le champ des sciences humaines. Ainsi, dans ses manuscrits de 1844, Marx désigne l'appropriation comme « *le contrôle, la création ou l'acquisition d'un pouvoir sur les choses* » (Poisson, 2019), autrement dit comme un acte de propriété qu'il considère comme une aliénation de l'Homme. Pierre Bourdieu (1979) est, quant à lui, plus nuancé en expliquant qu'il s'agit simplement de la capacité ou de la possibilité pour un individu de s'approprier un bien, prenant en compte les différences interindividuelles, en fonction du capital, dont le capital culturel, de chacun. En 2002, Carroll et al. proposent un modèle d'appropriation des technologies dans lequel ils définissent la notion d'appropriation comme un processus d'évaluation, de sélection, d'adoption, d'adaptation et d'intégration d'une technologie dans la pratique quotidienne des individus. Ce processus a pour objet de répondre aux besoins des utilisateurs en leur permettant de prendre possession d'une technologie dans des usages stabilisés. Jacques Theureau (2011) considère l'appropriation comme une acculturation à un objet, outil, ou dispositif pour un sujet, dont l'usage est forcément personnel et individualisé, transformant potentiellement l'objet, l'outil, ou le dispositif lui-même. Theureau distingue trois phases dans ce processus : l'appropriation en tant qu'intégration au monde du sujet, l'incorporation en tant qu'intégration au corps du sujet, et l'inculturation en tant qu'intégration à la culture du sujet. Enfin, Bobillier-Chaumon (2016) replace l'appropriation dans une

perspective plus large du processus d'adoption des technologies : un continuum allant des représentations a priori, jusqu'à l'acceptation construite dans l'usage. Il précise que l'appropriation en est une étape préliminaire, prérequis rendant possible l'acceptation. Pour s'approprier une technologie, l'individu doit la « faire sienne » en lui donnant un sens et en y apportant une contribution lui permettant de se reconnaître en elle.

Bien que toutes ces approches soient anthropocentrées, elles n'intègrent pas la dimension développementale de l'élaboration des instruments par le sujet, que propose l'approche instrumentale. Ainsi, Rabardel (1995) propose un modèle d'appropriation des technologies rendant compte de la construction des instruments à partir des artefacts et des schèmes d'utilisation du sujet, autrement dit de la « genèse instrumentale » (Figure 8). Elle rend compte de « *l'expression d'une activité spécifique du sujet : la production de ses instruments et plus généralement des moyens de ses actions* » (Rabardel, 1997). Ce modèle d'appropriation des artefacts par la constitution des instruments se décompose en deux processus qui se distinguent par leurs orientations : l'instrumentation (processus tourné vers le sujet) et l'instrumentalisation (processus tourné vers l'artefact). Ces deux processus contribuent à l'émergence et à la transformation des instruments, mais en fonction des situations, l'un ou l'autre peut être dominant ou à l'inverse, peu perceptible (Rabardel, 1995).

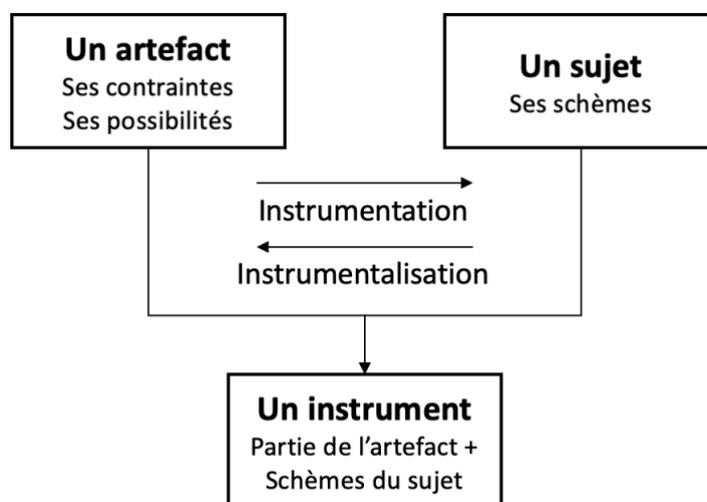


Figure 8 : Schéma du modèle de la genèse instrumentale (Rabardel, 1995).

Comme nous venons de le voir, le processus d'instrumentation est tourné vers le sujet, et est directement corrélé à la découverte progressive des propriétés de l'artefact par le sujet (Rabardel, 1995). Il rend compte de l'émergence et de l'évolution des schèmes d'utilisation et des schèmes d'action instrumentée, principalement par des processus d'assimilation ou d'accommodation qui peuvent conduire à la combinaison ou la coordination d'un ensemble de schèmes. L'assimilation permet au sujet de généraliser l'application d'un même schème à

différents artefacts et situations, leur donnant ainsi de nouvelles significations. L'accommodation rend compte de la transformation des schèmes qu'il a acquis au cours de son histoire et de son expérience pour les adapter aux nouveaux artefacts et aux nouvelles situations pour lesquelles l'assimilation n'est pas possible. Par conséquent, ce processus change les significations des schèmes du sujet par différenciation, créant de nouveaux schèmes.

Le processus d'instrumentalisation est orienté vers l'artefact et permet l'émergence et l'évolution des composantes artefactuelles de l'instrument par des processus de sélection, de regroupement, de détournements et de catachrèses, mais aussi et surtout par l'attribution de nouvelles propriétés et fonctions à l'artefact, et par la transformation de ce dernier (Rabardel, 1995 ; Bourmaud, 2006 ; Poisson, 2019). L'attribution de nouvelles propriétés et fonctions est un enrichissement de l'artefact par le sujet en fonction de l'action en cours et de la situation. Les nouvelles fonctions sont qualifiées de « fonctions constituées », par opposition aux « fonctions constituantes » définies a priori par les concepteurs. Elles sont intrinsèques et constitutives de l'artefact. Rabardel (1995) distingue deux niveaux d'instrumentalisation par l'attribution de nouvelles fonctions : l'instrumentalisation locale et temporaire en lien avec une situation ou une action singulière, et l'instrumentalisation durable, voire permanente, en lien avec une classe de situations ou d'actions. Enfin, les transformations de l'artefact peuvent être directement liées à son usage (traces de l'activité comme conséquences de cette dernière), ou anticipées pour adapter l'artefact à sa fonction.

3.5. Apport des modèles néo-piagétiens contemporains : l'inhibition

A partir des années 80, différents auteurs ont cherché à préciser les processus d'évolution des schèmes. Ainsi, dans sa théorie des opérateurs constructifs (TCO), présentée par De Ribaupierre (1983), Pascual-Leone (Pascual-Leone J., 1976, 1978, 1980 ; Pascual-Leone & Sparkman, 1980) propose un modèle du développement cognitif remettant en question le modèle « de l'escalier » de Jean Piaget, tout en gardant des concepts fondamentaux de ce dernier. Pascual-Leone fait une distinction entre schèmes ou structures qui se construisent progressivement comme répertoire de connaissances des sujets, et opérateurs ou mécanismes fondamentaux dont la fonction est de modifier la force d'activation des schèmes (De Ribaupierre, 2007). Il met ainsi l'accent sur l'activation des schèmes qui était peu discutée jusque-là. Il catégorise ces opérateurs en deux sous-ensembles correspondant à deux processus fondamentaux dans le développement cognitif (Pascual-Leone, 1987). D'abord l'attention mentale, qui comporte les opérateurs : M (Mental) : ils activent les schèmes pertinents non automatisés, I (Interrupteur) : ils permettent l'inhibition de schèmes non

pertinents ou trompeurs, et F (Facteur de champ) : ils permettent de fournir des réponses adaptées au contexte en activant des schèmes automatisés, et enfin les schèmes exécutifs E. Ensuite l'apprentissage qui est rendu possible grâce aux opérateurs C (Contenu) responsable des apprentissages cumulatifs et graduels, incorporation de schèmes, différenciation, apprentissage associatif, et L (Logique) responsable des apprentissages plus rapides et intentionnels. De Ribaupierre (2007, p.277) résume ce modèle en disant que « *les performances dépendent d'un jeu successif d'activations et d'inhibitions (le nombre de schèmes pouvant être activés, respectivement inhibés, variant avec les niveaux de développement)* ».

Plus récemment, les travaux d'Olivier Houdé (1995, 2007, 2014, 2020) postulent que le développement cognitif est, tout au long de la vie, ponctué d'erreurs, de biais de perception, et d'écarts inopinés, que la théorie piagétienne ne prévoit pas. Après avoir fait ce constat, Houdé explique que les notions d'assimilation et d'accommodation de Piaget ne sont pas suffisantes pour décrire le développement cognitif des individus, et que l'inhibition joue alors un rôle complémentaire, positif et adaptatif dans ce processus. Il s'agit alors de construire et d'activer des schèmes, mais également d'en inhiber certains qui « *entrent en compétition dans le cerveau* » afin de corriger des erreurs (Houdé, 2007). Houdé a pu mettre en évidence le processus d'inhibition chez des jeunes adultes grâce à l'imagerie cérébrale. Il a en effet constaté une reconfiguration des réseaux cérébraux, allant de la partie postérieure du cerveau (partie perceptive) à la partie antérieure préfrontale (partie de l'abstraction, de la logique et du contrôle cognitif dont l'inhibition), après la correction d'une erreur de raisonnement, autrement dit l'inhibition d'une stratégie inadaptée. Les erreurs ne sont plus considérées uniquement comme un manque de connaissances, mais sont également le fruit d'un défaut d'inhibition de schèmes non pertinents lié à la non-mobilisation des zones cérébrales préfrontales. Trois stratégies d'apprentissage peuvent favoriser l'inhibition selon cette approche : l'expérience à partir des échecs, l'imitation, ou l'instruction avec l'aide d'autrui (Houdé, 2007). Cependant, les instructions verbales ne sont pas suffisantes, et l'apprentissage exécutif de l'inhibition est une étape nécessaire pour rendre ce processus opérationnel.

Nous pensons que ces processus d'inhibition mis en évidence par les travaux des théories néo-piagétienne contemporaines pourraient être intégrés au modèle de la genèse instrumentale de Rabardel (1995), plus précisément en venant s'ajouter aux processus d'assimilation et d'accommodation de schèmes, propres à l'instrumentation du sujet de l'activité. Cette hypothèse est issue d'une double réflexion : d'une part nous pensons que les erreurs sont un des moteurs des apprentissages et que pour les surmonter l'apprenant doit être capable d'inhiber les schèmes ayant mené à celles-ci, et d'autre part nous pensons que

l'introduction d'un système automatisant au moins partiellement une activité rend forcément nécessaire l'inhibition de schèmes automatisés construits au fil de l'expérience du sujet qui peuvent ne plus être pertinents pour l'utilisation du nouvel artefact.

3.6. Conclusion du chapitre et hypothèse sur les transformations de l'activité de conduite automobile

Pour conclure ce chapitre, nous pensons qu'il est intéressant de présenter succinctement les moyens d'analyse et de mise en évidence des schèmes et des instruments, que Bourmaud (2006) a pris le soin de passer en revue. Il rappelle d'abord que les schèmes sont difficilement verbalisables et que pour les déduire il est nécessaire d'observer l'activité des sujets, en gardant comme objectif l'identification d'organisations invariantes. Cela passe par la mise en évidence de régularités de séquences d'activité, de l'existence de différentes possibilités et de choix faits par le sujet, de la transformation des situations par l'activité, et de l'opérationnalité (les résultats de l'activité en termes de performances). Concernant les instruments, c'est l'activité médiatisée des sujets qui doit être analysée à partir de l'identification des artefacts utilisés, des classes de situations d'usage de ces artefacts, des organisations invariantes de l'activité (pour en inférer les schèmes), des fonctions attribuées aux artefacts, et des objets de l'activité transformés par l'usage des artefacts.

Dans le cadre de cette thèse, concernant notre sujet d'étude, nous pensons que le passage de la conduite traditionnelle à la conduite automatisée entraîne nécessairement des modifications des relations et médiations en jeu dans l'activité du conducteur, notamment en raison de l'attribution de fonctions au nouvel artefact, et de l'apparition de nouveaux buts redéfinissant les objets de l'activité. Ces modifications vont de pair avec la mise en œuvre de processus d'assimilation, d'accommodation, ou d'inhibition de certains schèmes de la conduite traditionnelle qui ne sont plus adaptés au nouvel artefact et/ou aux nouvelles situations.

Chapitre 4 : La conduite automatisée d'un véhicule : une activité de gestion des risques dans un environnement dynamique

L'approche instrumentale nous permet d'appréhender l'activité de conduite automobile sous l'angle des médiations et de la construction des instruments en tant que développement des conducteurs (instrumentation : assimilation, accommodation, et inhibition de schèmes) et des artefacts (instrumentalisation : attribution de fonctions et transformation) via un processus de genèse instrumentale. Néanmoins, cette approche ne nous dit rien des spécificités de l'activité de conduite automobile elle-même. En effet, la conduite automobile est, de par sa nature, une activité incluant une composante de gestion des risques pour le conducteur et les autres usagers du système routier. Elle prend place dans des situations qualifiées de dynamiques, c'est-à-dire évoluant de manière continue sans l'intervention du sujet. Nous avons donc souhaité comprendre l'impact que pouvaient avoir ces caractéristiques sur le développement des compétences des conducteurs de véhicules automatisés. Dans ce chapitre nous présentons dans un premier temps la notion de risque, puis nous nous intéressons dans un second temps à la notion de situation dynamique.

4.1. La gestion des risques

Plusieurs auteurs se sont accordés pour donner une définition du risque en rapport à une situation donnée, tout en différenciant cette notion de celle du danger (Vidal-Gomel, 2001). Dans ce cadre, le risque est la probabilité qu'un événement actualise le danger présent dans une situation que le sujet en ait conscience ou non (Leplat, 1995). Une caractéristique importante à prendre en compte est que cette situation ou cet événement ne survient jamais de façon volontaire, et n'est généralement pas désiré par le(s) sujet(s). Leplat (1995) distingue la probabilité de survenue de l'événement, et la probabilité que cet événement provoque un accident. Par exemple, la présence de verglas sur une route est un danger ; le fait qu'un véhicule dérape sur cette plaque de verglas est un risque ; l'accident ne survient que si le conducteur n'arrive pas à récupérer la situation.

La façon dont le sujet fait face à un événement non désiré et à ses stratégies de récupération, qui ne sont pas toujours suffisantes, sont ainsi prises en compte. Si l'on prend l'exemple de cette thèse, cela signifie que le risque d'accident de la route dépend en partie des

compétences de chaque conducteur – mais pas uniquement. Les accidents sont multifactoriels (Leplat, 1995 ; Rabardel, 1998 ; Vidal-Gomel, 2001).

Le modèle que propose Amalberti (1996) distingue le « risque externe », la probabilité qu'un danger s'actualise dans une situation, et le « risque interne ». Ce dernier concerne le risque d'erreur ou bien le risque que le sujet arrive à bout de ses ressources dans une situation potentiellement dangereuse. Cela exige donc un contrôle du risque interne de la part du sujet, qui correspond à la supervision de sa propre activité cognitive et du contrôle effectif qu'il a sur la situation (Hoc, Amalberti, Cellier, & Grosjean, 2004). Par ailleurs, le « risque externe » doit être contrôlé par le sujet. Il correspond à sa capacité à repérer des signaux indicateurs de risque dans l'environnement sur la base de ses représentations et connaissances, et pouvant fonctionner par affordance (Hoc, Amalberti, Cellier, & Grosjean, 2004). Ce contrôle externe implique alors des boucles de sécurité perception-action. Ces boucles de sécurité perception-action impliquent une activité de diagnostic pour comprendre et évaluer la situation, incluant une activité de pronostic qui guidera les décisions d'action (Hoc & Amalberti, 1994, 1995, 1998).

Le modèle d'Amalberti (1996) fait partie de ce que Vidal-Gomel (2001) appelle les « modèles opératoires du risque ». Il s'agit de modèles de gestion du risque élaborés par les sujets, au cours de leur expérience ou lors de formation, comprenant un ensemble de représentations, de connaissances opérationnelles et de méta-connaissances. Les représentations mobilisées dans ces modèles participent à la conceptualisation du réel, orienté par des buts d'actions ou de transformations, en ne retenant que ce qui est pertinent pour l'action (Leplat, 1985). Il s'agit donc de représentations pour l'action (Weill-Fassina, Rabardel, & Dubois, 1993), fonctionnelles et schématiques, issues de l'expérience, de l'action en situation et/ou de la formation du sujet. Ces représentations sont celles d'un sujet finalisé qui, par son activité, structure et réorganise ses connaissances et ses compétences (Weill-Fassina, Rabardel, & Dubois, 1993). Ces connaissances peuvent concerner les dangers et leurs conséquences, mais également les artefacts à disposition, leur fonctionnement et la façon dont ils peuvent être utiles pour gérer le risque. Enfin, avec l'expérience, les représentations s'élargissent à des champs plus grands, permettant de mieux anticiper l'évolution des situations et les effets des actions possibles. Notons toutefois que l'expérience est nécessaire au développement des compétences mais insuffisantes en soi (Vidal-Gomel, 2001).

Les « connaissances opérationnelles » mobilisées dans les modèles opératoires du risque sont constitués de connaissances conceptuelles (scientifiques, techniques et/ou pragmatiques), de connaissances expérientielles, mais également des situations et classes de situations, et des artefacts (Samurçay & Rogalski, 1993). Selon Valot, Grau & Amalberti

(1993), on y trouve aussi des méta-connaissances qui permettent au sujet de réguler leur propre activité, d'éviter des situations qu'ils ne savent pas bien gérer ou qui représentent un risque trop élevé étant donné ce qu'ils savent de leurs compétences. Elles sont un élément essentiel de la gestion des risques internes (Amalberti, op. cit.). Amalberti (1996) considère que la gestion des erreurs fait partie de la gestion des risques internes. Il propose d'aborder la fiabilité humaine différemment en considérant que l'évitement de toute erreur ou défaillance n'est plus considéré comme l'objectif à atteindre (Vidal-Gomel, 2001). Ce modèle de « sécurité écologique » explique que les erreurs sont le résultat d'un compromis cognitif contrôlé par le sujet. Ainsi, les sujets disposent de différentes stratégies de protection contre leurs propres erreurs, leur permettant de récupérer 80% d'entre elles, en particulier les erreurs de routine (Amalberti, op. cit.). Quatre types de stratégies de détection-récupération des erreurs ont été identifiées :

- « Une erreur est détectée quand le résultat n'est pas conforme aux attentes.
- L'opérateur peut juger a posteriori curieuse la façon dont il a élaboré la solution ou dont il a exécuté une série d'actions.
- Il peut procéder à une série de vérifications de routine.
- À un moment donné du traitement, il peut douter de ses intentions initiales ».

Ces stratégies d'analyse des erreurs peuvent intervenir à tout moment dans l'activité du sujet, et quel que soit le niveau de régulation de celle-ci (connaissances, règles, automatismes au sens de Rasmussen, 1983, 1986). Certains facteurs rendent ces stratégies plus ou moins difficiles, par exemple un niveau d'abstraction plus élevé, ou des contraintes temporelles plus importantes. Dans ces cas, le compromis cognitif sera d'accepter le fait de ne comprendre que partiellement la situation pour choisir la stratégie d'action (Amalberti, op. cit.). Dans des situations dynamiques à risque, lorsque le sujet détecte une erreur, son but est alors de maîtriser les conséquences pour éviter l'accident. Pour cela, il doit parvenir à revenir à un état normal ou stabilisé du système, bien qu'il ne puisse pas retourner à un état antérieur du fait de l'évolution de ce système.

4.2. Du modèle « Skill-Rule-Knowledge » de Rasmussen à la modélisation de l'activité de gestion d'un environnement dynamique

Le modèle « Skill-Rule-Knowledge » (SRK) de Rasmussen fait partie de ceux qui ont largement influencé la recherche en ergonomie dans les années 80-90. Il a notamment été remis en cause à partir de travaux sur la gestion des environnements dynamiques.

4.2.1. Le modèle de Rasmussen

Selon le modèle « *Skill-Rule-Knowledge* » (SRK) de Rasmussen (1983, 1986), il existe trois niveaux d'abstraction de la régulation de l'activité en fonction de l'expertise du sujet (Figure 9). Selon ce modèle, plus le sujet est expert plus la régulation de l'activité est automatisée, et moins les ressources cognitives nécessaires (notamment attentionnelles) sont coûteuses. Ainsi, Rasmussen distingue le niveau des connaissances (« *Knowledge* »), le niveau des règles (« *Rule* »), et le niveau des automatismes (« *Skill* »). Les deux premiers niveaux concernent le « *traitement de l'information symbolique (concepts et signes, toujours discontinus et renvoyant à des significations), le dernier du traitement de l'information subsymbolique (signaux, souvent continus et traités pour eux-mêmes sans renvoi à des significations)* » (Hoc, Amalberti, Cellier, & Grosjean, 2004). Le traitement de l'information symbolique est plus coûteux que celui de l'information subsymbolique car il requiert une interprétation avec un codage se faisant par étape. En revanche il permet les généralisations. A l'inverse, le traitement de l'information subsymbolique est plus économe car il ne nécessite pas d'interprétation profonde. Il n'intervient pas de façon séquentielle, mais en parallèle de l'activité, et permet un traitement continu des rétroactions de l'environnement (Hoc, Amalberti, Cellier, & Grosjean, 2004). Pour simplifier la compréhension, Hoc et al. (2004) proposent de considérer le traitement symbolique comme étant explicite, conscient et réfléchi, et le traitement subsymbolique comme étant implicite, inconscient et spontané (bien que cette vision soit un peu réductrice et que de nombreux contre-exemples existent).

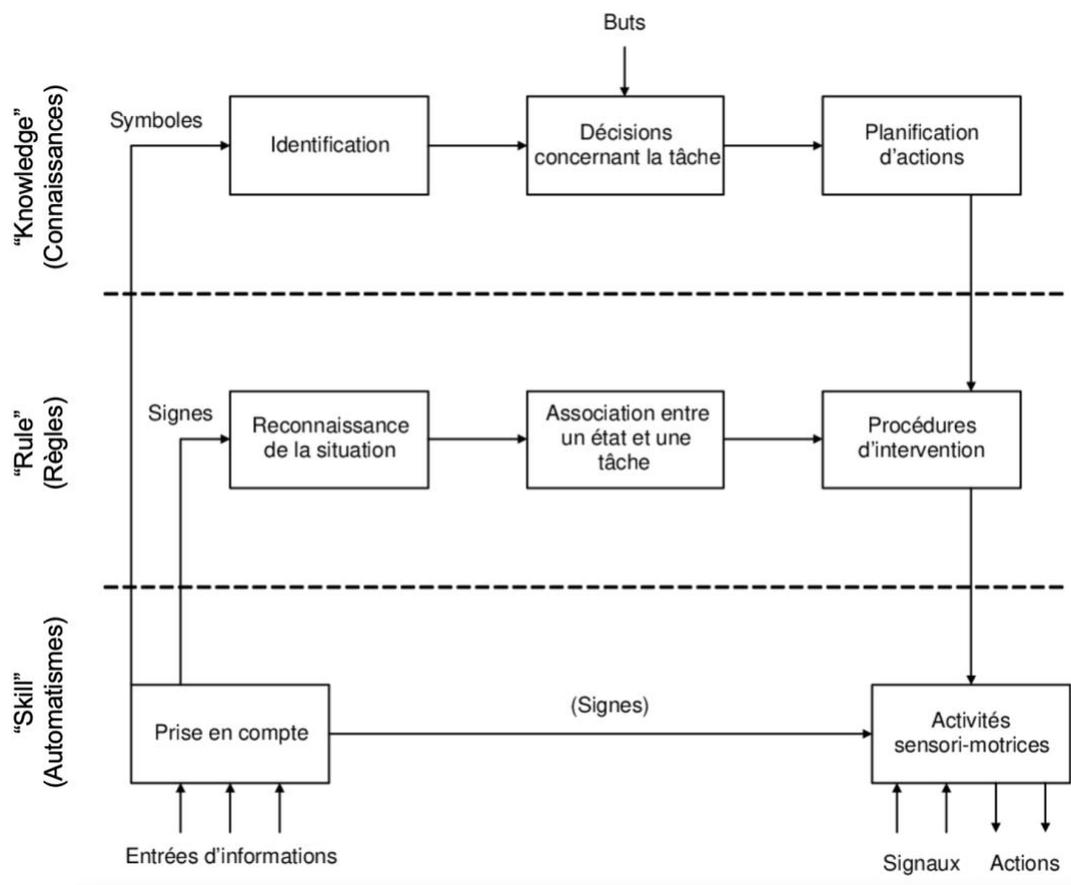


Figure 9 : Schématisation du modèle SRK de Rasmussen (1983, 1986), traduit par Vaudry (2002).

Les comportements basés sur les connaissances (« *Knowledge-Based Behavior* ») mobilisent des concepts qui ne sont pas directement liés à l'action et qui nécessitent une interprétation. Ces concepts comprennent des relations sémantiques et leurs procédures associées, sous la forme de représentations complexes. Ces comportements, très coûteux en ressources cognitives, sont associés aux activités de résolution de problème principalement chez les novices, mais aussi chez les experts lorsque la situation est peu ou pas connue.

Les comportements basés sur les règles (« *Rule-Based Behavior* ») mobilisent des relations de type « si A, alors B », où A est une condition et B une activité. Les conditions sont utilisées comme des « signes » à interpréter, et les activités sont composées des procédures associées. Ces comportements, relativement coûteux en ressources cognitives, s'appliquent donc à des situations d'exécution de procédures avec une composante attentionnelle non négligeable.

Enfin, les comportements basés sur les automatismes (« *Skill-Based Behavior* ») mobilisent des automatismes sensori-moteurs ou internes s'appuyant sur des signaux purement sensoriels qui n'ont pas besoin d'être interprétés pour être exploités. Ces comportements permettent de s'affranchir des ressources limitées des capacités cognitives humaines en étant

très peu coûteux, et sont caractéristiques de la capacité à réguler la charge de travail chez les sujets experts (Amalberti, op. cit.).

4.2.2. Vers des modèles de gestion des situations dynamiques

La notion de « situation » est définie comme l'interaction entre un sujet et une tâche, dans laquelle le sujet maintient la situation dans un domaine lui permettant une mobilisation supportable de ses ressources internes, et dont les exigences de la situation restent acceptables (Hoc, Amalberti, Cellier, & Grosjean, 2004). Le caractère statique ou dynamique des situations dépend du système de contrôle et de supervision du sujet, tel que nous le verrons dans les sous-sections suivantes. Ainsi, une situation est considérée comme statique si son changement d'état (évolution, transformation) dépend uniquement des actions du sujet, tel que si ce dernier ne fait rien alors la situation ne changera pas (Hoc, 2004 ; Hoc, Amalberti, Cellier, & Grosjean, 2004). A l'inverse, une situation est considérée comme dynamique s'il est possible qu'elle évolue sans même que le sujet n'intervienne. Elle est alors sous contrôle partiel du sujet (Hoc, 2004 ; Hoc, Amalberti, Cellier, & Grosjean, 2004).

4.2.2.1. Les caractéristiques des situations dynamiques et de leur gestion

Le contrôle partiel qu'a le sujet suppose des implications cognitives importantes, caractéristiques des situations dynamiques (Hoc, Amalberti, Cellier, & Grosjean, 2004). En premier lieu, l'incertitude liée au manque d'informations fiables sur les facteurs non contrôlés peuvent influencer l'évolution de la situation, la rendant spontanée et imprédictible pour le sujet. Parmi ces facteurs, Hoc (2004) indique que les dispositifs techniques pouvant être utilisés dans ces situations sont eux-mêmes soumis à des facteurs environnementaux pouvant influencer leur fonctionnement, rendant l'anticipation de l'évolution de la situation difficile. Il évoque également les processus sous-jacents au secteur d'activité, pour lesquels les modèles dont dispose le sujet ne sont pas toujours précis, rendant également les anticipations difficiles. Dans les situations à risque, cette incertitude concerne aussi la probabilité de survenue d'un accident tel que nous l'avons vu dans la section précédente.

Ensuite, les effets des actions du sujet lui-même ne sont pas toujours directs ou immédiats car, d'une part les actions peuvent être médiatisées par un instrument qui, lui, aura un effet sur la situation, et d'autre part les effets de ces actions peuvent être différés dans le temps (Hoc, Amalberti, Cellier, & Grosjean, 2004).

Enfin, les processus de contrôle et de supervision de la situation sont à la fois contraints dans le temps (fréquence de prise d'information, vitesse des processus, délais de réponse), mais

également constants dans le temps (délais de réponse). En effet, une situation dont la dynamique est plus rapide que le délai de réponse des actions du sujet rend alors la gestion de cette situation très difficile (Hoc, Amalberti, Cellier, & Grosjean, 2004). Cela peut provoquer une désynchronisation entre les données disponibles et l'activité (diagnostic et actions), rendant la situation actuelle moins intéressante pour l'activité du sujet que la situation future qu'il doit prédire (pronostic).

Dans le cas des situations dynamiques liées à des systèmes automatisés, les processus de contrôle et de supervision sont répartis entre l'humain et la machine de sorte que l'humain n'est plus simplement un utilisateur du système, mais un agent coopérant avec la machine qui dispose d'une certaine autonomie (Hoc, Amalberti, Cellier, & Grosjean, 2004).

En ce qui concerne les situations dynamiques à risque, Hoc et al. (2004) s'intéressent au paradigme du contrôle de processus concernant les adaptations nécessaires au maintien de la situation « sous contrôle ». Ce paradigme distingue la notion de contrôle de la notion de supervision. Le contrôle est considéré comme l'intervention directe du sujet dans la boucle de rétroaction qui maintient la situation dans un domaine acceptable pour lui. La supervision concerne le réglage du fonctionnement de cette boucle, c'est-à-dire les objectifs de contrôle. Plus le système homme-machine est automatisé, plus l'activité de supervision est importante, laissant de moins en moins de place au contrôle « manuel » qui n'intervient que ponctuellement (Hoc, Amalberti, Cellier, & Grosjean, 2004).

Selon Samurçay et Rogalski (1992), le contrôle de processus nécessite que le sujet coordonne son modèle de fonctionnement du processus, et son modèle des actions possibles et de leurs effets. La tâche du sujet est alors représentée comme une boucle comprenant la prise d'information, le diagnostic de la situation actuelle, le pronostic de la situation future, la planification de l'action, ainsi que les moyens de l'action, décision, exécution et contrôle. L'anticipation joue un rôle central dans l'activité du sujet, en lui permettant de pronostiquer l'évolution de la situation sur la base des données de la situation actuelle et des connaissances qu'il a du processus dynamique en cours. Ce pronostic permet d'anticiper l'évolution de la situation si aucune action n'est réalisée, mais aussi les effets d'une action éventuelle sur le processus (Samurçay & Rogalski, 1992). Un contrôle efficace du processus dépend donc de la capacité du sujet à gérer simultanément plusieurs hypothèses d'évolution et de la nature des objets conceptuels traités dans la représentation du processus. Par « objets conceptuels » il faut comprendre le type de variables que le sujet est amené à manipuler : les variables dites « observables » (mesurées ou calculées en fonction de modèles théoriques existants, ou directement observées) et les variables dites « construites »

(représentations schématiques et opératives élaborées par et pour l'action permettant d'évaluer les situations actuelles et futures) (Samurçay & Rogalski, 1992).

Hoc (2004) précise que les différences de stratégies dépendent de trois facteurs qui permettent de caractériser les typologies de dynamique des situations. Le premier facteur concerne « l'étendue du champ de supervision et de contrôle » qui permet au sujet de s'informer et d'agir dans une fenêtre temporelle, spatiale ou causale donnée. La réduction de ce champ entraîne la nécessité de trouver un « *compromis entre la réduction de la complexité (pour réduire la charge) et le maintien d'un champ minimal* » qui permette tout de même l'anticipation et l'action. L'expertise du sujet joue sur la gestion de la complexité grâce à des représentations efficaces (Hoc, 2004). Le deuxième facteur concerne « la proximité du contrôle » qui traduit d'une part la nécessité que l'action du sujet soit cohérente avec la dynamique du processus en cours, et d'autre part que le délai de réponse soit planifié en fonction des actions du sujet et de la dynamique du processus. L'objectif étant que l'anticipation soit la plus juste possible et que les actions du sujet aient l'effet escompté sur la situation. Enfin, le troisième facteur est « la vitesse du processus » qui concerne l'ensemble des caractéristiques temporelles des situations dynamiques (moment d'occurrence, durée, fréquence, rythme, ordre) pouvant complexifier le contrôle et la supervision du sujet (Hoc, Amalberti, Cellier, & Grosjean, 2004). On y retrouve notamment la fréquence de prise d'information et la prise de décision d'intervenir au « bon » moment. Dans le cas d'une situation dynamique lente, la planification de l'action peut se faire en temps réel, alors que dans le cas d'une situation dynamique rapide, cette planification doit avoir lieu avant la réalisation de la tâche. Cependant, en s'appuyant sur les travaux de Hoc et Moulin (1994) et de Hoc, Amalberti et Plee (2000), Hoc (2004, p.12) précise que « *la planification en temps réel peut conduire à une dégradation de performance quand elle n'est pas fondée sur des connaissances suffisantes du processus (nécessaires à une stratégie anticipative), alors qu'une planification préalable juste, associée à l'exploitation de feed-backs rapprochés (stratégie réactive), peut se révéler aussi satisfaisante* ».

4.2.2.2. Des boucles de régulation dans la gestion des situations dynamiques

Le contrôle et la supervision des systèmes dynamiques implique des activités de gestion de la prise d'information, de diagnostic, de pronostic, de planification, de prise de décision, d'exécution et de contrôle des résultats de l'action. Samurçay et Rogalski (1992) ont proposé un modèle inspiré de celui de Rasmussen (1983, 1986) qui met en évidence des boucles de régulation dans l'activité de gestion d'un environnement dynamique (Figure 10). Le modèle est schématique et linéaire mais les auteures précisent que ces activités sont en réalité imbriquées et intégrées, que des itérations sont possibles tant que le but n'est pas atteint, et

que des « courts-circuits » peuvent exister en fonction de l'expertise du sujet et/ou de la complexité du problème (Samurçay & Rogalski, 1992).

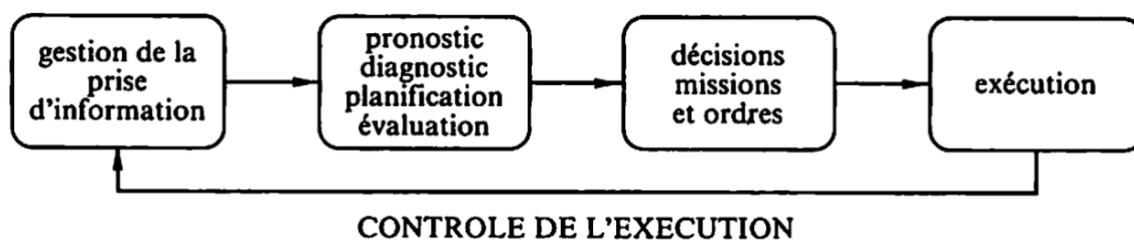


Figure 10 : Schéma de la boucle de gestion d'environnement dynamique (Samurçay & Rogalski, 1998).

La prise d'information, l'exécution et le contrôle sont généralement des activités médiatisées par un système informatisé ou automatisé, par un système humain, ou par les deux. La prise d'information est guidée par des buts d'action ou par des hypothèses d'évolution de la situation. Des connaissances du domaine d'activité sont alors nécessaires pour interpréter et donner du sens aux informations collectées, ainsi que pour évaluer la validité et la pertinence de ces dernières (Samurçay & Rogalski, 1992). Le diagnostic et le pronostic concernent, quant à eux, les représentations qu'a le sujet de l'état actuel de la situation et des évolutions possibles qu'il peut envisager. En fonction de l'activité, les anticipations peuvent s'appuyer principalement sur la représentation des risques potentiels, ou sur la compréhension des évolutions passées et de l'état actuel dans le but de transférer les conséquences possibles des évolutions futures. Samurçay et Rogalski (1992) constatent que les stratégies efficaces considèrent l'état actuel du système comme étant dynamique en privilégiant les évolutions potentielles générées à partir de calculs, ou d'hypothèses le cas échéant. Au contraire, les stratégies moins efficaces représentent l'état actuel en privilégiant les données disponibles à l'instant t , et ne « *construisent peu ou pas d'évolution ou de risques futurs possibles* » (Samurçay & Rogalski, 1992). Les auteures constatent, en effet, que les stratégies spontanées et moins efficaces ne se déroulent pas selon un ordre « analyse-but-moyen-action », mais plus selon un ordre « moyen-but-action-révision du but en cas de non réussite de l'action ». L'anticipation n'est donc pas de rigueur car les sujets adoptent un comportement réactif plutôt que proactif.

4.2.2.3. Le modèle GSD de Hoc et Amalberti : un modèle intégratif d'un ensemble de connaissances sur le fonctionnement cognitif dans les activités de la gestion des environnements dynamiques

En 2004, Hoc fait le constat que les modèles existants, dont celui de Rasmussen (1983, 1986) et de Samurçay et Rogalski (1992) que nous venons de présenter, sont essentiellement des modèles séquentiels dont le succès tient à leur simplification du réel facilement

appréhendable. Cependant, ces modèles ne tiennent pas compte du décalage éventuel entre la dynamique des situations et celles des activités cognitives dans le cas des situations dynamiques rapides. Selon l'auteur, c'est pour cette raison qu'avec Amalberti ils ont présenté un nouveau modèle de gestion de situation dynamique (GSD), avec l'ambition de proposer un modèle générique de l'architecture cognitive et de ses caractéristiques dans ces situations (Hoc & Amalberti, 1995, 2003). Ce modèle que nous présentons dans la Figure 11, est une sorte d'évolution du modèle de Rasmussen (1983, 1986) qui remet en question la séquentialité de la structure fonctionnelle, auquel les auteurs ajoutent une dimension temporelle et des boucles de régulation.

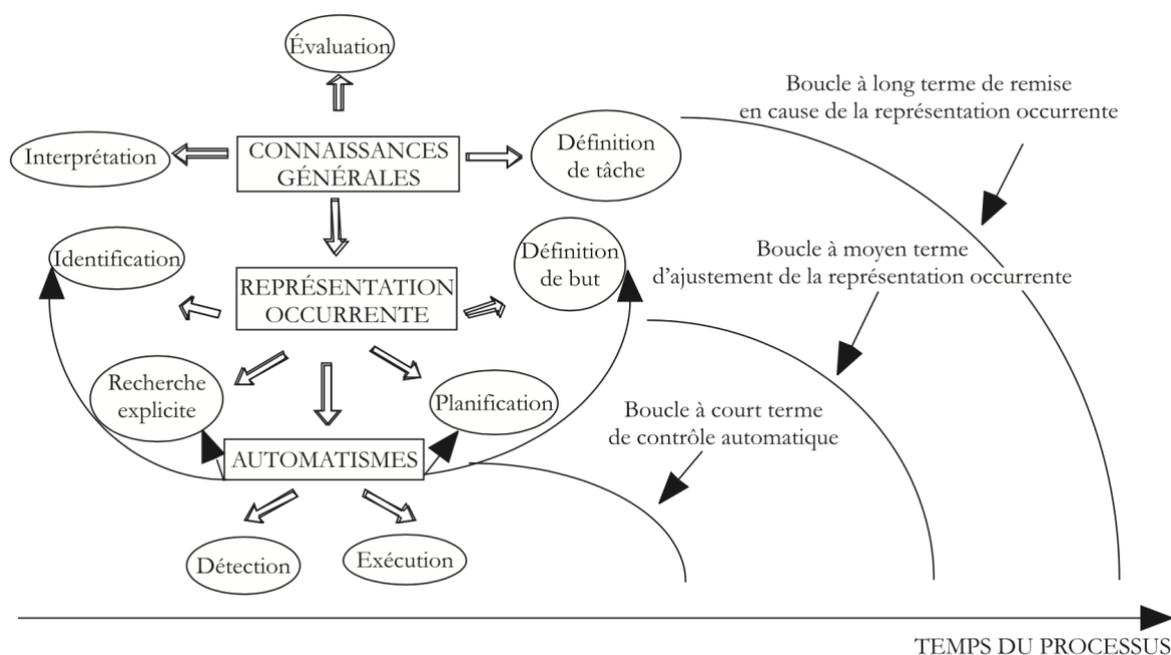


Figure 11 : Modèle de Gestion de Situation Dynamique (GSD) adapté de Hoc et Amalberti (1995, in Hoc, 2004).

Légende : Les rectangles représentent les niveaux d'abstraction des représentations et des connaissances, les ovales les modules d'activité, les arcs les boucles d'action et de rétroaction, les flèches blanches des phénomènes de supervision, les flèches montantes noires des phénomènes d'émergence.

Les niveaux de régulation de l'activité « *Skill, Rule, Knowledge* » sont remplacés respectivement par « Automatismes », « Représentation occurrente », et « Connaissances générales ». La hiérarchisation de ces trois niveaux « *va des aspects tactiques (court terme) aux aspects stratégiques (moyen et long termes) de l'activité* » selon Hoc (2004, p.22). Cependant, bien que souvent corrélées, cette hiérarchisation temporelle ne doit pas se confondre avec la hiérarchisation du niveau de régulation de l'activité qui va du contrôle subsymbolique (explicite, conscient, et réfléchi), au contrôle symbolique (implicite, inconscient et spontané). Ainsi les automatismes relèvent du contrôle subsymbolique qui gère des

variables continues, traitées comme des « signifiants » ou « signaux ». En revanche, la représentation occurrente relève du contrôle symbolique qui gère des variables discrètes, différenciant « signifiant » et « signifié » sur la base de représentations du processus supervisé et de représentations des ressources cognitives disponibles. Enfin, le niveau des connaissances générales est plus nuancé car il intègre des cas particuliers dans lesquels le contrôle symbolique n'est pas requis, comme les « habits of action » (Hukki & Norros, 1999) qui relèvent soit des traits de personnalité du sujet, soit d'un résultat très stable issu d'une formation (Hoc, 2004).

Selon Hoc (2004, p.26), « *c'est l'articulation entre les niveaux de contrôle, au sens de la profondeur de traitement, qui permet de gérer les exigences de ces différents termes. Les activités subsymboliques permettent de s'adapter rapidement, en s'appuyant sur des rétroactions immédiates dont le traitement ne nécessite pas de compréhension profonde. Les activités symboliques peuvent se développer en parallèle pour recalibrer le système sur des objectifs à long terme* ». C'est donc la boucle de contrôle à court terme qui fonctionne en priorité pour maintenir la situation dans un domaine acceptable tout en admettant des compromis sources d'incohérences. Les boucles à moyen et long terme permettent des ajustements du plan d'action (stratégie) par le biais de raisonnements longs dont le but est de maîtriser le processus sur le long terme (Hoc, 2004).

4.2.3. Concevoir des outils ou des formations pour la gestion d'environnements dynamiques

Deux processus complémentaires permettent de rendre compte de l'acquisition de compétences d'un sujet pour maîtriser un environnement dynamique complexe (Hoc, Amalberti, Cellier, & Grosjean, 2004). D'abord, le processus de réduction de la complexité a pour but de trier les éléments de la situation pour n'en garder que les plus pertinents pour le traitement de la situation, autrement dit il s'agit d'un « *filtrage opératif des informations prélevées sur le processus* ». Ensuite, le processus d'anticipation qui relève à la fois d'une activité subsymbolique implicite (l'attente) et d'une activité symbolique explicite (la prévision) selon Denecker (1999). De la première résultent un comportement de surprise lorsque l'évolution est inattendue, et de non-surprise dans le cas inverse. La seconde nécessite des connaissances spécifiques pour comprendre l'état actuel de la situation et ses possibilités d'évolution (Hoc, Amalberti, Cellier, & Grosjean, 2004).

Selon Samurçay et Rogalski (1998), les activités qui sous-tendent la gestion des situations dynamiques nécessitent l'acquisition de « *systèmes de représentations et d'organiseurs de l'activité orientés par les buts d'action* » :

- Des représentations et concepts sur les objets de l'environnement (structure, fonction et comportement du système), ainsi que sur les relations entre ces objets (causalité entre les variables, les composants).
- Des connaissances sur les systèmes de contrôle/commande (interfaces, automatismes).
- Des connaissances sur le contrôle de l'action (règles, procédures, heuristiques, méthodes, etc.).
- Des connaissances sur le dispositif opérationnel et sur l'organisation de l'activité (notamment collective).
- Des méta-connaissances comme représentations du fonctionnement de ses propres compétences permettant de gérer ses ressources cognitives.

Pour concevoir une formation pertinente pour des activités de gestion de situations dynamiques, il est primordial de prendre en compte le « corps des savoirs de référence » et les conditions d'apprentissage de ces derniers (Samurçay & Rogalski, 1992). Les savoirs de référence sont l'ensemble des « savoirs en acte efficaces », c'est-à-dire les pratiques efficaces reconnues dans un domaine d'activité donné. Ils sont complémentaires des savoirs techniques et disciplinaires qui, eux aussi, sont nécessaires au bon déroulement de l'activité (Samurçay & Rogalski, 1992). L'identification des savoirs de référence d'un domaine nécessite d'analyser l'activité des sujets pour identifier des invariants conceptuels et stratégiques mis en œuvre systématiquement pour une classe de situations spécifique, à partir de l'identification de « *catégories d'objets et de traitements communes à des pratiques efficaces* » (Samurçay & Rogalski, 1998). A partir de ces savoirs de références construits grâce à l'analyse de l'activité, des connaissances opérationnelles verbalisées par les sujets, et des connaissances scientifiques et techniques, Samurçay et Rogalski (1992) suggèrent d'élaborer un modèle causal du fonctionnement du système, servant de référence et permettant d'aider les sujets à réduire la complexité de l'activité due aux nombreux paramètres à prendre en compte. Les connaissances opérationnelles comprennent des connaissances sur « *la dynamique des situations, l'analyse tactique de l'espace, les relations entre buts de l'action et moyens nécessaires* » (Samurçay & Rogalski, 1992). Le modèle élaboré sollicite donc des représentations topologiques, fonctionnelles et causales, tout en incluant les actions possibles du sujet.

4.3. Conclusion du chapitre et hypothèse sur l'intervention d'un outil didactique dans l'activité de conduite automatisée

Pour conclure, nous avons vu que la notion de risque concerne la probabilité qu'un événement à caractère dangereux survienne de façon involontaire dans une situation, ainsi que la probabilité que cet événement produise un accident. Dans les activités en situations risquées, les sujets sont amenés à gérer des risques internes (gestion des ressources cognitives, des erreurs, et du contrôle effectif de la situation) et des risques externes (actualisation d'un danger dans la situation nécessitant une boucle de sécurité perception-action incluant diagnostic et pronostic). Nous avons vu que des modèles existent pour rendre compte des activités de gestion de risque, comme les « modèles opératoires du risque » dont fait partie le modèle d'Amalberti (1996), incluant un ensemble de représentations, de connaissances opérationnelles et méta-connaissances. Nous avons également présenté le modèle « *SRK* » de Rasmussen (1983, 1986) qui propose trois niveaux de régulation de l'activité : le niveau des automatismes « *Skills* » (très peu coûteux en ressources cognitives), le niveau des règles « *Rules* » (relativement coûteux en ressources cognitives), et le niveau des connaissances « *Knowledge* » (très coûteux en ressources cognitives).

Dans un second temps, nous nous sommes intéressés à la gestion des situations dynamiques en définissant ces dernières comme des situations qui évoluent sans l'intervention du sujet qui ne dispose donc que d'un contrôle partiel. Ces activités sont caractérisées par l'incertitude quant à leur évolution et leurs conséquences, par le fait que les effets des actions du sujet ne sont pas forcément directs ou immédiats, et par les caractéristiques temporelles des processus de contrôle et de supervision. Nous avons vu que ces processus de contrôle et de supervision faisaient partie du paradigme du contrôle de processus impliquant des activités de gestion de prise d'information, de diagnostic, de pronostic, de prise de décision, d'exécution et de contrôle de l'exécution. Ces activités sont influencées par trois facteurs : l'étendue du champ de supervision et de contrôle, la proximité du contrôle et la vitesse du processus. Tout comme pour la gestion des risques, nous avons présenté des modèles qui rendent compte des activités de gestion de situation dynamique, à commencer par le modèle de gestion d'environnement dynamique de Samurçay et Rogalski (1998) inspiré du modèle de Rasmussen (op. cit.), qui articule les différentes activités mentionnées plus haut. Nous avons ensuite présenté le modèle de gestion de situation dynamique (GSD) de Hoc et Amalberti (1995, 2003) qui s'appuie sur le modèle de Rasmussen (1983, 1986) en remettant en question sa séquentialité, en y ajoutant la dimension temporelle, ainsi que des boucles de régulation. Ce modèle articule donc à la fois la profondeur de la régulation de l'activité (contrôle symbolique vs. contrôle subsymbolique) et la temporalité de celle-ci (aspect tactique

à court terme et aspect stratégique à moyen et long termes). Enfin, nous avons vu que ces activités impliquent des caractéristiques particulières d'adaptation et développement de compétences incluant un processus de réduction de la complexité et un processus d'adaptation. Ces deux processus supposent l'acquisition d'un certain nombre de représentations et de connaissances spécifiques qu'il est important de prendre en compte pour concevoir des formations destinées à des activités de gestion de situations dynamiques. Cela inclut les savoirs de références du domaine qui intègrent des connaissances opérationnelles, et des connaissances scientifiques et techniques en rapport avec l'activité en situation jugée efficace.

Les transformations requises dans l'activité du conducteur pour mieux gérer les situations de conduite automatisée ne peuvent être issues d'un apprentissage « sur le tas » du fait des risques encourus. C'est pour cette raison que nous avons pensé que l'outil didactique à concevoir devait intégrer des ressources pour favoriser le développement des compétences des futurs conducteurs, et éviter les situations à risques, en étant utilisé avant même la réalisation d'une session de conduite. L'objectif était d'aider les conducteurs à amorcer la transformation de leurs schèmes en amont, et dans un environnement sécurisé. De plus, l'inhibition de certains schèmes très automatisés ne faisant plus intervenir le contrôle conscient, pourrait être d'autant plus difficile et risquée dans des situations dynamiques de conduite. En effet, la transformation de schèmes ne pouvant intervenir qu'au niveau « *Knowledge* », dans les situations dynamiques à tempo rapide, le sujet n'aurait pas le temps ni les ressources cognitives nécessaires pour un tel apprentissage. Le risque de perte de contrôle du véhicule est présent. L'objectif était aussi de permettre aux conducteurs d'intégrer suffisamment leurs nouveaux schèmes ou les processus d'inhibition, au moins au niveau « *Rules* », pour éviter une situation de surcharge cognitive dans les situations dynamiques potentiellement à risque. Nous pensons que le sujet pourra ensuite éventuellement intégrer ces nouveaux schèmes ou ces processus d'inhibition au niveau « *Skills* » par l'expérience et l'usage répété du véhicule automatisé. La situation serait alors comparable à celle de conducteurs novices ayant le permis B qui n'ont pas encore complètement automatisé le passage de vitesses (exemple cité par Bellet, 1998).

Chapitre 5 : La conception d'un outil didactique pour guider l'apprentissage d'une activité instrumentée

En 2009, Visser a défini la conception comme une activité consistant à élaborer un artefact à partir de spécifications plus ou moins complètes et détaillées, et de fonctions à remplir pour satisfaire des besoins ou des buts de l'utilisateur, dans certaines conditions correspondant à des contraintes à prendre en compte par le concepteur. Cet auteur précise que du point de vue cognitif au moment de la phase d'idéation et avant même de rentrer dans l'étape du faire, il s'agit de construire des représentations de l'artefact à concevoir aussi précises que possible pour en garantir sa bonne réalisation.

Dans ce chapitre nous aborderons la conception sous l'angle de l'apprentissage en tentant d'articuler différents modèles théoriques ayant pour objet d'étude la conception d'artefacts à visée didactique, ou la prise en compte de ces derniers pour aider les apprenants. Nous commençons par présenter certains principes de base pour la conception d'une aide efficace à l'utilisation d'un dispositif, puis nous nous penchons sur les apports du courant des EIAH (Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain). Nous présentons ensuite la conception d'artefacts pour l'apprentissage médiatisé selon l'approche instrumentale de Rabardel (1995) et des études portant sur les systèmes d'instruments et l'orchestration instrumentale. Enfin, nous terminons ce chapitre en abordant les notions de « simulation » et de « rétroaction » comme outils favorisant l'apprentissage médiatisé.

5.1. Principes de conception d'une aide efficace à l'utilisation d'un dispositif : point de vue issue de la psychologie cognitive

Barcenilla & Tijus (2006) ont tenté de définir des principes de conception d'une aide efficace à l'utilisation d'un dispositif. Selon ces auteurs, « *l'interface d'un dispositif permet d'inférer le type d'utilisateurs et d'utilisation, ceci parce que le dispositif comporte implicitement un modèle de l'utilisateur et un modèle de l'utilisation* ». Cependant, le modèle de l'utilisateur n'est pas toujours juste et suppose des prérequis que l'utilisateur n'a pas forcément. Prenons par exemple le cas du régulateur de vitesse. Au début des années 2000, de nombreux conducteurs ont rapporté des incidents lors de l'usage du régulateur de vitesse équipant leurs véhicules. Après de nombreux mois d'investigations et de tests, les experts des constructeurs automobile n'ont décelé aucune anomalie de conception des dispositifs, si ce n'est un « défaut de pédagogie » menant à des « erreurs humaines » de la part des conducteurs. En effet,

avant cette période de démocratisation du régulateur de vitesse, les conducteurs devaient sciemment choisir l'option pour en équiper leur véhicule. Cette première population d'utilisateurs « éclairée » ou « sensibilisée » à ce type de système a donc servi de modèle de l'utilisateur pour les véhicules suivants, qui étaient équipés de régulateurs de vitesse dans leur version standard. De nouveaux profils d'utilisateurs se sont donc retrouvés avec des régulateurs de vitesse entre les mains sans savoir les utiliser, et sans accompagnement, menant aux incidents évoqués plus haut. Dans le même thème, Bobillier-Chaumon et Dubois (2009) ont étudié les facteurs et les critères d'adoption des technologies à prendre en compte au sein des modèles de l'utilisateur et de l'utilisation. Ils distinguent le processus d'acceptabilité du processus d'acceptation. Le premier s'intéresse aux représentations d'une population donnée face à une technologie future et/ou probable, alors que le second se concentre sur l'expérience vécue par une population, au moment et/ou après l'usage d'une technologie. Ces deux processus font appel à un modèle de l'utilisateur différent mais s'inscrivant dans un continuum à prendre en compte tout au long de la conception d'un artefact. La prise en compte de modèles adéquats dans la conception d'un dispositif d'aide nécessite donc de connaître l'activité de l'utilisateur en termes de buts, de sous-buts, et de tâches, mais également de connaître son niveau de connaissances pour que l'aide conçue soit réellement adaptée à ses besoins au moment où il l'utilise. Il s'agit alors d'intégrer ces tâches dans le processus de conception de l'aide, aussi diverses soient-elles, et dont la plupart peuvent être réalisées en dehors du dispositif conçu, ou avec un autre dispositif, afin d'aider l'utilisateur à situer l'utilisation du dispositif dans son cadre d'activité (Barcenilla & Tijus, 2006).

D'un autre côté, l'approche que défendent Barcenilla et Tijus (2006) considère « *l'erreur humaine comme méprise sémantique, la remédiation du comportement utilisateur est une remédiation de la représentation que l'utilisateur a du dispositif* ». Par exemple, un certain nombre d'accidents impliquant des véhicules de la marque Tesla, et plus précisément le système de conduite semi-automatisée « Autopilot » (niveau 2 SAE), ont eu lieu ces dernières années (Le Monde, 2021). La majorité de ces accidents est liée à un désengagement du conducteur dans son activité de conduite, entraînant un déficit d'attention et donc une incapacité à intervenir à temps pour éviter un danger. Lianne Bainbridge (1983) avait déjà identifié ce phénomène près de 40 ans auparavant sous l'appellation d'« ironies de l'automatisation ». En effet, de nombreux auteurs (Banks V. A., Eriksson, O'Donoghue, & Stanton, 2018; Endsley, 2017; Casner & Hutchins, 2019; Blömacher, Nöcker, & Huff, 2020) ont démontré que les conducteurs non avertis ont tendance à élaborer une représentation (« *mental model* ») erronée de ce genre de système. Une représentation attribuant généralement trop de capacités à ce dernier aboutit à un sentiment de sur-confiance ayant

pour effet de diminuer la vigilance des conducteurs. Dans cette approche, le principe est de diagnostiquer le modèle que l'utilisateur a du dispositif et de confronter ce modèle au fonctionnement réel du dispositif.

Barcenilla et Tijus concluent leur approche en recommandant aux concepteurs d'aide à l'utilisation d'un dispositif, de s'intéresser aux tâches réalisables avec le dispositif en question, et d'intégrer à la fois les buts et les sous-buts de façon non liés au fonctionnement du dispositif (logique d'utilisation), ainsi que les fonctions à mettre en œuvre dans le dispositif (logique de fonctionnement). Selon ces auteurs, chercher constamment à se représenter le plus précisément possible ces éléments permettrait d'obtenir une description de ce qu'ils appellent le « savoir de l'utilisateur idéal ».

Les notions de logique de fonctionnement et de logique d'utilisation sont empruntées aux travaux de Richard (1983) et de Churchill (1992), et reprises par Rabardel (1995). Ces deux logiques correspondent à deux modes d'exposition des connaissances concernant un artefact. Dans le premier cas, la logique de fonctionnement concerne la description de l'artefact en tant qu'objet technique, la description de ses différents états, ainsi que des commandes et leurs effets sur les transformations des états. Cette logique tend à fournir un modèle du fonctionnement de l'artefact à l'utilisateur lui permettant d'en déduire des règles de fonctionnement appropriées. Cette approche relève du registre épistémique et permet de guider l'attribution de fonctions à l'artefact par l'utilisateur, autrement dit de guider l'instrumentalisation de l'artefact dans la genèse instrumentale.

Dans le second cas, la logique d'utilisation concerne des « *résultats correspondant à des objectifs d'action qui aient un sens en dehors du dispositif et qui puissent être envisagés comme sous-buts dans une tâche complexe* » (Richard, 1983, p.45). Dans ce cas, le but est de fournir à l'utilisateur un modèle d'utilisation du dispositif lui permettant d'élaborer des règles d'utilisation appropriées, et en adéquation avec le modèle de fonctionnement. Cette fois-ci, l'approche relève du registre pragmatique et permet de guider a priori l'instrumentation du sujet dans la genèse instrumentale. Richard ajoute que les règles d'utilisation peuvent être difficiles à déduire à partir de la seule connaissance des règles de fonctionnement, surtout lorsque des commandes peuvent avoir plusieurs effets différents selon le contexte (par exemple, la pédale de frein peut être utilisée pour freiner ou pour désactiver le régulateur de vitesse). Dans ce cas, la difficulté réside dans l'obtention d'un résultat correspondant à un objectif d'action faisant appel à différentes règles de fonctionnement devant coexister en mémoire et dont le choix dépend des déductions faites par l'utilisateur selon le contexte (Richard, 1983).

Les travaux expérimentaux présentés par Churchill en 1992, montrent que les utilisateurs ont toujours tendance à élaborer des représentations du fonctionnement des artefacts quelle que soit la logique de présentation des connaissances auxquelles ils ont eu accès. Ce constat a également été fait par Samurçay et Rogalski (1998, p.10-11), qui précisent que « *les sujets acquièrent d'abord des connaissances sur les propriétés et le fonctionnement des systèmes de contrôle/commande simples* » et que « *la construction de connaissances profondes sur le fonctionnement du processus et sur les relations de causalité qui déterminent des compétences de contrôle (diagnostic/anticipation/action) se fait dans la durée* ». Les deux logiques de présentation des connaissances semblent donc être complémentaires en intervenant sur des temporalités différentes lors de l'apprentissage de l'usage d'un artefact.

5.2. EIAH : Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain

À partir du constat fait par Bisseret (1995, in Vadcard & Luengo, 2005) selon lequel, d'une part la formation théorique serait trop éloignée des problèmes rencontrés en situation, et d'autre part les situations « réelles » ou « écologiques » ne seraient pas toujours adaptées à l'apprentissage (manque de temps provoquant une charge mentale trop importante pour allouer les ressources cognitives nécessaires à l'apprentissage, etc.), les travaux sur les EIAH (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain) tentent depuis plus de 20 ans d'apporter des solutions pour réduire l'écart entre la formation « théorique » et la formation « pratique ».

Tchounikine (2002, p.4), pionnier dans ce domaine de recherche, donne la définition suivante : « *Un EIAH au sens large est un environnement qui intègre des agents humains (e.g. élève ou enseignant) et artificiels (i.e., informatiques) et leur offre des conditions d'interactions, localement ou à travers les réseaux informatiques, ainsi que des conditions d'accès à des ressources formatives (humaines et/ou médiatisées) locales ou distribuées* ». En d'autres termes, il s'agit d'un environnement informatique qui porte avec lui une intention didactique, dont l'objectif est de susciter ou d'accompagner un apprentissage. Ce domaine de recherche se différencie des travaux issus des recherches en éducation en mettant la problématique de la conception d'artefacts informatiques spécifiques au cœur des recherches. Le principal défi de la conception d'un EIAH réside dans la définition de propriétés de l'artefact informatique permettant de produire des situations pédagogiques et/ou de proposer des conceptualisations spécifiques au domaine d'apprentissage (Tchounikine, 2004).

L'environnement informatique que constitue l'EIAH doit permettre à l'apprenant de mobiliser ou d'élaborer des connaissances en autorisant la pragmatisme des concepts théoriques et

prescriptifs de l'action avant leur mise en situation (Tchounikine, 2002). Cela signifie que l'apprenant doit être capable de transformer des concepts théoriques en concepts pragmatiques mobilisables en situation. Cette intention didactique peut se retrouver dans l'artefact informatique lui-même, ou au niveau de l'organisation de l'environnement d'apprentissage dans lequel il s'inscrit. Ainsi, l'évaluation d'un EIAH doit donc passer par une évaluation du logiciel, mais également par une évaluation des apprentissages qu'il a permis.

La conception d'un EIAH nécessite de prendre en compte différents modèles à articuler les uns avec les autres, à commencer par un modèle des connaissances. Ce modèle doit porter à la fois sur les connaissances du domaine d'apprentissage¹⁵, sur la résolution de problème, et sur l'apprenant (profil, niveau, comportement, etc.). Il faut également prendre en compte un modèle des actions possibles de l'apprenant et des rétroactions de l'environnement. Ce modèle concerne les interactions entre l'EIAH et l'apprenant qui peuvent être de différentes natures (interaction didactique, dialogue tutoriel, spécificités des interfaces), et doivent pouvoir être contrôlées soit par le système, soit par l'enseignant, soit par l'apprenant. Enfin, la prise en compte d'un modèle de communication médiatisée (entre apprenant et artefact, apprenant et enseignant, ou entre apprenants eux-mêmes), doit permettre la médiation des actions et des communications, ainsi que la perception et l'interprétation de ces actions et des interactions communicatives (Tchounikine, 2002).

Selon Jean-Daubias (2004), les projets de conception d'EIAH sont des projets intrinsèquement pluridisciplinaires en ce sens qu'ils mobilisent à la fois des informaticiens, des experts ou chercheurs en sciences de l'éducation, ainsi que des enseignants et des apprenants en tant qu'utilisateurs finaux de ces EIAH. En effet, ces artefacts informatiques doivent être utilisables et adaptés aux utilisateurs et à leurs besoins, mais également au milieu dans lequel ils évoluent. Balacheff (2002) souligne que l'utilisateur d'un EIAH en tant qu'apprenant est « sous le contrôle de la machine et non l'inverse », car il demeure sous la tutelle du système, identifié comme un « connaisseur de référence » qui lui permet une évolution de ses connaissances (volontairement ou pas). Le domaine des EIAH concerne principalement les acquisitions qui relèvent du domaine scolaire caractérisé par le fait que le corps des « savoirs à acquérir » est bien identifié, contrairement à l'apprentissage que nous cherchons à accompagner par ce travail de thèse : apprendre à utiliser un véhicule automatisé. En effet, l'apprentissage que nous visons nécessite d'identifier des savoirs de référence (Rogalski, 2004 ; Vidal-Gomel, 2021) grâce à l'analyse de l'activité préalable à la conception d'un outil didactique quel qu'il soit. Néanmoins, les apports du domaine des EIAH

¹⁵ Un EIAH peut avoir une intention didactique simplement par la nature des interactions qu'il permet et des activités qu'il supporte sans forcément embarquer des connaissances du domaine enseigné.

sont intéressants en ce qui concerne la méthode de conception, en particulier pour penser l'organisation de l'environnement d'apprentissage.

5.3. La conception d'artefacts pour l'apprentissage médiatisé : un point de vue reposant conjointement sur des approches Piagétienne et les Théories de l'activité

Pour Rabardel et Samurçay (2006), l'apprentissage est toujours médiatisé à la fois par des humains et des artefacts. L'activité a deux volets : un volet productif et un volet constructif. Ce dernier participe au développement des ressources externes (matérielles) et internes du sujet. Les ressources internes sont des ressources psychologiques qui comprennent les compétences et conceptualisations développées à partir de, et pour, l'activité productive, autrement dit pour ce qui nous concerne la genèse instrumentale. L'apprentissage peut constituer l'objet de l'activité du sujet, ou en être une conséquence, et l'artefact en est le médiateur. Ses caractéristiques peuvent devenir des contraintes pour l'activité, mais aussi des ressources. Elles peuvent ouvrir le champ des possibles. Cet ensemble contribue à la réorganisation de l'activité du sujet par les artefacts (Rabardel, 1995, 1999).

Pour le sujet, cette réorganisation intervient d'abord dans ses actions en situation pour lesquelles il doit prendre en compte la gestion des contraintes imposées par l'artefact médiateur : les contraintes liées aux propriétés de l'artefact en tant qu'objet technique, les contraintes liées aux objets sur lesquels l'artefact permet d'agir, et les contraintes liées aux transformations rendues possibles par l'artefact. Cela nécessite le développement des compétences du sujet à partir de la compréhension des propriétés de l'artefact médiateur (propriétés techniques, fonctionnement, domaine d'usage, etc.), et de l'utilisation de ce dernier via la pratique de l'interface (Rabardel & Samurçay, 2006).

Dans un second temps, l'ouverture du champ des possibles participe à la réorganisation de l'activité du sujet au niveau de sa gestion des situations, et plus précisément au niveau du diagnostic, du pronostic et de la prise de décision. Le sujet est amené à mieux considérer et anticiper les conséquences de ses actions, et des phénomènes observés, sur le déroulement de l'activité médiatisée, pour envisager des actions ou prévoir des buts de surveillance spécifiques. Par exemple, dans le cas d'un artefact destiné à une conduite de processus particulier (la conduite d'un haut-fourneau), dont l'interface a été constituée à partir de l'analyse de l'activité des opérateurs mettant en évidence des stratégies d'anticipation à long terme et de pondérations dans les règles d'action, l'appropriation de l'artefact a conduit à un développement des conceptualisations du sujet concernant « *d'une part, la mise en relation des composantes du modèle causal, d'autre part, l'appropriation du réseau de concepts* »

(Rabardel & Samurçay, 2006, p.8). Dans l'exemple de la conduite de hauts-fourneaux, ce que les auteurs appellent « l'appropriation du réseau de concepts » signifie l'élaboration de relations de causalité entre différentes variables cruciales du processus à contrôler, dans certains cas ces variables réfèrent à des concepts pragmatiques en jeu dans l'activité.

Dans son ouvrage « Les Hommes et les Technologies » (1995), Rabardel dédie le dernier chapitre à la construction des situations favorisant le développement des compétences. Dans ce chapitre, il situe son propos autour des conceptions d'instruments dont l'objectif principal est de favoriser l'acquisition de compétences via la construction et la manipulation de conceptualisations. Il cite justement les travaux de Samurçay (1994) concernant l'élaboration d'un outil visant à aider la conduite des hauts-fourneaux à partir de l'analyse des processus en jeu dans cette activité et dans le fonctionnement de ces systèmes. Au-delà de l'aide à la conduite, ces travaux ont montré l'importance de structurer de tels outils d'aide en s'appuyant sur l'activité et les savoirs de référence pour en faire des médiateurs de l'apprentissage et du développement des compétences à la conduite de ces processus.

Selon Rabardel et Samurçay (2006), dans le champ de la conduite de processus, le développement des compétences du sujet doit alors être considéré pour les quatre dimensions de l'activité : (1) la planification (diagnostic, pronostic et prise de décision), (2) la dimension temporelle (maîtrise de la dynamique des situations, des actions et du fonctionnement de l'artefact pour décider quand intervenir, et gestion des ressources personnelles et collectives dans le temps), (3) la coopération (coordination de sa propre activité avec celle des autres ou de l'automate, division des tâches et allocation des rôles), et (4) le travail en interaction avec des outils (procédures, régulations automatiques, système de contrôle/commande).

Pour conclure cette section, il est important de considérer les trois niveaux dans la conception des artefacts (Wartofsky, 1983, in Rabardel & Samurçay, 2001), contribuant chacun au développement de l'apprentissage d'activités médiatisés par les instruments. Le premier niveau concerne les artefacts primaires en tant qu'objets techniques, matériels ou virtuels (ordinateurs, robots, interfaces, simulateurs, mais aussi les traces de l'activité). Le deuxième niveau prend en compte les artefacts symboliques tels que les schèmes sociaux d'utilisation et les concepts pragmatiques, qui eux-mêmes englobent des représentations des artefacts primaires et de leurs modes d'action. Les schèmes sociaux d'utilisation sont particulièrement intéressants lorsqu'ils sont pris dans une perspective d'éducation et d'apprentissage car ils proviennent à la fois des utilisateurs et des concepteurs des artefacts. Ils intègrent donc par essence des processus de transmission sociaux à prendre en compte dans la conception d'artefacts pour l'apprentissage médiatisé. Enfin, le troisième niveau fait référence aux

artefacts étant conçus spécifiquement pour le développement cognitif et social des utilisateurs, en particulier pour des apprentissages incluant des simulations de situations d'activité et des méthodes réflexives d'auto-analyse (favorisant les médiations réflexives des sujets).

5.4. Les systèmes d'instruments et l'Orchestration instrumentale

L'approche instrumentale offre une perspective complémentaire pour appréhender la conception d'artefact avec une visée d'apprentissage.

5.4.1. Les systèmes d'instruments et les systèmes d'artefacts

Pour expliquer la notion de système d'instruments, nous devons d'abord définir ce qu'est un système. Dans sa thèse publiée en 2006, Bourmaud liste huit principes définissant les systèmes complexes sur la base des travaux en sociologie de Morin et Le Moigne (1999), Lugan (1996) et Durand (2002) :

- Principe 1 : Un système est un ensemble constitué de plusieurs éléments en interaction.
- Principe 2 : L'organisation des systèmes est régit par un processus d'emboîtement (un système peut lui-même faire partie d'un système plus large).
- Principe 3 : Un système peut être bien plus que la somme des éléments qui le composent (concept d'émergence¹⁶).
- Principe 4 : Un système peut être moins que les éléments qui le composent (concept de contraintes¹⁷).
- Principe 5 : Un élément du système pris isolément est moins que lorsqu'il est pris avec le système.
- Principe 6 : Un système est une organisation justement équilibrée entre complémentarités et antagonismes des éléments qui le composent.
- Principe 7 : Un système est évolutif car il peut se transformer soit par le renforcement des liaisons entre les éléments (intégration), soit par leur affaiblissement (désagrégation).
- Principe 8 : Un système tend à assurer sa propre conservation.

¹⁶ Morin explique ce concept comme « des qualités et des propriétés qui naissent de l'organisation d'un ensemble » (Morin et Le Moigne, 1999, p. 57).

¹⁷ Les qualités ou propriétés inhibées par l'organisation de l'ensemble, c'est-à-dire les restrictions ou contraintes sur les éléments qui composent le système, liées à la relation organisationnelle de ces derniers (Lugan, 1996).

Pour assurer la conservation et la pérennisation de ces principes, un système peut être caractérisé par des concepts fondamentaux, tels que l'interaction (relations entre les éléments : interdépendance, relation causale, rétroaction, etc.), la globalité (émergence de qualités et de propriétés qui s'ajoutent à la somme des éléments du système), l'organisation (en tant qu'état : agencement des éléments ; et processus : organisation des relations), et la complexité (notion logique admettant qu'il est difficile de saisir toute la richesse d'un tel système) (Bourmaud, op. cit.).

A partir de cette approche des systèmes et sur la base de travaux de Lefort (1982), Rabardel (1995) a développé la notion de système d'instruments. L'intérêt de la notion de système d'instruments est de souligner que les sujets disposent d'un ensemble de ressources. Un nouvel artefact mis à leur disposition doit prendre sa place dans cette sorte de « boîte à outils » : les instruments ont des fonctions redondantes et/ou complémentaires au sein desquelles le sujet vient puiser en fonction de son état, de ses besoins, de ses objectifs, et des caractéristiques des situations.

Cette notion a été reprise et développée dans plusieurs thèses (Minguy, 1995 ; Vidal-Gomel, 2001 ; Zanarelli, 2003 ; Bourmaud, 2006, p. 41). Une synthèse de ces travaux a conduit Bourmaud (op. cit.) à proposer une définition des caractéristiques des systèmes d'instruments en cinq points : « *un système d'instruments 1) organise de vastes ensembles d'instruments et de ressources de nature hétérogène ; 2) est lié aux objectifs de l'action poursuivis par le sujet et doit permettre l'atteinte d'un meilleur équilibre entre les objectifs d'économie et d'efficacité ; 3) présente comme caractéristiques des complémentarités et des redondances de fonctions (vicariance¹⁸) ; 4) est différent d'un opérateur à un autre et est structuré en fonction de son expérience et de ses compétences ; 5) dans un système d'instruments, un instrument joue un rôle particulier d'organisateur, de pivot¹⁹ pour les autres instruments* ».

Les systèmes d'instruments peuvent également s'emboîter les uns avec les autres, devenant alors les sous-systèmes d'un système d'instruments plus large. Bourmaud (op. cit.) explique que l'organisation de ces différents niveaux se confond généralement avec l'organisation du domaine d'activité du sujet. Le système d'instruments principal correspondant au domaine d'activité, les sous-systèmes d'instruments de premier niveau correspondant aux familles

¹⁸ Contribue à la robustesse du système et à la souplesse d'adaptabilité en fonction de la variabilité des situations.

¹⁹ Intègre les données de différentes sources, assure le traitement des données et infère des informations à partir de ces données. C'est l'instrument le plus utilisé quelle que soit la classe de situation en couvrant l'ensemble du domaine d'activité du sujet. Dans le cas d'un système d'instruments englobant plusieurs sous-systèmes, un de ces sous-systèmes peut alors être considéré comme pivot.

d'activité, et les sous-systèmes d'instruments de deuxième niveau correspondant aux classes de situations (idem).

Dans le domaine des EIAH, Pernin (2007) propose une schématisation de l'organisation des artefacts en systèmes d'artefacts à plusieurs niveaux, en fonction des environnements considérés (Figure 12).

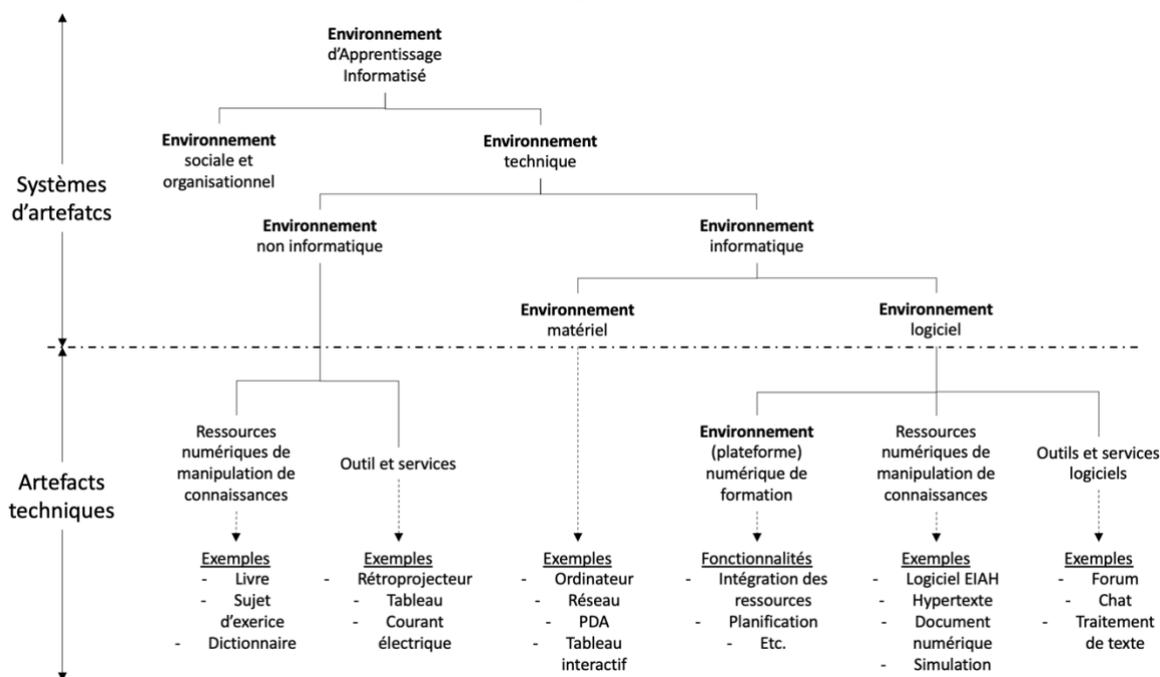


Figure 12 : Organisation des environnements et des artefacts (Pernin, 2007)

Cette schématisation montre qu'un ou plusieurs ensembles d'artefacts primaires peuvent former un environnement cohérent pour l'apprentissage (ou système d'artefacts) ayant ses propres caractéristiques (ex : Environnement matériel vs. Environnement logiciel). Plusieurs environnements peuvent alors se combiner pour former un environnement (ou système d'artefacts) de plus haut niveau (ex : Environnement informatique), et ainsi de suite jusqu'au niveau regroupant tous les artefacts à disposition du sujet dans son environnement d'apprentissage au sens large (ex : la salle de classe, voire l'établissement scolaire pour un écolier).

Nous pouvons remarquer que dans ce modèle, Pernin parle de systèmes d'artefacts et non de systèmes d'instruments. Cette distinction est nécessaire si l'on considère le cadre de l'approche instrumentale de Rabardel, dans laquelle un système d'instruments est défini comme résultant de la genèse instrumentale d'un système d'artefacts. En effet, Vidal-Gomel, Bourmaud, et Munoz (2015) ont analysé des situations de formation, dans lesquelles des professionnels engagés dans la formation de leurs collègues débutants ayant construit

antérieurement leurs propres systèmes d'instruments cherchent à le « transmettre » aux formés. Ils se retrouvent en réalité à proposer/prescrire des systèmes d'artefacts aux apprenants, à partir desquels ils devront eux-mêmes élaborer leurs propres systèmes d'instruments via un processus de genèse instrumentale. Les auteurs précisent que les systèmes d'artefacts ont pour objet d'encadrer et d'organiser l'activité du sujet en situation d'apprentissage, et que le degré de prescription est intimement lié au modèle de l'utilisateur qu'ont les concepteurs, notamment de leurs compétences et de leur besoin d'aide (dans la situation analysée il s'agit de formateurs-concepteurs).

Gomes et Munoz (2016) ont poursuivi ce type d'analyse. Ils relèvent que les systèmes d'artefacts prescrits ne s'intègrent pas toujours aux systèmes d'instruments déjà élaborés par l'utilisateur en raison de la diversité des classes de situations dans un même domaine d'activité. À partir de ce constat, ils tirent trois principes fondamentaux pour la conception des systèmes d'artefacts à visée d'apprentissage :

- « *Concevoir à partir des schèmes : la dimension sociale des schèmes, et les processus d'assimilation et d'accommodation, constituent des éléments importants à prendre en compte durant la conception, en amont du processus comme en aval* ».
- « *Concevoir à partir de l'instrumentalisation : une des solutions qui vient spontanément à l'esprit, face aux processus d'instrumentalisation, est de proposer des systèmes flexibles, que les utilisateurs pourront adapter à leurs besoins* ».
- « *Concevoir pour promouvoir les genèses instrumentales : imbrications entre des phases de conception institutionnelles et des phases de conception dans l'usage* ».

Ces travaux menés dans le domaine de l'éducation et de la formation rejoignent alors les recherches menées en ergonomie dans le champ de la conception (Rabardel, 1995, 1997 ; Bationo Tillon, Folcher, Bourmaud, & Decortis, 2021).

5.4.2. L'Orchestration instrumentale

La notion d'orchestration instrumentale a été introduite par Guin et Trouche en 2002, dans un ouvrage sur les calculatrices symboliques en tant qu'instruments dans le champ de la didactique des mathématiques. Dans cet ouvrage, les auteurs définissent une orchestration instrumentale comme « *la gestion didactique des artefacts d'un environnement informatisé d'apprentissage, pour le traitement d'une situation mathématique, dans l'objectif de socialiser, relativement, les genèses instrumentales et d'assister la constitution des systèmes d'instruments* ».

Cette première définition a ensuite évolué dans les travaux de Trouche (2003) : l'orchestration instrumentale devient « *l'agencement systématique par un agent intentionnel des éléments (artefacts et humains) d'un environnement en vue de mettre en œuvre une situation donnée* ». Autrement dit, l'objectif est de faire évoluer le système d'instruments des sujets dans une situation didactique, par l'équilibration de ce dernier en vue de guider les apprenants dans les genèses instrumentales. Dans ce cas, l'objectif est que ce processus d'appropriation soit guidé pour aller vers les apprentissages visés par l'enseignant. C'est aussi un moyen pour l'enseignant de s'approprier les ressources de l'environnement en considérant la situation didactique dans sa globalité, avec ses potentialités et ses contraintes. Pour les chercheurs, l'orchestration instrumentale est également un outil méthodologique d'analyse de l'activité des enseignants, et plus précisément de leurs stratégies didactiques (Gillet, Veyrac, & Fraysse, 2013).

En 2007, Trouche précise certaines notions importantes pour bien comprendre ce qu'est l'orchestration instrumentale. Il commence par définir ce qu'est un environnement informatisé pour l'apprentissage selon les travaux de Basque et Doré (1998). Selon ces auteurs, il s'agit d'un espace réel ou virtuel dans lequel évoluent des personnes et des artefacts informatiques permettant de supporter l'apprentissage. Trouche propose ensuite une définition de la notion de situation didactique tirée de Brousseau (1998), comme étant un problème nécessitant d'acquérir des connaissances spécifiques pour le comprendre et le résoudre. La notion d'agencement institutionnel et intentionnel est ensuite expliquée comme étant un agencement du système d'instruments nécessairement pensé a priori. L'auteur explique enfin que cet agencement est systématique car il est une composante d'un système qui permet la coordination et l'intégration du matériel et du logiciel didactique par le biais d'un « *scénario d'exploitation didactique* » dans un environnement et une situation donnés.

Cet agencement des artefacts de l'environnement se traduit dans les faits par des configurations didactiques pensées à partir de leurs modes d'exploitation et de leur articulation, et ayant deux niveaux d'objectifs : les objectifs principaux qui correspondent à la nécessité d'une telle configuration (les apprentissages médiatisés par les instruments), et les objectifs secondaires correspondant aux modes d'exploitation privilégiés (situations et environnements d'apprentissage). Trouche (2003, 2007) identifie trois niveaux de configurations didactiques pouvant se combiner, en référence aux trois niveaux d'artefacts de Wartofsky (1983) présentés dans la section 5.3. La conception d'artefacts pour l'apprentissage médiatisé de ce document. Le premier niveau de configuration correspond donc aux artefacts primaires en tant qu'objets techniques, matériels ou virtuels, et à la façon dont ils sont communément sollicités (par exemple un véhicule pouvant être conduit

manuellement). Le deuxième niveau correspond aux représentations, ainsi qu'aux modes d'action et d'utilisation des artefacts primaires. Autrement dit, il mobilise les artefacts symboliques comme les schèmes sociaux d'utilisation et les concepts pragmatiques (par exemple savoir accélérer et freiner en fonction du trafic, savoir passer les vitesses quand il le faut, etc.). Enfin, le troisième niveau, plus méta, correspond au développement socio-cognitif du sujet à travers sa relation avec les artefacts, grâce à la mobilisation d'autres artefacts conçus spécifiquement pour le développement de l'apprenant (par exemple un simulateur de conduite permettant à l'apprenant de s'entraîner). L'objectif étant de favoriser les médiations réflexives du sujet, notamment via la simulation et/ou des méthodes réflexives d'auto-analyse, en lui fournissant des traces de son activité et en l'incitant à y réfléchir.

Pour finir, deux paramètres sont à prendre en compte dans la définition d'une orchestration instrumentale selon Trouche (2007). Le premier, comme nous venons de l'évoquer pour le troisième niveau de configuration didactique, concerne le besoin d'obtenir des traces de l'activité du sujet qui soient observables par d'autres personnes. Le second concerne la présence d'une flexibilité et d'une souplesse de l'orchestration permettant d'assister les usages existants et d'en intégrer de nouveaux via l'accompagnement des genèses instrumentales de l'apprenant.

5.5. Situations de simulation et apprentissage

Pour garantir une certaine efficacité de l'action, Vergnaud (2002) souligne l'aspect essentiel de la prise d'information et du contrôle (contrôle des perceptions, des informations et de l'action). Vygotsky (1934) parle, quant à lui, du niveau de « *conscience-avant* » qui permet de réaliser l'action et de conditionner la réussite, et de niveau de « *conscience-après* » permettant « *de revenir sur les raisons de la réussite et de l'échec et qui conditionne la stabilisation et l'explicitation des connaissances* » (Vergnaud, 2002, p.17). Deux types de processus cognitifs permettent à la conscience d'accéder aux activités passées dans le but de structurer les activités futures. D'abord, la simulation permet d'engendrer des modèles internes de la réalité, ensuite l'examen (ou le test) permet de vérifier leur concordance avec la réalité (Changeux, 2002). Nous comprenons ainsi l'intérêt d'accompagner ces processus cognitifs pour favoriser l'apprentissage par le biais de méthodes didactiques analogues.

5.5.1. La simulation pour l'apprentissage

La simulation est particulièrement utile lorsqu'il s'agit d'étudier ou apprendre des activités impliquant des situations à risques, des environnements dynamiques, ou des systèmes techniques et organisationnels complexes. En effet, la manipulation des variables en situation réelle est extrêmement difficile dans ce type d'activités, et les conséquences des actions difficilement prévisibles (Samurçay & Rogalski, 1998). L'utilisation de la simulation est également très utile quand elle est prise comme un outil d'apprentissage des compétences. Selon Pastré, Mayen, et Vergnaud (2006, p.43), « *Une simulation est une démarche d'apprentissage, qui met en scène, grâce à un objet, le simulateur, des situations qui vont servir à l'acquisition des compétences professionnelles mobilisées dans l'activité* ».

L'utilisation de la simulation est un moyen de mettre en scène un modèle d'environnement, un modèle d'artefact médiateur (généralement représenté par le simulateur), et un modèle de situations de référence de l'activité à travers des scénarios pensés et conçus à priori (Samurçay, 2005). Une simulation est constituée par une composante physique (technique ou matérielle) et une composante didactique. La première s'appuie sur le domaine d'activité et sur les situations de référence retenues, alors que la seconde concerne le modèle de compétences visées et sa construction (modalités et médiations nécessaires). Cela nécessite de rendre observables et manipulables les objets conçus à partir des objets perçus (l'environnement à gérer), notamment via les systèmes de contrôle/commande (systèmes matériels de médiation), pour favoriser la conceptualisation de l'utilisateur (Samurçay, 2005 ; Samurçay & Rogalski, 1998).

Un des intérêts de la simulation est de permettre de choisir les caractéristiques des situations auxquelles le sujet est confronté. Le choix didactique des situations les plus intéressantes pour l'apprentissage permet une certaine modularité du degré d'analogie avec la réalité. Ces choix didactiques sont basés sur les caractéristiques des apprenants, les modalités d'acquisition des compétences visées, et les modalités tutoriels (Audran, 2016 ; Rabardel & Samurçay, 2006 ; Vidal-Gomel & Fauquet-Alekhine, 2016).

Pour l'apprenant, l'activité d'apprentissage en situation de simulation revêt un caractère productif, en ce sens que le sujet doit gérer une situation-problème simulée. D'un autre côté, elle revêt également un caractère constructif tourné vers le sujet, car en gérant la situation-problème ce dernier élabore de nouvelles représentations et de nouveaux schèmes. Ce caractère constructif est également tourné vers l'artefact qui se construit en tant qu'instrument (Rabardel & Samurçay, 2006). Enfin, de par les feedbacks produits par la simulation, le sujet est également amené à avoir une activité réflexive favorisant le développement de méta-

connaissances (activités réflexives pouvant avoir lieu pendant le traitement de la situation mais surtout après-coup dans les phases de *debriefing* ; Pastré, 1999 ; Vidal-Gomel & Fauquet-Alekhine, 2016). En rendant possible ces trois types d'activité pour l'apprenant, nous pouvons admettre que la simulation impacte non seulement les processus intellectuels du sujet, mais elle permet aussi une immersion de « l'être tout entier » (Audran, 2016). Cette dernière caractéristique est particulièrement intéressante pour la construction de certaines dimensions de compétences nécessitant que les situations de formation aient une visée pragmatique. C'est le cas, par exemple, pour les compétences liées à la gestion des risques et du stress en temps réel, à la gestion dynamique d'activité collective, ou encore à la sensibilité aux variables perceptivo-motrices (Samurçay & Rogalski, 1998). En effet, Samurçay et Rogalski (1998) précisent que même si la plupart des connaissances peuvent être construites « *dans des formations à visée épistémique, (...) leur opérationnalisation et leur intégration dans des organisations d'activités efficaces ne peuvent se faire qu'à travers des situations d'action* ».

Le cadre proposé par Samurçay (2005) suggère de considérer, traiter et articuler trois aspects de l'apprentissage en situation de simulation. Le premier aspect concerne le simulateur en tant qu'artefact, le deuxième s'attarde sur les situations simulées en tant que situations conçues spécifiquement pour l'entraînement, et le troisième fait référence aux situations de simulation évoluant avec l'activité des formateurs et des apprenants. Ce dernier aspect peut être décrit en trois temps (Pastré, 2007 ; in Vidal-Gomel & Fauquet-Alekhine, 2016) : (1) le briefing avant la séance permet au sujet d'acquérir les connaissances opérationnelles nécessaires et déterminantes pour la bonne réalisation des scénarios de simulation, (2) la séance en simulateur permet de mettre en pratique les connaissances acquises dans la première phase, et (3) le débriefing permet de considérer les erreurs comme des leviers du développement via un système d'évaluation de l'apprenant identifiant les points d'amélioration possibles. Cette phase de la simulation est un levier important pour favoriser les activités réflexives (Pastré, 1999).

Concernant la question du simulateur, ce dernier est décrit par Vidal-Gomel et Fauquet-Alekhine (2016) comme un artefact qui simule partiellement ou complètement le comportement d'un système technique ou d'un phénomène naturel à partir d'un modèle de l'artefact simulé et éventuellement de son environnement extérieur. Il dispose d'interfaces permettant l'interaction avec l'apprenant et potentiellement d'interfaces destinées au formateur. Les caractéristiques du simulateur jouent un rôle important dans le choix des situations simulées. Dans le cadre de cette thèse, nous nous intéresserons à un type de simulateur en particulier, à savoir les simulateurs « *full-scale* » qui reproduisent entièrement

l'environnement IHM d'une activité, aussi bien techniquement que perceptivement (visuel, auditif, tactile). Cependant, un certain nombre de travaux menés sur les simulateurs ont démontré que le degré de fidélité de ces derniers n'était pas nécessairement corrélé à la qualité de l'apprentissage recherchée (Samurçay & Rogalski, 1998 ; Nyssen, 2005 ; Patrick, 1992 ; Bonavia, 2016 ; Fauquet-Alekhine, 2011 ; Fauquet-Alekhine & Boucherand, 2015). C'est pour cette raison que ce sont les caractéristiques des situations didactiques qui sont les plus importantes à considérer lorsqu'un apprentissage en simulation est envisagé (Samurçay & Rogalski, 1998). Les situations simulées sont le résultat de la transposition didactique de ce que Samurçay et Rogalski (1998) appellent les « situations de référence ». Il s'agit de la classe de situations correspondant à la cible du développement des compétences, autrement dit les situations que les apprenants sont censés être capables de gérer à l'issue de l'entraînement (Vidal-Gomel & Fauquet-Alekhine, 2016). La pertinence et la validité de ces situations sont donc cruciales, aussi bien que la validité des acquis qui sont fonction des caractéristiques des situations de références qui ont été conservées ou non dans la transposition (Rogalski, 1995). L'objectif de cette transposition est de contrôler les objets de l'activité pour guider l'acquisition de connaissances et les composantes de la compétence-cible, mais aussi de gérer le niveau de complexité pour l'apprenant (Samurçay & Rogalski, 1998). Le processus de transposition peut être constitué par différents types de transformations des situations de références réelles en fonction des apprentissages visés. Samurçay et Rogalski (1998 ; in Vidal-Gomel & Fauquet-Alekhine, 2016) distinguent trois types de transformations indépendantes mais pouvant se superposer : la division en buts et sous-but de la tâche, la sélection de variables pertinentes pour l'apprentissage, et le focus sur les relations entre les variables. Le choix du type de transformations, et plus généralement le processus de transposition, doivent être le plus pertinent possible au regard de l'objectif d'apprentissage. Une autre dimension importante de la transposition concerne le découpage « *partie-tout* » des scénarios conçus, qui permet de décomposer la complexité des situations de référence. Ce découpage est essentiel si l'on veut permettre à l'apprenant de maîtriser la globalité des situations en apprenant d'abord à en maîtriser les différents aspects indépendamment. Cette fois-ci le découpage peut se faire par système/sous-système (dans le cas de systèmes complexes), par tâches/sous-tâches, ou par catégories de données/processus à manipuler (Samurçay & Rogalski, 1998).

Ces transformations et découpages des situations de référence, à la base de la transposition didactique en situations simulées pour l'apprentissage peuvent être multiples et s'articuler les uns avec les autres pour servir l'apprentissage comme le montrent Frederiksen et White (1989 ; in Samurçay & Rogalski, 1998). En effet, les auteurs ont décomposé les situations de référence en deux axes : le premier basé sur des stratégies expertes pour réussir la tâche, et

le second basé sur la nature des habiletés à acquérir par les apprenants. Ils ont ainsi permis aux apprenants d'appréhender la complexité de la tâche globale tout en focalisant l'apprentissage sur les connaissances à acquérir et les compétences à développer. Ces travaux ont montré que cette décomposition des situations de référence permettait un meilleur transfert à des tâches similaires, et donc était plus efficace qu'un apprentissage global de la tâche. Néanmoins, les résultats de cette étude ont également montré que les découpages des situations n'ont pas été opérationnels.

5.5.2. Rétroactions et méthodes réflexive d'auto-analyse

La question des rétroactions de l'environnement d'apprentissage a été soulevée par différents courants théoriques. Dans le domaine des EIAH, l'artefact informatique d'aide à l'apprentissage doit fournir des rétroactions en réponse aux actions de l'apprenant. La pertinence de ces rétroactions dépend alors du modèle des connaissances du domaine et permet de valider la résolution du problème proposée par l'apprenant (Vadcard & Luengo, 2005). Cela nécessite que le dispositif soit capable d'enregistrer et d'analyser les traces de l'activité du sujet, et d'établir un diagnostic pour choisir la rétroaction la plus adaptée (Vadcard & Luengo, 2005). Enfin, les rétroactions contribuent au développement des méta-connaissances de l'apprenant (Lemercier, et al., 2001), et sont donc essentielles pour l'aider à identifier ses lacunes afin de concentrer son attention sur l'apprentissage des connaissances qu'il ne maîtrise pas (Dessus, 2021b).

Du côté des orchestrations instrumentales, nous avons déjà vu dans la section 5.4.2. de ce chapitre que le troisième niveau de configuration didactique des systèmes d'instruments correspond aux dispositifs servant le développement de l'apprenant par le biais de simulations et/ou de méthodes réflexives d'auto-analyse (Wartofsky, 1983 ; Trouche 2007). Ces méthodes réflexives d'auto-analyse favorisent les médiations réflexives du sujet en lui fournissant directement les traces de son activité instrumentée, et en lui permettant de réfléchir à celle-ci (Trouche, 2007). La prise de conscience des différences entre l'activité réelle et la représentation qu'en a l'apprenant est la clé d'une réflexion profonde sur son apprentissage (Trouche, 2003).

Par ailleurs, les travaux de neurosciences accordent une place importante à l'erreur et à son statut dans l'apprentissage. Elle est considérée comme un résultat à part entière, au même titre que la réussite, et est une source de déstabilisation permettant de faire progresser la pensée, sous réserve d'être conscientisée et acceptée comme telle (Favre, 1995). Les feedbacks de l'environnement d'apprentissage doivent permettre à l'apprenant de

reconnaître, identifier, et catégoriser ses erreurs. Selon Dehaene (2018), l'erreur, et plus particulièrement le retour sur l'erreur, est un des quatre piliers de l'apprentissage. Il constitue une source d'information sur ce qui a été compris ou non, et permet à l'apprenant de vérifier son modèle mental et de le mettre à jour si nécessaire. Ainsi, plus le retour sur l'erreur est proche dans le temps de l'erreur elle-même, plus l'action corrective sera efficace et intégrée de manière pérenne. Houdé (2007, 2018a, 2018b) précise que les erreurs ne proviennent pas toujours d'un manque de connaissances, ou de représentations erronées, mais sont également le résultat d'un manque d'inhibition de stratégies inadaptées. Les erreurs laissent donc le champ libre aux adaptations et sont constitutives du développement cognitif des individus. Les simulations et les rétroactions sont donc fondamentales pour permettre à l'apprenant de faire des erreurs et d'apprendre des conséquences de ces dernières, en induisant un transfert d'apprentissage plus important. Cela est d'autant plus vrai dans le cas de l'apprentissage d'activités à risques ou en situations dynamiques pour assurer la sécurité des apprenants (Keith & Frese, 2008).

Les simulations sont un moyen efficace de conserver des traces de l'activité des apprenants par rapport à d'autres types de formations (immersion, alternance, etc.) dans lesquelles seuls les souvenirs des apprenants restent. Pastré (1999) suggère de mettre en place des formations articulant l'apprentissage par l'exercice et l'apprentissage par l'analyse de l'activité basée sur ces traces. La seconde proposition prend place lors d'une séance de *debriefing* durant laquelle l'instructeur/formateur peut analyser chaque épisode de l'activité avec l'apprenant. Pour l'apprenant, cet exercice s'apparente à une activité réflexive lui permettant l'abstraction et la capitalisation de connaissances techniques et opérationnelles au moment même où elles se construisent (Mollo & Falzon, 2004). Les *debriefings* peuvent alors prendre la forme d'entretiens d'auto-confrontation réalisés avec des supports audio-vidéo (ou d'autres formes de traces de l'activité) permettant à l'apprenant de prendre conscience des procédures qu'il emploie pour réaliser ses tâches et atteindre ses buts (Mollo & Falzon, 2004). La description de ses activités permet aussi à l'apprenant de clarifier ses procédures et comprendre les processus cognitifs sous-jacents qui ne sont pas toujours conscients, mais qui peuvent le devenir grâce à cette procédure d'externalisation (Mollo & Falzon, 2004). Enfin, le *debriefing* joue un rôle institutionnel dans le sens où il permet de rendre publiques des connaissances élaborées de manière privée, avec ou non la validation des pairs et/ou de l'instructeur/formateur (Pastré, 1999).

5.6. Conclusion du chapitre, hypothèses de conception et validité écologique

Parmi les modèles théoriques évoqués dans ce chapitre, nous avons constaté que certains pouvaient nous permettre de transformer les données recueillies dans nos deux premières études en contenu pédagogique adapté pour l'apprentissage de la conduite automatisée, à partir de notre modèle de l'utilisateur et de notre modèle d'utilisation du véhicule automatisé. D'autres modèles théoriques étaient plus adaptés pour nous guider dans la conception de notre outil didactique en tant que dispositif pour l'apprentissage instrumenté. Nous avons donc élaboré deux hypothèses de conception, l'une orientée sur la conception du contenu pédagogique, et l'autre sur la conception de l'outil didactique.

Nous avons d'abord pensé que le contenu pédagogique devait concerner au moins les deux premiers niveaux de la matrice GDE²⁰ (Boccaro, 2011), en étant exposé d'une part en suivant une logique de fonctionnement, et d'autre part en suivant une logique d'utilisation basée sur un choix de situations didactiques pertinentes. Ensuite, nous pensions qu'en fournissant un modèle de fonctionnement du véhicule automatisé, le conducteur pourrait développer une représentation appropriée du fonctionnement du système, et en fournissant un modèle d'utilisation, il pourrait élaborer une bonne représentation de l'utilisation de ce système. Cela aurait pour effet d'accompagner la réorganisation de l'activité du sujet dans sa gestion des situations en prenant en compte la gestion des contraintes imposées par les artefacts médiateurs, et par le développement des conceptualisations du sujet. L'objectif étant de préparer les conducteurs dans les genèses instrumentales avec le véhicule automatisé, par l'attribution de nouvelles fonctions aux artefacts constituant le véhicule (instrumentalisation), puis en préparant la transformation ou l'inhibition des schèmes de la conduite traditionnelle (instrumentation).

Concernant la conception de l'outil didactique l'idée était de solliciter un modèle des connaissances du domaine d'activité et de l'apprenant, élaborés à partir d'un recueil de données préalable. L'idée était également de solliciter un modèle des actions possibles de l'apprenant et des rétroactions de l'environnement, ainsi qu'un modèle de communication médiatisé à partir de l'environnement d'apprentissage : l'habitacle du véhicule automatisé. En mobilisant l'ensemble d'artefacts disponibles dans cet environnement, nous pensions pouvoir proposer et orchestrer un système d'artefacts pour l'apprentissage, dans lequel intégrer notre outil didactique, en tant qu'EIAH. Cet outil didactique était alors pivot du système d'artefacts principale, en embarquant avec lui un sous-système d'artefacts spécifiquement conçus pour

²⁰ Le niveau 1 étant relatif à la maîtrise instrumentale du véhicule, et le niveau 2 à la maîtrise des situations de conduite.

l'apprentissage des conducteurs. Plusieurs niveaux de configurations didactiques étaient alors nécessaires : configuration des artefacts primaires disponibles dans l'environnement d'apprentissage, configuration de leurs modes d'action et d'utilisation, et configuration des relations du sujet aux artefacts permettant son développement. Ce dernier niveau pouvait alors intégrer des situations de simulation et des méthodes réflexives d'auto-analyse favorisant le développement des méta-connaissances des apprenants, notamment en leur donnant l'opportunité de commettre des erreurs et de les corriger avant l'activité en situation réelle.

Pour conclure, nous pensons qu'il est primordial de consacrer une place importante à la validité écologique d'un processus de conception. Nous pouvons définir la validité comme étant le critère permettant de généraliser les conclusions d'une étude ou d'un processus de conception (ce qui nous intéresse ici) à une population, ou un ensemble de situations plus large. La dimension écologique prend en compte le transfert de ces résultats d'une situation expérimentale à des situations réelles, ou « naturelles », d'activité (Hoc, 2001). Cela suppose d'avoir une certaine connaissance de ces situations « naturelles », en passant notamment par une validité empirique préalable permettant d'aller au-delà de la simple représentation des utilisateurs, pour s'assurer de la cohérence de la généralisation des résultats. Les situations naturelles sont donc des buts que les concepteurs cherchent à atteindre en appliquant une méthodologie adaptée. Cette méthodologie doit alors comporter une phase d'analyse de l'activité des utilisateurs finaux pour identifier les caractéristiques des situations naturelles d'activité visées par les concepteurs, dans une relation tripolaire comprenant également le sujet de l'activité et sa tâche (Hoc, 1988). L'objectif étant aussi d'identifier les principales compétences utilisées par le sujet dans les situations naturelles de son activité (Hoc, 2001). Hoc (2001) identifie cinq caractéristiques à prendre en compte pour la validité écologique :

- Un niveau d'abstraction optimal dans la définition de l'objet de la recherche (ou conception).
- Une analyse du domaine d'activité, des tâches à réaliser, et des comportements qui délimitent les contraintes du domaine d'activité à prendre en compte pour la conception.
- Une analyse des compétences des sujets en lien avec le domaine d'activité.
- Une connaissance des liens existants entre les processus cognitifs en situations naturelles et les buts des actions.
- Une méthode conçue pour ne pas dénaturer l'activité étudiée.

Le lien entre les situations expérimentales, ou artificielles, engendrées par le processus de conception (par transformation des situations naturelles étudiées préalablement) et les situations naturelles visées, nécessite une évaluation a posteriori du résultat de la conception.

En effet, s'assurer de la validité écologique ne permet pas de garantir la pertinence de la conception, notamment lorsqu'il s'agit de concevoir pour des situations d'activité futures (Hoc, 2001). L'enjeu est donc d'identifier des invariants et des différences entre situations expérimentales et situations réelles d'activité pour s'assurer de la représentativité des premières, vis-à-vis des secondes, et donc de la validité écologique de la conception (Hoc, 2001). Une telle évaluation peut s'effectuer par le prisme de la simulation lorsque les observations en situations réelles sont impossibles (sécurité, rareté, imprévisibilité, etc.). Leplat (1989) parle alors de « fidélité » pour définir le degré de similarité entre les situations simulées et les situations réelles d'activité. Selon Béguin et Cerf (2004), ce type d'évaluation de la conception par la simulation permet un « apprentissage croisé » en mettant en situation le résultat du travail des concepteurs et l'activité des utilisateurs. Les concepteurs apprennent pour améliorer la conception et apprennent de l'activité des utilisateurs, qui eux-mêmes apprennent de leur propre activité : « *l'arrivée d'un nouvel artefact rencontre toujours des constructions qui lui pré-existent, susceptibles alors d'orienter les apprentissages des concepteurs* » (Béguin & Cerf, 2004, p.11). Pour que ces apprentissages soient significatifs et impactant pour la conception, la simulation doit intégrer un maximum de caractéristiques des situations futures. Enfin, il est important de prendre en compte qu'une situation naturelle se trouve forcément transformée dès lors qu'elle est étudiée, soit par les méthodologies (présence d'un observateur, consignes de verbalisation, etc.) et les instruments de mesures utilisés, soit par le prisme des descriptions abstraites faites par les analystes sur la base des théories qu'ils emploient (Hoc, 2001).

PARTIE 3 : Méthodologie Générale

INTRODUCTION GENERALE

PARTIE 1 : Contexte et Problématiques

PARTIE 2 : Cadres Théoriques

PARTIE 3 : Méthodologie Générale

Chapitre 6 : Étude de l'activité de conducteurs pour identifier le besoin en apprentissage pour la prise en main d'un véhicule automatisé

Chapitre 7 : Conception d'un outil didactique embarqué pour accompagner l'apprentissage de la conduite automatisée

Chapitre 8 : Évaluation de l'outil didactique embarqué et son impact sur l'activité de conduite automatisée en simulateur

PARTIE 4 : Résultats de la Thèse

DISCUSSION GENERALE

CONCLUSION

Résumé : Dans cette Partie nous exposons la méthodologie générale déployée pour répondre à la problématique de la Thèse. Nous verrons dans un premier temps les méthodes employées pour étudier l'activité de conducteurs de véhicules automatisé dans le but d'identifier le besoin en apprentissage. Ensuite, nous aborderons le processus de conception du didacticiel embarqué, et terminerons par la présentation de la méthodologie d'évaluation de l'impact de ce dernier sur l'activité de conduite automatisée.

Chapitre 6 : Étude de l'activité de conducteurs pour identifier le besoin en apprentissage pour la prise en main d'un véhicule automatisé

Dans ce chapitre nous présentons les deux études qui ont permis de mieux comprendre l'activité de conduite automatisée et de recueillir le besoin en apprentissage des futurs utilisateurs de ces systèmes. La première étude s'appuie sur une démarche de recherche déployée auprès de pilotes experts en conduite automatisée, alors que la seconde est une étude longitudinale réalisée auprès d'une population de conducteurs tout venant (aussi appelés « lambda »), novices dans l'usage de ces systèmes. La redondance et la complémentarité de ces deux recueils de données sont primordiales pour bien comprendre les phénomènes sous-jacents à l'apprentissage de la conduite d'un véhicule automatisé. En effet, l'étude des pilotes experts avait pour but d'identifier des traces de genèses instrumentales s'étant produites lors des premières prises en main de ces systèmes, en fonction de ce qu'ils ont gardé en mémoire, et qui reste verbalisable, et de leurs représentations. Nous avons mis en place une démarche réflexive pour eux, dont le but était de caractériser les savoirs de références du domaine d'activité. Autrement dit, « *des connaissances explicites sur les objets de l'action et du travail [...], des schèmes d'action qui sont une intériorisation de procédures efficaces, ou des instruments cognitifs* » (Rogalski, 2004, p.16). D'un autre côté, l'étude de conducteurs novices avait pour but d'identifier les difficultés rencontrées lors de l'appropriation des systèmes techniques proposés, et plus généralement de l'apprentissage de cette population. Enfin, l'adoption d'une approche situationnelle dans ces deux études devait permettre de procéder à des analyses cliniques situation par situation. Ces analyses avaient pour ambition de mettre en évidence les modifications de l'activité de conduite nécessitant une adaptation des conducteurs par la transformation de leurs schèmes issus de la conduite traditionnelle, et potentiellement de l'usage d'aides à la conduite disponibles sur le marché (type régulateur de vitesse standard ou adaptatif, système de niveau 2 SAE, etc.) se rapprochant des systèmes de conduite hautement automatisés. Les résultats de ces deux études sont présentés dans la Partie 4 de ce document (Chapitre 9).

6.1. Étude de l'activité de pilotes experts en conduite automatisée sur un prototype fonctionnel

6.1.1. Matériel

6.1.1.1. Population étudiée

Notre démarche de recherche a consisté dans un premier temps à identifier les personnes dans l'entreprise pouvant être considérées comme étant les plus « expertes » dans l'usage des prototypes de véhicules automatisés de niveau 3-4 développés par Renault. Ces personnes sont des pilotes certifiés et autorisés à conduire ces véhicules sur route ouverte pour les tester. Il s'agit d'employés du Groupe Renault, ou d'entreprises prestataires, ayant des connaissances préalables sur le fonctionnement du véhicule automatisé, et ayant réussi une formation spécifiquement conçue pour ces projets. La réussite à cette formation certifie leur aptitude à conduire ces nouveaux systèmes sur route ouverte et à superviser un conducteur de la même façon qu'un moniteur d'auto-école. En effet, les prototypes de véhicules automatisés sont équipés d'un système de double commande avec contrôle latéral (volant ou joystick), contrôle longitudinal (pédalier ou boutons), rétroviseurs, clignotants et klaxon, permettant au superviseur de reprendre la main en cas de besoin (Figure 13).



Figure 13 : Système de double commandes installé dans le prototype fonctionnel de véhicule automatisé de Renault. Il est constitué d'un volant, d'un boîtier pour les commodos, de pédales (non visibles) et de rétroviseurs.

La formation des pilotes concerne principalement la maîtrise de la double commande. Les premières prises en main ont donc eu lieu en situation lors des entraînements qui constituent la première partie de la formation à la double commande. Ces entraînements se déroulent en

deux étapes. La première consiste en un enchaînement d'exercices sur différentes pistes du CFDT (Centre Technique et d'Essais Renault Aubevoye) : Aire d'évolution, Circuit ville, Piste Synthèse Confort et Circuit Route Nationale. Les premiers exercices ont pour but d'effectuer une série de manœuvres avec la double commande, puis l'examineur réalise à son tour ces manœuvres en commettant volontairement des erreurs que le pilote doit corriger. La deuxième étape de l'entraînement se déroule sur l'autoroute A13 et a pour objectif de réaliser un trajet aller-retour entre la sortie 17 et la sortie 19, en toute sécurité et en corrigeant les éventuelles erreurs du système de conduite automatisée (décrochages, détection de faux-positifs ou non détection de vrais-négatifs). La deuxième partie de la formation est composée d'un examen pratique lors duquel les pilotes doivent reproduire l'ensemble de ces exercices en étant noté par l'examineur grâce à une grille d'évaluation (Annexe 3).

Nous avons contacté 12 de ces pilotes experts en conduite automatisée ayant passé l'examen avec succès, et neuf ont répondu favorablement et se sont portés volontaires pour participer à notre étude (Tableau 2). Deux d'entre eux sont en poste depuis plus de quatre ans, deux autres depuis plus de trois ans et les cinq autres depuis plus de deux ans. En testant les prototypes sur route ouverte régulièrement, ils ont cumulé plusieurs dizaines, voire centaines, d'heures de conduite automatisée (de 50 heures à plus de 160 heures pour certains) sur plusieurs milliers de kilomètres (de 5000 km à 15 000 km environ). Cette expérience d'usage, couplée à leurs connaissances scientifiques et techniques sur le véhicule automatisé, et à la démarche réflexive que nous avons déroulée avec eux sur leur propre activité, fait d'eux des experts (Lefèbvre, 2001; Mollo & Falzon, 2004). C'est la raison pour laquelle nous les appellerons « pilotes experts ».

Parmi ces neuf pilotes experts, tous sont des hommes ayant une moyenne d'âge de 42 ans ($\sigma = 10,6$; min = 27 ; max = 62), possédant le Permis B depuis 22 ans en moyenne ($\sigma = 9,4$; min = 9 ; max = 37). Ils conduisent tous les jours, notamment pour effectuer les trajets entre leur domicile et leur travail. Tous utilisent régulièrement le régulateur de vitesse : certains les utilisent tous les jours (N = 3), d'autres plusieurs fois par semaine (N = 2) ou plusieurs fois par mois (N = 4). En plus de leur expertise de la conduite automatisée, ils ont donc également une certaine expérience du régulateur de vitesse, ce qui se révélera intéressant dans les résultats de cette étude.

Notre démarche de recherche s'est déroulée en quatre étapes que nous détaillons plus bas dans ce chapitre. Malheureusement, seulement cinq des neuf participants de départ ont pu effectuer l'ensemble des étapes. Le Sujet 7 (noté S7 dans le Tableau 2) a, quant à lui, effectué les étapes 1 et 4. Cela est dû à diverses raisons tels que des contraintes d'agenda, des autorisations dépassées, ou des changements de postes.

Sujets	Genre	Âge	Expérience (années permis)	Fq de conduite	Fq usage régul. vitesse	Années projets	Étapes effectuées
S1	M	62	37	Tous les jours	Tous les jours	4	1, 2, 3 et 4
S2	M	48	30	Tous les jours	Tous les jours	3	1, 2, 3 et 4
S3	M	42	25	Tous les jours	Plusieurs fois / mois	4	1, 2, 3 et 4
S4	M	46	26	Tous les jours	Plusieurs fois / mois	1,5	1
S5	M	47	28	Tous les jours	Plusieurs fois / mois	2	1
S6	M	29	11	Tous les jours	Tous les jours	2	1
S7	M	27	9	Tous les jours	Plusieurs fois / semaine	2	1 et 4
S8	M	37	14	Tous les jours	Plusieurs fois / mois	2	1, 2, 3, et 4
S9	M	40	21	Tous les jours	Plusieurs fois / semaine	3	1, 2, 3, et 4

Tableau 2 : Description de la population de pilotes experts en conduite automatisée étudiée.

6.1.1.2. Caractéristiques du prototype de véhicule automatisé utilisé

Nous avons réalisé des observations en situation de conduite sur route ouverte avec cinq des neuf experts comme conducteurs. Nous avons emprunté un prototype roulant de l'entreprise qui est une ébauche de véhicule automatisé de niveau 3-4 SAE, élaboré sur la base d'un Renault Espace. Outre la conduite manuelle « traditionnelle » avec boîte de vitesse automatique, il propose un mode de conduite automatisée qui est disponible sur des tronçons de route ayant au minimum deux voies.

Lorsque le tableau de bord affiche que le mode automatisé est disponible (Figure 15), le conducteur doit respecter certaines conditions propres au prototype pour l'activer. Il doit, par exemple, relâcher les commandes avant d'activer pour ne pas que le système détecte une reprise en main dès l'activation. Celle-ci se fait via le bouton « R » du régulateur de vitesse situé sur la branche gauche du volant (Figure 14), le régulateur étant inactif sur ce prototype. Une fois le mode automatisé activé, le véhicule gère tous les aspects de la conduite de 0 à 110 km/h, et le conducteur peut théoriquement vaquer à d'autres occupations. Seul le changement de voie n'est pas complètement automatisé car le conducteur (ou le superviseur) doit préalablement enclencher le clignotant pour signifier au véhicule qu'il doit changer de voie. Ce dernier effectuera alors l'action au moment le plus opportun selon les règles de son algorithme et en fonction des informations dont il dispose sur le trafic environnant.



Figure 14 : Poste de conduite du prototype fonctionnel utilisé pour cette étude. Entourés en rouge de gauche à droite : le bouton d'activation « R », l'écran du tableau de bord, l'écran central de supervision.

Le conducteur peut reprendre la main dès qu'il le souhaite, pour cela il a quatre possibilités : (1) en appuyant à nouveau sur le bouton « R », (2) en tournant le volant, (3) en accélérant ou (4) en freinant. Le véhicule peut également demander au conducteur de reprendre la main via une alerte visuelle sur le tableau de bord et une alerte sonore. Un décompte de 60 secondes apparaît alors dans un cercle jaune pour prévenir le conducteur qu'il lui reste moins d'une minute pour reprendre la main. Cela se produit lorsque le véhicule arrive sur un tronçon de route qui n'est plus adapté à la conduite automatisée ; les routes empruntées lors des observations étant connues par le système. Si le conducteur n'a pas repris la main à la fin du décompte, le système enclenche une manœuvre de « refuge automatique ». Il active les *warnings*, ralentit et se déporte le plus à droite possible pour s'arrêter sur la bande d'arrêt d'urgence si c'est possible. En parallèle de cette manœuvre, une alerte sonore retentit fortement pour prévenir le conducteur du danger potentiel de la situation.

Le tableau de bord est différent des véhicules traditionnels car il propose ce que l'on appelle une *Situation Awareness View* ou « SA View » (Figure 15). Cette interface est une représentation fidèle de ce que perçoivent les capteurs et les caméras du véhicule. On y retrouve une reconstitution schématisée de la route (deux ou trois voies) avec les véhicules qui entourent le véhicule automatisé (voitures, poids-lourds, motos, etc.). Cette reconstitution

évolue en temps réel permettant au conducteur de surveiller ce que « voit » son véhicule lorsqu'il est en mode automatisé. Un cercle contenant des informations spécifiques sur l'état du mode automatisé est présent à droite dans le tableau de bord. Il fournit des informations sur la disponibilité, la durée et l'état de marche de la conduite automatisée (bleu pour désactivée, jaune pour activée).

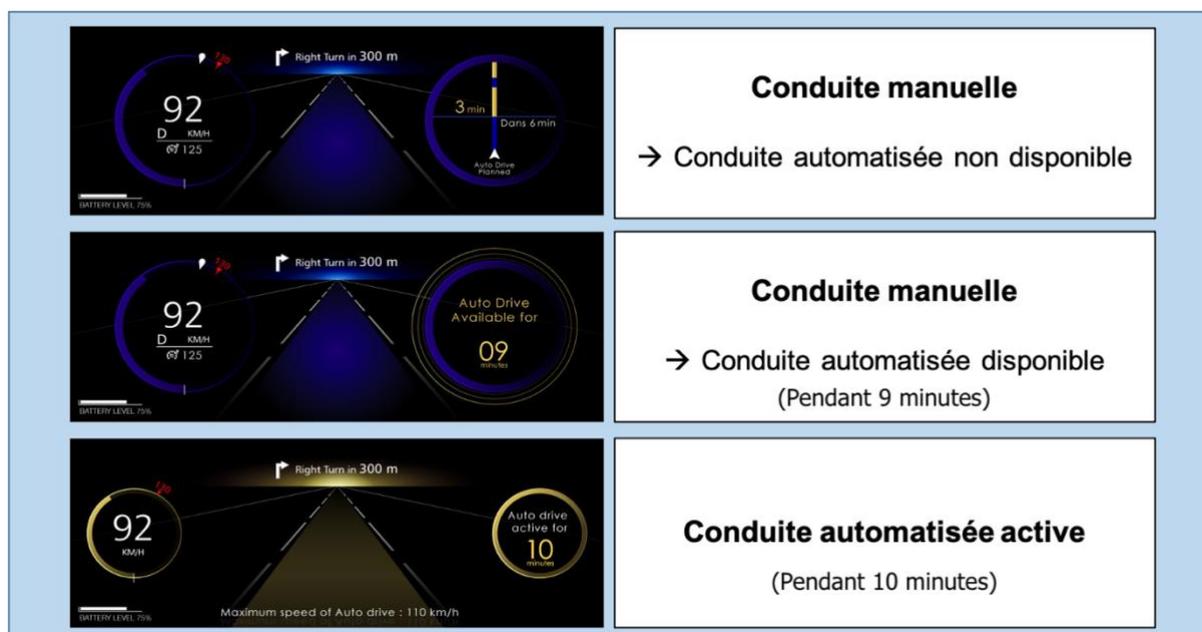


Figure 15 : Interfaces de la conduite automatisée (SA View) présentes sur l'écran du tableau de bord du prototype.

Un écran central de supervision du système est présent dans ce prototype (Figure 14). Il permet aux pilotes experts / superviseurs de surveiller le bon fonctionnement de la conduite automatisée. Il affiche ce que chaque capteur et chaque caméra perçoit en temps réel et permet au pilote expert / superviseur de comparer avec l'environnement de conduite qu'il perçoit au même moment. Si une différence apparaît, qu'il s'agisse d'un vrai négatif (le véhicule détecte un obstacle inexistant sur la route) ou d'un faux positif (le véhicule ne détecte pas un obstacle pourtant bien présent sur la route), cela signifie que le système dysfonctionne et qu'il doit être désactivé. Les événements sont enregistrés par le système et les pilotes experts font un rapport après chaque roulage en vue de l'amélioration de l'algorithme de conduite automatisée.

Le véhicule automatisé propose donc un ensemble d'artefacts destinés au conducteur, et ayant chacun une fonction propre pouvant être complémentaire ou redondante avec les autres. Cet ensemble est composé d'éléments pouvant être, directement ou indirectement, utiles pour la conduite :

- Les commandes de conduite (volant, pédales, levier de vitesse, commodos).

- Les rétroviseurs (central et latéraux).
- Deux écrans (tableau de bord et multimédia central).
- Une multitude de boutons situés sur les branches du volant (à gauche pour le régulateur de vitesse et à droite pour le multimédia), sur la console centrale (multimédia, climatisation, chauffage, etc.), et sur la portière (réglage des rétroviseurs, ouverture et fermeture des fenêtres).

6.1.2. Méthode

6.1.2.1. Protocole expérimental et données recueillies

Notre démarche de recherche s'est déroulée en quatre étapes réparties sur une année, de septembre 2018 à octobre 2019.

Étape 1/4 : Entretiens exploratoires

Lors de la première étape, réalisée entre septembre et novembre 2018, nous avons effectué des entretiens semi-directifs dans le but de faire connaissance avec nos neuf participants. Ces entretiens étaient basés sur un guide d'entretien (voir Annexe 4), et ont fait l'objet d'un enregistrement audio. Nous avons d'abord recueilli des informations générales sur leur expérience en conduite « traditionnelle », comme leur année d'obtention du Permis B, leur fréquence de conduite, leur usage des aides à la conduite, etc. Nous avons ensuite orienté les entretiens sur la formation reçue, sur les premières prises en main du prototype et sur leur expérience en conduite automatisée (poste occupé, nombre d'heures et de kilomètres réalisés, situations marquantes, difficultés rencontrées, etc. ; Tableau 2). Nous leur avons également demandé quels conseils ils pourraient donner à un conducteur utilisant pour la première fois un véhicule automatisé. Et pour terminer, les participants nous ont fait part de leurs préconisations pour la conception d'un dispositif embarqué visant à accompagner la prise en main du véhicule automatisé.

Étape 2/4 : Observations en situation de conduite

La deuxième étape a consisté en des observations instrumentées de la conduite du prototype de véhicule automatisé sur route ouverte. Ces « roulages » ont été réalisés en décembre 2018, sur un trajet aller-retour entre le Technocentre Renault à Guyancourt et le Pont de Sèvre à Boulogne-Billancourt. Le trajet complet faisait environ 40 kilomètres et passait par la nationale N12, l'autoroute A86 et la nationale N118 (Figure 16). Il durait entre 1 heure et 1 heure 30 minutes en fonction du trafic, et permettait une disponibilité du mode automatisé sur

chacun des tronçons de route cités de manière indépendante (impliquant des demandes de reprise à chaque changement de tronçon). Ainsi, un trajet aller-retour dans les meilleures conditions permettait d'observer six activations et six demandes de reprises en main.

Pendant la conduite, les pilotes experts avaient pour consigne de verbaliser à voix haute leurs pensées, leurs ressentis, et toutes autres remarques. En tant qu'expérimentateurs, nous étions assis côté passager pour observer, prendre des notes, et relancer le participant, l'aidant ainsi à verbaliser simultanément. Un dictaphone était également positionné sur la console centrale pour enregistrer les verbalisations. Le conducteur était, quant à lui, équipé d'une caméra miniature accrochée sur une monture de lunettes afin d'enregistrer en vidéo son point de vue subjectif (Lahlou, Le Bellu, & Boesen-Mariani, 2015) (Figure 17). Cela nous a permis de nous rapprocher au maximum de sa « vision professionnelle » (Goodwin, 1994).

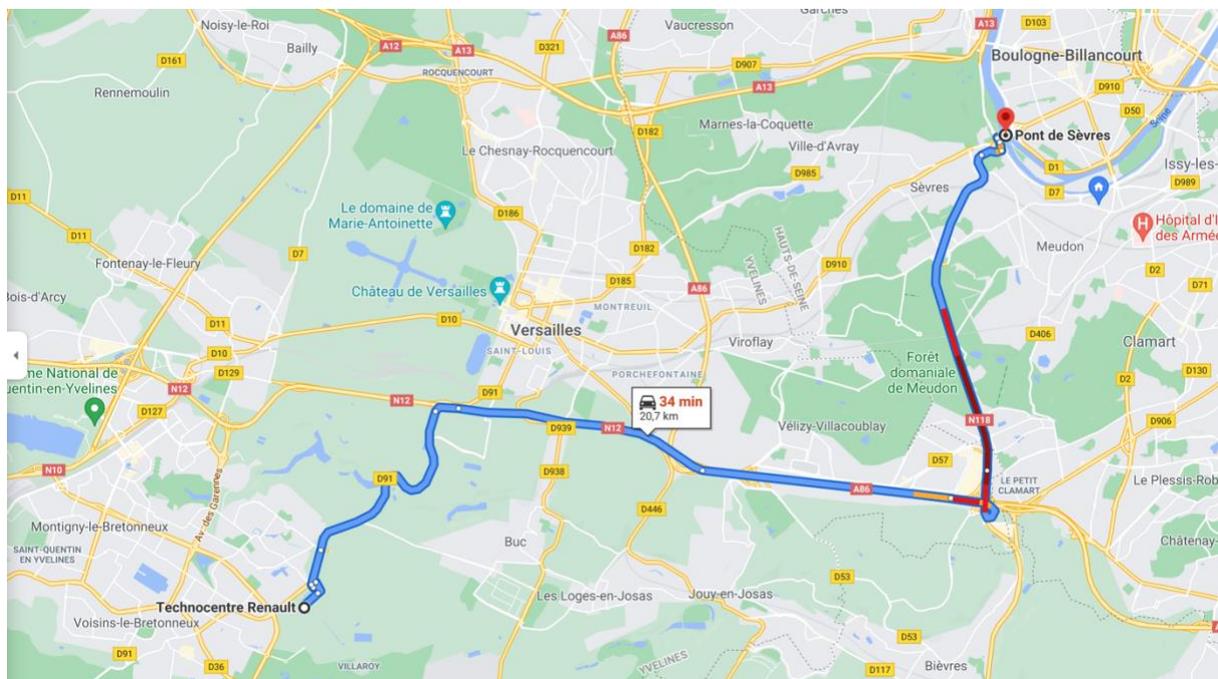


Figure 16 : Carte du trajet effectué entre le Technocentre Renault à Guyancourt et le Pont de Sèvres à Boulogne-Billancourt.



Figure 17 : Capture d'écran d'un enregistrement vidéo en vue subjective lors de l'étape 2.

A l'issue de cette deuxième étape, nous avons procédé à une première analyse des enregistrements vidéo afin d'identifier les situations de conduite potentiellement difficiles, à risque, ou nécessitant une attention accrue pour des conducteurs. Les séquences vidéo ainsi identifiées ont servi de support pour les entretiens d'auto-confrontation individuels (Mollo & Falzon, 2004) de la troisième étape.

Étape 3/4 : Entretiens d'auto-confrontation individuels

Les entretiens ont été menés en juin 2019 selon la méthode « Subjective-Evidence Based Ethnography » (Lahlou, Le Bellu, & Boesen-Mariani, 2015). Cette méthode vise à remettre le participant en situation en lui faisant visualiser ses enregistrements vidéo subjectifs ; l'objectif étant de mieux le projeter dans son activité et de stimuler le rappel. La consigne de verbalisation vise à demander au participant de formuler les buts qu'il poursuivait au fil de son activité et la façon dont il s'y est pris pour les atteindre. Chacun des cinq entretiens a fait l'objet d'un enregistrement audio et vidéo à l'aide d'une caméra positionnée sur un trépied derrière le participant et face à l'écran diffusant les séquences vidéo de la deuxième étape (Figure 18). Cela a permis de contextualiser les commentaires oraux et les gestes des participants par rapport aux événements visualisés.



Figure 18 : Capture d'écran d'un enregistrement vidéo d'un entretien d'auto-confrontation lors de l'étape 3.

Étape 4/4 : Entretien d'allo-confrontation collectif

Pour la quatrième et dernière étape, les situations les plus récurrentes, ou ayant des caractéristiques communes, vécues par les participants ont été sélectionnées pour servir de support à un entretien d'allo-confrontation collectif (Mollo & Falzon, 2004) qui s'est déroulé en octobre 2019. Selon ces auteurs, ce type d'entretien constitue une activité réflexive dans laquelle les participants peuvent expliquer et partager leurs expériences, leurs représentations, leurs connaissances et leurs pratiques, sur la base de vidéos de leur propre activité, et entre pairs. Cela permet à l'analyste de comprendre le comportement des participants dans leur activité, et aux participants de développer un socle de connaissances communes que l'analyste peut également recueillir. Ce sont ces connaissances que nous considérons comme les « savoirs de référence » (Rogalski, 2004) de l'activité de conduite automatisée. Dans un premier temps, nous avons donc sélectionné 18 séquences vidéo de l'étape 2, correspondant à 14 situations de conduite automatisée différentes²¹, chacune rencontrée par au moins deux participants différents. Le but était de présenter différentes situations de conduite automatisée et faire discuter les participants sur les différentes façons

²¹ Cinq de ces séquences vidéo concernaient différentes situations d'activation de la conduite automatisée. Trois séquences concernaient des situations de dépassement automatisé d'un poids-lourd montrant trois façons différentes de les gérer. Trois autres séquences montraient également trois façons différentes de gérer des passages à côté de voies d'insertion. Pour finir, six séquences concernaient diverses situations de conduite différentes, et enfin une séquence concernait une reprise en main à l'initiative du conducteur pour changer de voie et sortir d'une situation de trafic dense et chaotique.

de les gérer. Dans un second temps, nous avons présenté une liste de 15 conseils et recommandations recueillis au cours des trois étapes précédentes. Nous souhaitons que les pilotes experts débattent de ces conseils et recommandations, destinés aux futurs conducteurs de véhicules automatisés, afin de s'accorder sur leur pertinence et nous aider à les catégoriser.

Le recueil de données audio et vidéo lors de cet entretien s'est fait de la même façon qu'à l'étape précédente (Figure 19).



Figure 19 : Capture d'écran de l'enregistrement vidéo de l'entretien d'allo-confrontation lors de l'étape 4.

6.1.2.2. Traitement des données

Dans un premier temps, le traitement des données a eu pour objectif d'identifier des caractéristiques de situations de conduite potentiellement difficiles, à risque, ou nécessitant une attention accrue de nos pilotes experts. Nous appellerons ces situations « situations sensibles » pour faciliter la compréhension du lecteur. Pour servir le propos de cette section, nous prendrons l'exemple d'une situation de « queue de poisson », ou « *cut-in* », en conduite automatisée.

Ensuite, notre objectif a été d'identifier au moins en partie les transformations de schèmes potentiellement requises pour une gestion plus efficace de ces situations. Autrement dit, les traces de genèses instrumentales passées. Pour cela, tous les enregistrements audio des entretiens ont été retranscrits (voir exemple en Figure 20).

Interviewer : D'accord. OK. Est-ce qu'il y a des situations qui ont été particulièrement marquantes pour toi pendant ces trois années de roulage hebdomadaire ? Là, comme ça, si tu y réfléchis, est-ce qu'il y a certains trucs qui te reviennent.

Interviewé : Non, je ne suis pas de nature très émotive, il en faut beaucoup, beaucoup pour me faire peur.

Interviewer : Dans les deux sens du terme, cela peut être aussi quelque chose qui effectivement, tu as eu un stress particulier et où tu as eu peur, mais ça peut être aussi quelque chose de super, qui te revient en mémoire. Je ne sais pas. Des situations, des use cases, des trucs...

Interviewé : Les trucs un peu marquants c'était les ~~cut~~-in où on n'avait pas de target selection, par exemple.

Interviewer : Alors, explique-moi ce que cela signifie.

Interviewé : Par exemple, tu pètes sur le périph. Tu as un camion ou une voiture qui fait une insertion devant toi.

Interviewer : Oui, où il n'y avait pas de target selection, tu dis ?

Interviewé : En fait, oui, c'est du jargon. Tu as un radar devant ta voiture, et le radar il voit des dizaines et des dizaines d'objets devant lui, mais quand je dis des dizaines, c'est vraiment des dizaines. Tu as un panneau qui t'indique que tu dois rouler à 90. Pour lui, c'est un objet. Donc, après, il faut filtrer tout ce qui ne nous concerne pas, le panneau 90, typiquement, on n'en a un peu rien à foutre. Par contre, s'il y a une voiture qui est en train de s'insérer devant nous, là, ce n'est pas la même chose. Donc, c'est ça qu'on appelle la sélection, il sélectionne parmi toutes les targets qui vont être à lui, il sélectionne celles qui l'intéressent. Donc, le cas qui était amusant à apprendre, en fait, c'est que les voitures sur le périph à basse vitesse, autour de 20 ou 30 km/heure, elles roulent proche les unes des autres, tu vois tu as environ 5 à 10 m maxi entre deux voitures, sauf qu'un semi-remorque, ça fait 18 m de long. Donc, s'il veut changer de file, un jour, il est bien obligé à un moment de forcer le passage quelque part. Et comme nous, notre voiture, elle est assez précautionneuse sur la distance de suivi, plus que le font les humains, les camionneurs, ils choisissent souvent notre voiture pour s'insérer devant. Et donc, un camion de 18 m de long pour un espace de 10 m, forcément, ta voiture, elle ne voit pas la face arrière du camion. Elle voit son flanc, son flanc, avec un angle d'une quinzaine de degrés, tu vois. Donc, là typiquement, notre voiture, elle ne savait pas réagir, elle ne savait pas quel arrêt cibler. Donc, la première fois qu'on l'a eu, « ah tiens, elle ne prend pas », on a été un peu surpris quand même.

Figure 20 : Exemple d'extrait de transcription issu d'un entretien de l'étape 1.

Les vidéos de la deuxième étape ont été analysées chronologiquement situation après situation. Les tâches identifiées pour chaque situation ont été associées aux gestes, postures, actions et verbalisations simultanées des participants, comme nous le présentons dans le Tableau 3.

Temps	Tâche du conducteur	Verbalisation	Action	Gestes / Posture	Interactions avec le véhicule
-------	---------------------	---------------	--------	------------------	-------------------------------

52'45	Activer le mode AD.	Explique qu'on peut réactiver le mode AD même après l'avoir désactivé.	Active le mode AD.	Place son pouce sur le bouton AD et clique dessus. Retire ensuite sa main gauche du volant.	Appuie sur le bouton AD pour activer. (TdB change d'IHM)
52'55	Contrôler la trajectoire (marquage au sol dégradé).	Explique le problème de peinture dégradée. « Elle a rattrapé sa trajectoire toute seule ».	Saisi le volant pour empêcher la voiture de changer de voie, mais n'intervient pas.	Place sa main gauche sur le volant pour se préparer à corriger l'erreur de trajectoire. Montre la voie de gauche de la main droite et regarde à gauche et à droite.	Touche le volant.
53'26	Gérer le short cut-in.	« La voiture a freiné ».	P : Place ses mains à proximité du volant, se prépare à reprendre le contrôle	P : Positionne ses mains de chaque côté du volant, sans l'empoigner. Met le pied sur la pédale de frein.	Ne saisit pas les commandes.
54'45	Expliquer le freinage et les à-coups du centrage dans la voie.	« Problème dû au delta v négatif avec la voiture devant ».	Mime les à-coups de volant de la voiture dans la voie.	Tend ses mains et balance ses avant-bras de droite à gauche pour imiter le mouvement de la voiture.	
56'00	Expliquer l'importance du centrage dans la voie.	« Si le véhicule se décale dans la voie cela peut effrayer les autres conducteurs ».	Montre la voie de droite.	Pointe la voie de droite avec sa main droite, tourne la tête à gauche et à droite.	
56'57	Tente de changer de file.	« Changement de file trop long ».	Met le clignotant pour changer de file et regarde dans son rétroviseur droit.	Lève le commodos du clignotant avec son index gauche, tourne la tête pour regarder dans son rétroviseur droit, et attend que la voiture change de file (sans succès).	Actionne le commodos pour activer le clignotant.
57'35	Gérer les changements de file (désactiver le mode AD)	Explique qu'il doit passer en mode manuel pour changer de file car la voiture ne le fait pas toute seule.	Désactive le mode AD.	Clique sur le bouton de désactivation du mode AD avec son pouce gauche.	Clique sur le bouton AD pour désactiver. (TdB change d'IHM)

Tableau 3 : Exemple d'extrait d'analyse chronologique d'un enregistrement vidéo de l'étape 2.

Nous avons ensuite procédé à des analyses thématiques des entretiens, que nous avons mis au regard des séquences vidéo correspondantes et des verbalisations simultanées. Les

situations les plus récurrentes ont été analysées plus finement d'un point de vue clinique²² en mobilisant le modèle SACI (Situation d'Activité Collective Instrumentée) de Rabardel (1995). Nous donnons un exemple de ce modèle dans la Figure 21, suivi d'un descriptif des relations en jeu dans une situation de « *cut-in* ». Il permet d'identifier les relations et médiations en jeu dans une situation entre le sujet (S ; le conducteur), l'instrument (I ; le véhicule automatisé), l'objet de l'activité (O ; la conduite), et les autres protagonistes (A ; les autres usagers de la route, les passagers, etc.) ; à partir de l'observation de l'activité et/ou des entretiens portant sur l'activité du sujet.

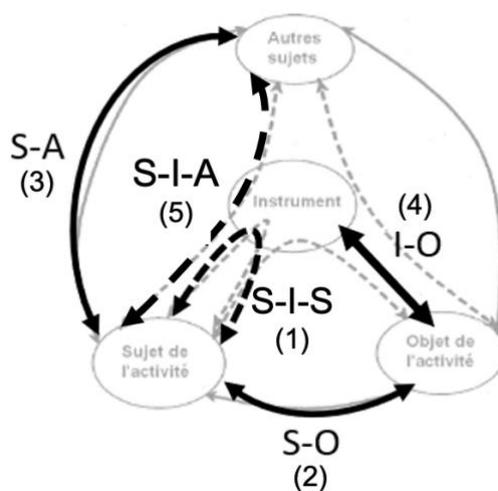


Figure 21 : Exemple d'un modèle SACI d'une situation de « queue de poisson » ou « *cut-in* ».

Légende : les flèches noires représentent les relations qui concernent directement le sujet, les flèches pointillées sont les médiations du sujet via l'instrument, et les flèches grises sont les relations qui ne concernent pas directement le sujet.

- (1) Médiation réflexive Sujet – Instrument – Sujet : Le conducteur rapproche son pied du frein mais inhibe son action et laisse faire le véhicule automatisé.
- (2) Relation Sujet – Objet de l'activité : Le conducteur surveille l'état de la conduite (vitesse, voie, direction, etc.), il comprend que le véhicule ne ralentit pas tout de suite.
- (3) Relation Sujet – Autres sujets : Le conducteur surveille l'état du trafic environnant (nombre et type de véhicules, leur comportement, clignotants, etc.), et voit que le trafic ralentit fortement plusieurs véhicules devant.
- (4) Relation Instrument – Objet de l'activité : Le véhicule automatisé détecte le fort ralentissement du véhicule précédent de manière tardive et entame un freinage relativement important.
- (5) Médiation épistémique Sujet – Instrument – Autres sujets : Le conducteur vérifie via la SA View du tableau de bord que le système a bien détecté le véhicule précédent.

²² Selon Clot et Leplat (2005), la méthode clinique considère l'objet d'étude dans sa globalité, c'est-à-dire qu'elle permet d'examiner de manière approfondie toute la complexité de l'activité tout en accordant une importance fondamentale au rôle du sujet.

La triangulation de toutes ces données (Apostolidis, 2003; Olsen, 2004) a permis d'identifier les savoirs de références du domaine d'activité ; disséminés dans les transformations de schèmes opérés par les pilotes experts, et dans les conseils et recommandations qu'ils nous ont partagé pour garantir un usage efficient du véhicule automatisé. Cette triangulation de données a également permis de tenter de caractériser ce que pourraient être les genèses instrumentales des futurs utilisateurs de ces systèmes.

6.2. Étude de l'activité de conducteurs lambda novices en conduite automatisée sur un prototype fonctionnel

6.2.1. Matériel

6.2.1.1. Population étudiée

La seconde étude a reposé sur une expérimentation menée dans le cadre du projet européen L3Pilot (<https://l3pilot.eu/>). Ce projet a permis à l'ensemble des constructeurs automobiles européens de mutualiser les résultats d'expérimentations de véhicules automatisés du niveau 2 SAE au niveau 4 SAE. Ces expérimentations ont été réalisées sur différents sites expérimentaux et routes ouvertes en Europe. Le but visé étant d'évaluer l'impact du déploiement de ce type de véhicules sur l'acceptabilité, la mobilité, la circulation, la sécurité routière, l'environnement, la demande énergétique, et d'en estimer son ratio bénéfices / coûts. Le projet L3 Pilot a débuté en septembre 2017 et a pris fin en octobre 2021.

Nous avons eu l'opportunité de nous greffer sur l'expérimentation Renault du projet pour pouvoir étudier plus précisément l'activité de conduite de 20 participants (sur les 80 de l'expérimentation). Ces participants étaient des conducteurs novices en véhicule automatisé, recrutés spécifiquement pour ce test à l'extérieur de l'entreprise et selon des critères de représentativité de la cible client : permis B depuis plus de 5 ans, aucune expérience en conduite automatisée (ni sur route, ni sur simulateur), expérience du régulateur de vitesse, etc. Ce dernier critère étant important car nous pensons que l'usage régulier du régulateur peut potentiellement favoriser la transformation de schème pour l'usage de la conduite automatisée.

Les caractéristiques de la population étudiée sont présentées dans le Tableau 4 :

Genre	6 femmes (30%), 14 hommes (70%)
Âge	30 à 55 ans (moyenne = 45 ans ; $\sigma = 7,5$)
Situation familiale	60% en couple avec enfant(s)
Lieu de vie	50% en zone urbaine, 50% en zone rurale
Expérience du régulateur de vitesse	50% habitués, 50% non habitués

Tableau 4 : Description de la population de 20 conducteurs « lambda » novices en conduite automatisée étudiée.

Nous avons choisi d'étudier des conducteurs novices en conduite automatisée dans le but de compléter les données recueillies lors de notre première étude auprès des pilotes experts. En effet, le profil de ces derniers n'étant pas représentatif des futurs conducteurs de véhicules automatisés, il nous fallait étudier ce que pourrait être la genèse instrumentale pour une population complètement novice dans l'usage de ces systèmes. L'objectif de la seconde étude était donc d'identifier des amorces de transformations de schèmes via l'observation d'adaptations des participants, pouvant être des indices d'une genèse instrumentale en cours. Contrairement à la première étude dans laquelle il s'agissait d'identifier des traces de transformations de schèmes passées pour tenter de reconstruire ce qu'avait pu être la genèse instrumentale des pilotes experts. Pour nous, c'était également l'occasion d'étudier une plus grande population et d'obtenir des résultats plus généralisables.

6.2.1.2. Caractéristiques du prototype de véhicule automatisé utilisé

Le prototype de véhicule automatisé utilisé pour les roulages avec les conducteurs « lambda » novices est le même que pour l'étude précédente (voir 6.1.1.2. Caractéristiques du prototype de véhicule automatisé utilisé), à ceci près que des mises à jour ont été effectuées entre temps. Ces mises à jour concernent notamment la procédure d'activation qui a été divisée en deux étapes : d'abord la disponibilité, puis « l'activabilité » de la conduite automatisée. La disponibilité fait référence aux conditions « macro » rendant la conduite automatisée disponible. Cela signifie que la portion d'autoroute est compatible et que les infrastructures de la route sont en assez bon état pour assurer le bon fonctionnement du système. « L'activabilité » fait référence aux conditions « micro » signifiant que le conducteur peut activer la conduite automatisée. Ces conditions sont le centrage dans la voie, la vitesse inférieure à 110 km/h et le respect des distances de sécurité. Une fois les conditions « macro » et « micro » réunies, le conducteur peut activer le mode automatisé du véhicule.

6.2.2. Méthode

6.2.2.1. Protocole expérimental et données recueillies

Il s'agit d'une étude longitudinale qui s'est déroulée en trois sessions de conduite d'environ 1 heure et 30 minutes chacune, sur route ouverte, au départ du centre d'essais de Mortefontaine, jusqu'au parking de l'Intermarché de Fontenay-sous-bois, soit 82 kilomètres aller-retour (Figure 22). Les participants pouvaient faire une pause d'un quart d'heure entre le trajet aller et le trajet retour. Le trajet a été le même pour chacun des roulages effectués, avec une disponibilité du mode automatisé sur trois portions du trajet (autoroutes A1, A3, et A86) entrecoupées par des demandes de reprise en main au niveau des échangeurs. Ainsi, tous les participants ont pu expérimenter au minimum six activations et six demandes de reprise en main par session. Initialement, le protocole expérimental prévoyait d'effectuer la deuxième session un mois après la première, et la troisième session trois mois après la deuxième (soit t_0 , $t_0 + 1$ mois et $t_0 + 4$ mois), au cours du premier semestre 2020. La première session a pu se dérouler entre février et mars, mais en raison de la crise sanitaire, la deuxième session a été repoussée en juillet et la troisième ne s'est déroulée qu'en septembre 2020 (soit t_0 , $t_0 + 4$ mois et $t_0 + 6$ mois).

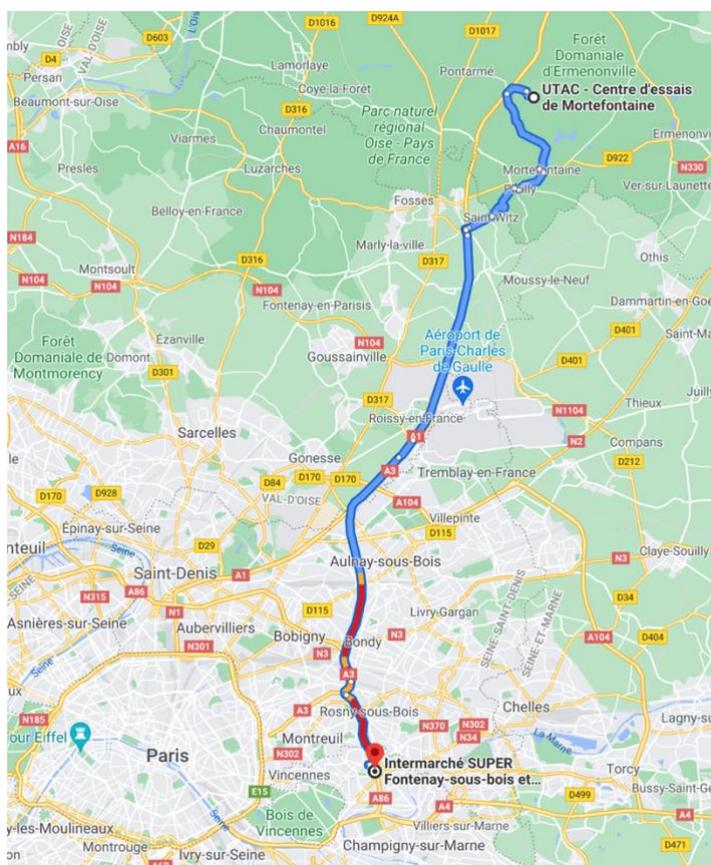


Figure 22 : Carte du trajet effectué entre le Centre d'essais de Mortefontaine et le parking de l'Intermarché de Fontenay-sous-bois.

Une formation d'environ une heure et demi, dont le contenu a été conçu par Renault avec la contribution du Projet AD Learning, a été dispensée à chaque participant avant la première session de roulage sur route ouverte. Cette formation était divisée en deux parties : une première partie en salle se concentrant plutôt sur des apports théoriques (description du système, domaine d'usage, procédures et modalités d'activation et de désactivation, limites du système, etc.) ; et une seconde partie davantage pratique, avec des essais sur piste pour permettre au participant de se familiariser avec le véhicule (gabarit, fonctionnement, etc.), et tester les procédures d'activation et de désactivation dans un environnement contrôlé et sécurisé. Cette formation pratique était aussi l'occasion pour le participant de se familiariser avec la présence, et les interventions, du co-pilote. Ainsi, trois tours de piste étaient systématiquement proposés aux participants, selon les objectifs pédagogiques suivants :

- Tour 1 : Habituation à la piste, aux commandes de conduite et au gabarit du véhicule.
- Tour 2 : Activation de la conduite automatisée, 1^{ère} reprise en main à l'initiative du conducteur et 1^{ère} demande de reprise en main à l'initiative du véhicule.
- Tour 3 : Activation de la conduite automatisée, 2^{ème} demande de reprise en main à l'initiative du véhicule, puis reprise en main par le co-pilote.

Si le participant n'était pas suffisamment à l'aise à l'issue des trois tours, il pouvait demander à en faire un ou deux supplémentaires.

Afin de garantir le maximum de sécurité pour les participants et pour les autres usagers de la route, un superviseur et un co-pilote étaient systématiquement présents dans le véhicule automatisé, et un véhicule suiveur restait derrière le véhicule test pour surveiller l'environnement de conduite. Dans le véhicule automatisé, le co-pilote était assis à la place avant droite et disposait de la double commande pour pouvoir reprendre la main et conduire à la place du participant si nécessaire (Figure 23). Le superviseur se trouvait, quant à lui, à la place arrière droite et disposait d'un écran de « debug » pour surveiller et s'assurer du bon fonctionnement du système en temps réel et en continu. Il pouvait ainsi informer le co-pilote et lui dire de reprendre la main s'il constatait une anomalie. Aussi, les personnes présentes dans le véhicule suiveur pouvaient communiquer à tout moment avec le superviseur par talkie-walkie. Cela permettait d'anticiper des comportements inhabituels et potentiellement dangereux d'autres usagers de la route. Les co-pilotes et les superviseurs ont tous suivi la même formation que les pilotes experts de la première étude (voir 6.1.1.1. Population étudiée). Enfin, lors de la 1^{ère} et de la 3^{ème} session, un ergonome était présent dans le véhicule automatisé, assis à la place arrière gauche. Il était en charge de l'observation en situation, de la prise de note, et d'aider le participant à verbaliser en simultané.

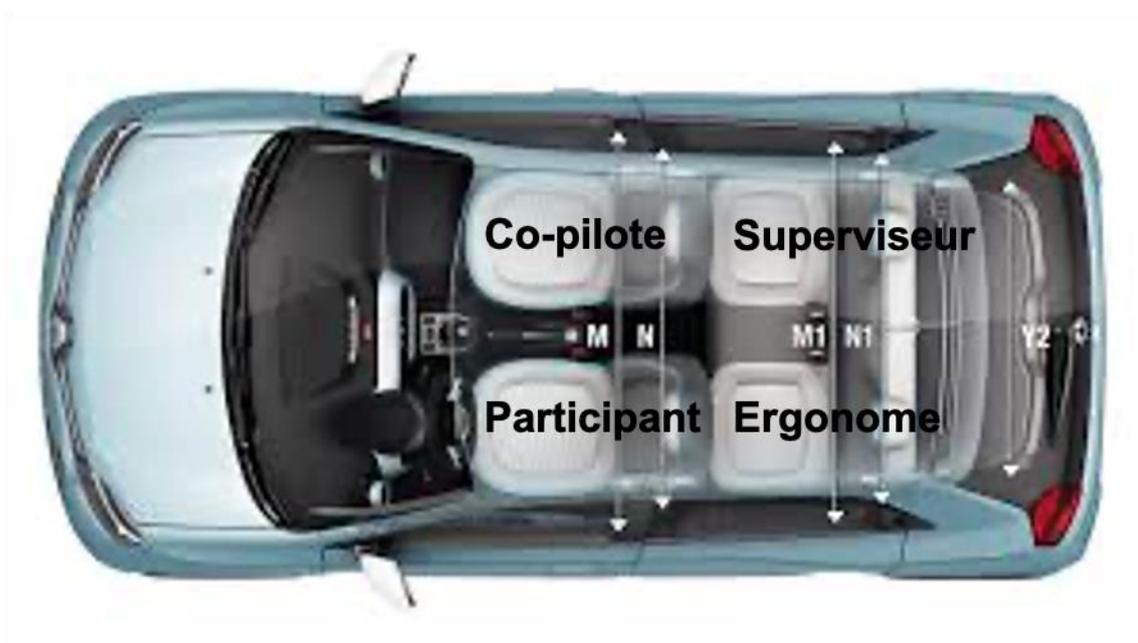


Figure 23 : Illustration de la disposition des personnes présentes dans le prototype lors des essais.

Le véhicule a été équipé d'un dispositif de recueil de données audio-vidéo lors des 1^{ères} et 3^{èmes} sessions. Deux caméras ont été utilisées : la première tournée vers la scène de conduite, proche du point de vue du conducteur, et la seconde tournée vers le conducteur lui-même. Nous avons également enregistré les verbalisations simultanées des participants pendant les roulages avec un dictaphone. La 1^{ère} et la 3^{ème} session se sont déroulées exactement de la même façon pour les 20 participants que nous avons étudiés :

- 8h45 : Accueil et formation en salle (environ 30 minutes) :
 - Introduction générale à la conduite automatisée.
 - Objectifs de l'expérimentation.
 - Déroulement de l'expérimentation.
 - Consignes de verbalisation.
 - Utilisation du système de conduite automatisée (procédures d'activation et de désactivation, interfaces de conduite, vie à bord, rôle du conducteur, et rôle du co-pilote).
- 9h15 : Lecture et signature de la fiche de consentement libre et éclairé.
- 9h25 : Présentation du prototype de véhicule automatisé utilisé.
- 9h30 : Formation sur piste (détaillée précédemment).
- 10h30 : Départ pour le trajet sur route ouverte.
- 12h15 : Retour au Centre d'essais et déjeuner.
- 13h00 : Entretien d'auto-confrontation avec l'ergonome.

- 15h30 : Fin de la session.

L'ergonome en charge des entretiens d'auto-confrontation s'appuyait sur ses observations et ses notes pour sélectionner des séquences vidéo de situations sensibles à faire commenter par le participant. Un guide d'entretien que nous avons élaboré en amont (Annexe 5) permettait d'orienter les questions sur différents thèmes tels que : le vécu émotionnel, la prise d'information (perceptions), la compréhension des situations et du comportement du véhicule (représentations), les prises de décision, les actions et les résultats de ces actions (succès, erreurs, ratés, etc.). Le but étant de faire expliciter le ressenti et le vécu des participants au plus proche de l'activité pour compléter les enregistrements vidéo et les verbalisations simultanées. Pendant ces entretiens d'auto-confrontation, une caméra était positionnée de façon à pouvoir filmer le participant (enregistrement audio et vidéo) et l'écran projetant les séquences de conduite à commenter.

6.2.2.2. Traitement des données

Comme pour la première étude, notre objectif a d'abord été d'identifier des caractéristiques de situations de conduite potentiellement difficiles, à risque, ou nécessitant une attention accrue pour des conducteurs novices en véhicule automatisé. Ces situations ont permis de conforter et/ou de compléter la liste des situations dites « sensibles » identifiées auprès des pilotes experts. Les données qualitatives recueillies dans cette seconde étude ont donc été traitées de la même manière que celles de notre première étude. Tous les enregistrements audios des entretiens ont été retranscrits et les vidéos ont été analysées de manière chronologique, situation par situation. Nous avons ensuite procédé à des analyses thématiques des entretiens, que nous avons mis au regard des séquences vidéo correspondantes et des verbalisations simultanées. Les situations les plus récurrentes ont été analysées plus finement d'un point de vue clinique (Clot & Leplat, 2005) en mobilisant le modèle SACI de Rabardel (1995). Ces analyses cliniques avaient pour but de retrouver les indices d'une potentielle amorce de genèse instrumentale chez les conducteurs lambda novices. En effet, en identifiant les modifications dans l'activité de conduite et les stratégies mise en œuvre pour « s'adapter », nous souhaitons identifier des débuts de transformations de schèmes.

Nous souhaitons enfin identifier des éventuelles conceptualisations chez les conducteurs novices, montrant leurs capacités à généraliser de manière abstraite leurs connaissances opérationnelles de l'activité, afin d'élargir de façon appropriée le champ d'action de leurs schèmes d'utilisation du véhicule automatisé.

Ainsi, grâce à la triangulation des données recueillies (Apostolidis, 2003; Olsen, 2004) nous avons pu identifier les difficultés rencontrées par les conducteurs lambda novices, et être en mesure de déterminer le besoin, a priori, en termes d'accompagnement des futurs conducteurs de véhicules automatisés.

Par exemple, dans les données que nous avons recueillies nous avons pu observer que dans certaines conditions des participants attendaient avant d'activer la conduite automatisée. En les interrogeant nous avons compris qu'il s'agissait d'une stratégie qui leur permettait d'activer dans des conditions plus simples et sécurisées selon eux.

« Elle est là dans un contexte où j'avais pressenti qu'elle est parfaitement à l'aise la voiture c'est-à-dire que la circulation n'était pas trop dense, c'est fluide, les vitesses sont régulières. J'avais déjà remarqué qu'il n'y avait pas de voie d'accélération sur sa droite et ça elle n'aime pas et donc là c'était des conditions optimales, on sent que là elle est à l'aise » (Participant 3, session 1)

En effet, les relations et médiations en jeu dans cette situation sont les suivantes : le conducteur (sujet de l'activité) a pour objectif d'activer la conduite automatisée (objet de l'activité) grâce au bouton d'activation présent sur le volant (instrument 1) tout en faisant attention au trafic environnant et aux insertions (autres sujets de l'activité) pour permettre au système de prendre la conduite dans les meilleures conditions (instrument 2). Certaines de ces relations et médiations étant nouvelles dans l'activité du conducteur, il a dû s'adapter en conséquence pour apprendre à mieux gérer cette situation spécifique à la conduite automatisée. Ce résultat permet d'identifier en partie une amorce d'élaboration d'un schème d'utilisation du véhicule automatisé relatif aux situations d'activation de la conduite automatisée constitué par : l'identification de la tâche première (activer la conduite automatisée) et des tâches secondes (surveiller l'environnement, appuyer sur le bouton, etc.), de connaissances opérationnelles, de procédures et règles d'utilisation, des invariants opératoires, etc. L'élaboration en cours de ce schème d'utilisation étant couplé à l'attribution de fonction au bouton du volant (activation de la conduite automatisée) et au véhicule (prise en charge la conduite), nous pouvons alors tenter de caractériser la genèse instrumentale en cours chez les conducteurs novices en conduite automatisée. Ce type de résultat est particulièrement intéressant pour penser la construction d'un contenu pédagogique adapté à cette population.

Chapitre 7 : Conception d'un outil didactique embarqué pour accompagner l'apprentissage de la conduite automatisée

La finalité de la thèse concerne la conception d'un outil didactique embarqué pour accompagner l'apprentissage de la conduite automatisée. La question de la conception a donc été centrale et a orienté la méthodologie générale. Ainsi, le croisement des données issues de l'étude des pilotes experts et de l'étude des conducteurs novices a eu pour but d'alimenter l'élaboration d'un contenu pédagogique à partir des besoins en apprentissage identifiés.

La première partie de ce chapitre est consacrée à la méthodologie de construction de ce contenu pédagogique. La seconde section présente la méthodologie de conception de l'outil didactique embarqué basée sur des modèles théoriques de conception d'artefacts pour l'apprentissage d'une activité avec instrument.

7.1. Construction du contenu pédagogique à intégrer dans l'outil didactique

La construction du contenu pédagogique a nécessité de prendre en compte un modèle de l'utilisateur élaboré sur la base de l'analyse de l'activité des conducteurs de véhicules automatisés (Barcenilla & Tijus, 2006). L'identification de leurs tâches, de leurs buts et sous-butts dans des situations sensibles de conduite automatisée, l'identification de traces (pour les pilotes experts) ou d'amorces (pour les conducteurs novices) de leurs genèses instrumentales, ainsi que l'identification de leurs connaissances (savoirs de référence des pilotes experts, et connaissances opérationnelles des conducteurs novices) a permis de guider l'élaboration d'un contenu pédagogique adapté. Ce contenu a été pensé pour permettre à l'apprenant de développer des compétences pour chacune des quatre dimensions de son activité de conduite automatisée (Rabardel & Samurçay, 2006) :

- La planification : diagnostic, pronostic et prise de décision en situation de conduite automatisée.
- La dimension temporelle : dynamique des situations de conduite automatisée, des actions à réaliser (et quand intervenir), et du fonctionnement du véhicule automatisé.

- La coopération : coordination avec les autres usagers de la route, avec le système de conduite automatisé, division des tâches et allocation des rôles entre le conducteur et le véhicule.
- L'activité instrumentée : élaboration, transformation des schèmes sur la base des artefacts mis à leur disposition : procédures et système de contrôle-commande pour activer et désactiver la conduite automatisée, et régulations automatiques de l'activité de conduite.

Pour cela nous avons choisi d'intégrer les connaissances à transmettre dans l'outil didactique selon les deux modes d'exposition proposés par Richard (1983) : la logique de fonctionnement et la logique d'utilisation. A partir des travaux de Samurçay et Rogalski (1998), nous pouvions postuler que les conducteurs apprendraient dans un premier temps les connaissances sur les propriétés et le fonctionnement du système (notamment l'aspect contrôle-commande). L'acquisition des connaissances sur les relations de causalité dans le processus de fonctionnement du système, permettant le développement de compétences de diagnostic, d'anticipation et d'action (autrement dit l'utilisation réelle du système), se faisant sur le plus long terme. C'est pour cette raison que dans la conception de l'outil didactique, nous avons d'abord choisi d'exposer des connaissances qui suivaient la logique de fonctionnement.

La logique de fonctionnement devait permettre de fournir au conducteur un modèle de fonctionnement du véhicule automatisé pour qu'il puisse acquérir des connaissances sur les thèmes suivants :

- La description technique du véhicule automatisé : technologies qui régissent la conduite automatisée, domaine d'usage prévu par les concepteurs, capacités et limites, etc.
- Les différents états de la conduite automatisée : conduite manuelle, conduite automatisée disponible, activée, désactivée, demandes de reprise en main, manœuvre de refuge automatique.
- Les commandes et leurs effets sur les états du système : boutons d'activation / désactivation, commandes de conduite (volant, pédales, etc.).

Il s'agissait donc de prendre en compte la gestion des contraintes imposées par le système automatisé en termes de propriétés techniques (fonctionnement, domaine d'usage, etc.), d'objets de l'activité sur lesquels le système permet d'agir (conduite manuelle et conduite automatisée), et de transformations induites (changement d'états du système et transformation de l'activité de conduite) (Rabardel & Samurçay, 2006). Cette approche avait donc pour but principal d'aider les conducteurs à attribuer des fonctions (transformation de certaines fonctions, attributions de nouvelles fonctions) aux artefacts qu'ils peuvent mobiliser

dans l'activité de conduite automatisée. L'objectif était de guider a priori l'instrumentalisation, et donc leurs genèses instrumentales requises avec le véhicule automatisé.

La logique d'utilisation (Richard, 1983) devait permettre d'exposer des connaissances basées sur des objectifs d'action en situation d'usage (par exemple, comment activer / désactiver la conduite automatisée en fonction du contexte, laisser agir le véhicule dans certaines situations, etc.). Le but était de fournir un modèle d'utilisation du véhicule automatisé aux conducteurs permettant d'identifier des caractéristiques de situations, ainsi que les choix et usages appropriés. Avec cette approche, nous souhaitons aider les conducteurs à mieux comprendre et anticiper les conséquences de leurs actions et des comportements du véhicule automatisé, en fonction des caractéristiques des situations, pour qu'ils puissent les réguler ou envisager des buts de surveillance appropriés (Rabardel & Samurçay, 2006). En suivant le constat fait par Samurçay (1994), nous avons donc structuré ce contenu autour de connaissances opératoires (pour l'action) adaptées à l'activité et aux tâches des conducteurs, afin de faciliter le développement de leurs compétences en conduite automatisée. L'exposition des connaissances selon la logique d'utilisation visait donc à guider la transformation des schèmes du sujet, autrement dit l'instrumentation de ce dernier dans le processus de genèse instrumentale avec le véhicule automatisé.

Un parallèle a été fait avec la matrice GDE (cf. section 1.2.1.3.) et avec le constat fait par Boccara dans sa thèse en 2011, selon lequel les formations initiales à la conduite automobile traditionnelle se concentrent essentiellement sur les deux premiers niveaux du modèle GDE : la maîtrise instrumentale du véhicule (fonctionnement, commandes, etc.), et la maîtrise des situations de conduite (coopération, diagnostic, pronostic, prise de décision, etc.). Boccara suggérait alors que les formations devaient également intervenir sur les deux autres niveaux du modèle GDE, notamment pour recentrer l'apprentissage sur le développement des méta-connaissances des conducteurs. Cela aurait pour intérêt de favoriser les autorégulations des conducteurs novices pour qu'ils puissent mieux appréhender et gérer les risques routiers. C'est ce que nous avons tenté de faire en concevant notre outil didactique tel que nous le décrivons dans la section suivante.

7.2. Méthode de conception de l'outil didactique embarqué

Les différents cadres théoriques mobilisés pour concevoir l'outil didactique embarqué ont permis de dégager des grands principes de conception permettant de répondre à notre problématique.

Nous avons d'abord commencé par situer l'outil didactique embarqué au sein du système d'artefacts plus global pensé pour le projet AD Learning (cf. INTRODUCTION GENERALE). En effet, cet outil didactique embarqué à concevoir a été évoqué avant même d'être imaginé pour être intégré au sein d'un « parcours client » de prise de connaissance sur le véhicule automatisé. Schématiquement, ce parcours client peut être découpé en trois grands moments intéressants du point de vue des apprentissages : la prise de connaissance du nouveau système (bien souvent à distance, le client se renseigne), la découverte du système en concession, et la mise en main du système par l'utilisateur quelques temps après l'acte d'achat. La modalité didactique embarquée que nous avons conçue arrive à la toute fin de ce parcours, pendant la phase de prise en main du véhicule par son utilisateur. Cette modalité arriverait après d'autres modalités pédagogiques : par exemple une modalité dite « auto-portante » donnant accès à des vidéos pédagogiques sur internet et d'autres modalités davantage immersives et projectives, au sein même d'une concession automobile (un simulateur physique et un simulateur en réalité virtuelle seraient mis à disposition des futurs conducteurs de véhicules automatisés).

Le positionnement de notre artefact embarqué au sein d'un écosystème d'outils didactiques plus large a permis de cadrer les situations d'usage pouvant potentiellement permettre l'apprentissage des conducteurs nouvellement propriétaires de véhicules automatisés. Ainsi, nous avons identifié trois contextes potentiellement favorables à l'apprentissage à bord du véhicule : (1) au moment de la mise en main du véhicule en concession avec le « metteur en main » (l'outil didactique pouvant alors servir de support de mise en main), (2) seul dans son véhicule, avant les premiers trajets, tout en étant à l'arrêt sur un parking ou dans un garage, et (3) lorsque la conduite automatisée est activée et que le conducteur peut théoriquement vaquer à d'autres occupations.

Une fois les situations potentielles d'apprentissage identifiées, nous nous sommes penchés sur la contrainte majeure de cette conception : la modalité embarquée. L'environnement d'apprentissage étant l'habitacle même du véhicule automatisé, nous avons d'abord dû orchestrer l'ensemble des artefacts primaires (Wartofsky, 1983 ; Trouche, 2003, 2007) pouvant potentiellement servir l'apprentissage présent dans cet environnement (1^{er} niveau de configuration didactique). Parmi ceux-ci, nous retrouvons l'écran central tactile du véhicule, l'écran du tableau de bord, le volant, les pédales, les boutons, les lumières et les haut-parleurs. Ce premier niveau d'orchestration du système d'artefacts primaires nous a permis d'envisager un modèle des actions possibles de l'apprenant et des rétroactions de l'environnement (interactions possibles : audiovisuelles, tactiles, haptiques), ainsi qu'un modèle de communication médiatisé entre l'apprenant et le système d'artefacts (utilisation de

l'écran tactile central et de l'écran du tableau de bord pour interagir avec les interfaces, et utilisation du volant, des pédales, et des boutons pour interagir avec une simulation) (Tchounikine, 2002). En raison de ses capacités à pouvoir héberger et afficher une interface à la fois interactive, visuelle et tactile, nous avons choisi l'écran central comme artefact pivot (au sens de Bourmaud, 2006) de ce premier niveau de système d'artefacts. C'est donc lui qui a accueilli le logiciel de l'outil didactique que nous avons conçu.

Le deuxième niveau de configuration didactique a concerné l'orchestration des artefacts secondaires, autrement dit des connaissances constituant le contenu pédagogique au sein même du logiciel didactique embarqué dans l'écran tactile central. Ce contenu pédagogique que nous avons élaboré peut être considéré comme un modèle des connaissances du domaine englobant un modèle de l'utilisateur (du conducteur apprenant la conduite automatisée). On y retrouve donc des schèmes sociaux d'utilisation, des connaissances opératives, des représentations des artefacts primaires et de leurs modes d'action, et des savoirs de références. Cet ensemble s'appuie sur la reconstruction des genèses instrumentales des conducteurs et l'identification des débuts de genèses des deux études préliminaires. Pour assurer cette orchestration de deuxième niveau, nous avons réparti tout ce contenu pédagogique au sein de différents artefacts, ou « modules », ayant des caractéristiques propres, appropriés aux connaissances exposées. Nous avons donc conçu des modules qui suivaient une logique de fonctionnement et d'autres qui suivaient une logique d'utilisation. Nous avons considéré ce deuxième niveau de système d'artefacts comme étant a priori le sous-système pivot du système d'artefact principal, avec comme artefact pivot a priori l'interface principale du logiciel didactique.

Comme nous venons de le mentionner, ces modules (ou artefacts) ont été conçus spécifiquement dans un but de développement de l'apprenant. L'orchestration de ces derniers constitue donc le 3^{ème} niveau de configuration didactique, un peu plus « méta », que Trouche expose dans ses travaux (Trouche, 2003, 2007). La conception et l'orchestration de ces artefacts a nécessité de prendre en compte des modèles d'interactions didactiques et tutorielles pour mieux guider les apprenants (Tchounikine, 2002). Certains des modules que nous avons conçus proposent une variété de formats textuels, schématiques et vidéo, alors que d'autres sont plus interactifs et rétroactifs, proposant notamment des simulations de conduite et des outils réflexifs visant l'auto-analyse (suivi de la progression, feedbacks, quizz). Pour concevoir plus spécifiquement les simulations nous avons pris en compte les trois dimensions suivantes du modèle de Samurçay (Samurçay & Rogalski, 1998 ; Samurçay, 2005) :

- Un modèle de l'environnement intérieur (l'habitacle du véhicule) et extérieur (routes, trafic, etc.).
- Un modèle de simulateur « *full-scale* » utilisant l'habitacle, les interfaces, et les commandes réelles du véhicule automatisé, mais avec une scène de conduite minimaliste due aux contraintes d'affichage de l'écran du tableau de bord.
- Un modèle de situations de référence : situation sensibles issues de nos deux études préliminaires que les conducteurs devraient être capables de gérer après l'entraînement. La transposition didactique a été faite à partir de découpages en buts et sous-butts et du découpage « partie-tout » (division en buts et sous-butts de l'activité, et sélection de variables pertinentes pour l'apprentissage, et découpage « partie-tout » par tâches et sous-tâches et/ou processus à manipuler) des situations de références (notamment des situations d'activation et de désactivation de la conduite automatisée). Ce processus nous a permis de proposer plusieurs scénarios de complexités différentes.

Pour permettre aux conducteurs apprenant de développer leurs méta-connaissances, nous leur avons proposé des feedbacks à la fin de chaque scénario de simulation, faisant état de leurs réussites et de leurs erreurs, tout en leur proposant des renvois vers du contenu pédagogique pertinent au sein des autres modules de l'outil didactique pour fournir des explications. Dans la même lignée, nous avons intégré dans d'autres modules des méthodes réflexives visant l'auto-analyse. Il s'agit alors de proposer des rétroactions basées sur le modèle des connaissances du domaine (Vadcard & Luengo, 2005). Ainsi, les feedbacks et les rétroactions devant permettre à l'apprenant de reconnaître, d'identifier et catégoriser ses erreurs, ont nécessité de prévoir un moyen d'enregistrer et d'analyser les traces de l'activité de l'apprenant et d'établir un diagnostic pour choisir la meilleure rétroaction (Vadcard & Luengo, 2005 ; Trouche, 2007).

Pour conclure cette section, dans notre démarche de conception nous avons pris en compte le fait que l'apprenant ne serait pas toujours accompagné, et qu'il devrait faire preuve d'autodidaxie. Dans le cadre de ce travail, nous (en tant que concepteurs du dispositif) avons donc pris un rôle similaire à celui de l'enseignant pour orchestrer et proposer des systèmes d'artefacts visant à favoriser l'apprentissage de la conduite automatisée. Notre volonté était d'orienter les genèses instrumentales. Nos systèmes d'artefacts devaient donc :

- Organiser de vastes ensembles d'artefacts et de ressources de nature hétérogène.
- Être liés aux objectifs de l'action poursuivis par le sujet (meilleur équilibre entre économie et efficacité).

- Présenter des caractéristiques de complémentarités et de redondances de fonctions (flexibilité et souplesse). Trouche (2007) précise également une flexibilité et une souplesse de l'orchestration.
- Pouvant être différent d'un sujet à un autre et structuré en fonction de son expérience et de ses compétences.
- Posséder un artefact pivot (optionnel).

Nous avons conçu un emboîtement de plusieurs niveaux de systèmes d'artefacts, constituant chacun un environnement pour l'apprentissage ayant ses propres caractéristiques, comme l'illustre la Figure 24. Dans ce processus nous n'oublions pas que la conception ne peut pas réellement anticiper les usages, qu'elle se poursuit justement dans l'usage (Rabardel, 1995). Nous cherchons à l'orienter pour éviter des risques que nous avons identifiés à partir des situations sensibles.

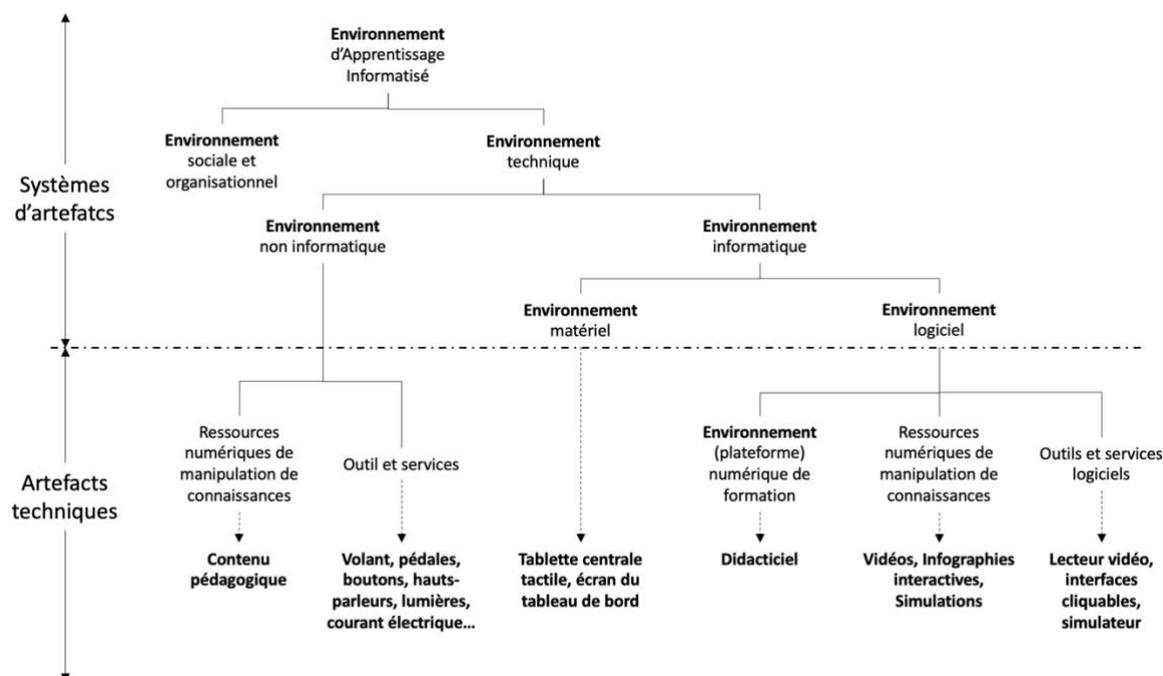


Figure 24 : Organisation des artefacts de l'outil didactique embarqué en systèmes d'artefacts constituant des environnements (adapté de Pernin, 2007)

En reprenant le schéma de Pernin (2007), nous avons replacé l'ensemble des artefacts et des ressources disponibles dans l'environnement d'apprentissage de la conduite automatisée, constitué par le véhicule automatisé lui-même, mettant en évidence l'organisation systémique de notre dispositif didactique. Il est important de noter que nous (en tant que concepteurs) avons fait un usage catachrétique (Rabardel, 1995) du véhicule automatisé, en ce sens que nous avons réutilisé certains des artefacts qui le composent dans un but non prévu par les concepteurs des prototypes : supporter l'apprentissage de la conduite automatisée.

Enfin, la mobilisation de tous ces principes de conception a été rendue possible grâce à la méthode de conception centrée utilisateur que nous avons empruntée à Norman et Draper (Norman & Draper, 1986; Norman, 1988). Le principe, comme son nom l'indique, est de prendre en compte l'utilisateur dans la conception d'un artefact informatique en le plaçant au centre du processus de conception. Cette démarche anthropocentrique se concentre sur la ou les tâches que l'utilisateur doit effectuer avec l'artefact conçu (Jean-Daubias, 2004). Cela s'est traduit, dans nos travaux, d'abord par la prise en compte des résultats issus de l'analyse de l'activité des conducteurs (utilisateurs finaux des véhicules automatisés et de l'outil didactique) qui conduisent à identifier des situations sensibles et des aspects a priori de la genèse instrumentale, puis par leur intégration au processus de conception itératif que nous avons mis en œuvre par le biais de sessions de tests utilisateurs. Ayant observé et questionné leurs usages du dispositif au fil de la conception, nous les avons également interrogés sur leurs attentes concernant une telle aide embarquée pour l'apprentissage de la conduite automatisée. L'outil didactique a donc évolué au fur et à mesure du processus de conception itératif, jusqu'à la version de prototype final que nous avons évaluée pour répondre à nos questions de recherche initiales ; pour rappel, comment élaborer un contenu de connaissances adapté aux besoins des futurs conducteurs ? Et comment concevoir un dispositif embarqué adapté au contexte d'usage du véhicule automatisé ?

Cette méthode, reprise dans le cadre de l'approche instrumentale, a été adaptée par Rabardel (1995) pour mettre en avant l'inscription des processus de genèse instrumentale dans le cycle de conception d'un artefact. Il propose un modèle (Figure 25), nommé « boucle de la conception », illustrant cette méthode qui, selon Bourmaud (2006), permet d'envisager :

- « *Le prolongement des fonctions et propriétés constituantes par la constitution de nouvelles fonctions et propriétés (les fonctions et propriétés constituées).*
- *L'inscription des fonctions et propriétés constituées dans l'artefact formant ainsi de nouvelles fonctions et propriétés constituantes ».*

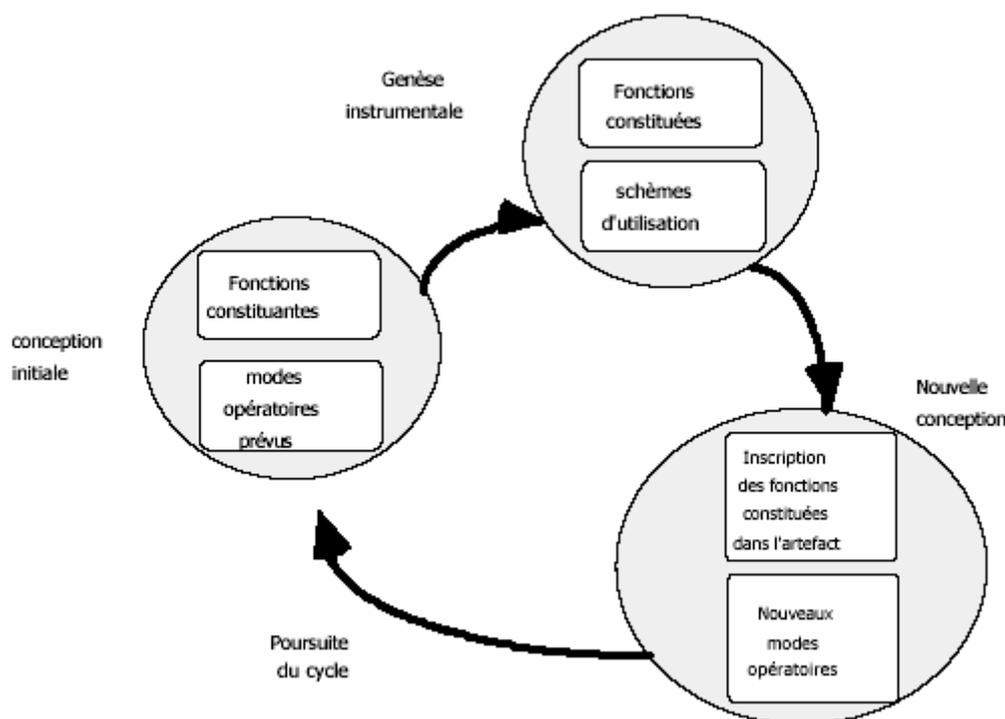


Figure 25 : La boucle de la conception (Rabardel, 1995).

Ce modèle permet de prendre en compte à la fois les fonctions des artefacts, et les schèmes d'utilisation, comme éléments majeurs de la conception dans l'usage, grâce aux processus d'instrumentation et d'instrumentalisation. Cela permet aux concepteurs d'envisager de nouveaux modes opératoires adaptés aux besoins et à l'activité des utilisateurs (Bourmaud, 2006).

7.3. Conclusion du chapitre : vers un modèle de conception pour l'apprentissage médiatisé en situation

Dans ce chapitre nous avons dans un premier temps décrit comment nous avons conçu le contenu pédagogique destiné aux futurs conducteurs de véhicules automatisés, à partir de l'analyse de leur activité et des données empiriques recueillies dans nos deux premières études (auprès des pilotes experts, puis des conducteurs novices). Dans un premier temps, ce contenu pédagogique devait intervenir sur les deux premiers niveaux du modèle GDE (Boccaro, 2011 ; Siegrist, 1999), tout en permettant le développement des méta-connaissances des conducteurs. Ensuite, nous souhaitons intégrer un modèle de l'utilisateur et un modèle d'utilisation du véhicule automatisé, à la conception de l'outil didactique, englobant a priori des dimensions de l'activité de conduite automatisée en fonction des situations sensibles. Nous avons élaboré ce contenu pédagogique en fonction des deux modes d'exposition de Richard (1983), en proposant d'une part des connaissances répondant

à une logique de fonctionnement du véhicule automatisé (description technique, propriétés et fonctionnement, système de contrôle-commande, états du système, etc.), et d'autre part des connaissances répondant à une logique d'utilisation de ce dernier (connaissances opérationnelles orientées vers le diagnostic, le pronostic, la prise de décision, et les actions en fonction des objets de l'activité, du comportement du véhicule et des situations). La première logique avait pour but de favoriser l'instrumentalisation du véhicule automatisé en guidant a priori l'attribution de fonctions à ce dernier par le conducteur, en lui fournissant un modèle de fonctionnement du système lui permettant d'élaborer des connaissances sur le fonctionnement. La seconde logique avait comme objectif de fournir un modèle d'utilisation du véhicule automatisé qui soit en adéquation avec le modèle de fonctionnement, permettant la transformation des schèmes d'utilisation des conducteurs, c'est-à-dire l'instrumentation a priori de ces derniers.

Dans un second temps, nous avons montré comment nous avons articulé différents modèles théoriques de conception d'artefacts informatiques pour l'apprentissage, tout en prenant en compte l'ensemble des contraintes imposées par l'environnement d'apprentissage considéré. D'abord, au sein du projet AD Learning, l'outil didactique faisait partie d'un plus grand ensemble d'artefacts destinés à accompagner les futurs conducteurs de véhicules automatisés. Il s'inscrit en bout de « parcours client », une fois que ces derniers sont en possession de leur nouveau véhicule. Nous avons ainsi conçu un système d'artefacts pour l'apprentissage embarqué au plus près de ce que nous avons pu observer de l'activité réelle des conducteurs, au sein même de l'habitacle, considérant ainsi l'environnement comme lieu d'apprentissage potentiel. Nous avons ensuite considéré toutes les contraintes et les possibilités imposées par l'habitacle en orchestrant un ensemble d'artefacts primaires (écran tactile central, écran du tableau de bord, volant, pédales, boutons, lumières et haut-parleurs) pour constituer un premier niveau de système d'artefacts pour l'apprentissage (1^{er} niveau de configuration didactique). Nous avons considéré l'écran tactile central comme artefact a priori pivot de ce premier système, au sein duquel nous avons orchestré deux sous-systèmes d'artefacts pour l'apprentissage. Le premier sous-système concerne les connaissances présentes dans le contenu pédagogique, que nous avons réparties au sein de différents modules (ou artefacts) respectant les logiques de fonctionnement et d'utilisation évoquées plus haut (2^{ème} niveau de configuration didactique). Pour le second sous-système (sous-système pivot de l'ensemble des systèmes d'artefacts orchestrés), nous avons orchestré les modules eux-mêmes au sein du logiciel didactique en fonction de la nature de leur intention didactique, prenant comme artefact pivot l'interface principale de ce dernier (3^{ème} niveau de configuration didactique). Ainsi, ces modules ont été conçus selon différents formats contribuant au développement des conducteurs (textes, schémas, infographies interactives,

vidéos pédagogiques, simulations, et méthodes réflexives d'auto-analyse permettant des feedbacks et des rétroactions devant favoriser le développement de méta-connaissances).

Nous proposons ainsi un modèle de conception pour l'apprentissage médiatisé en situation que nous illustrons grâce au schéma de la Figure 26. Ce schéma montre l'intégration de l'outil didactique au sein de l'environnement des conducteurs de véhicules automatisés, et sa décomposition en différents niveaux de systèmes d'artefacts permettant de supporter l'apprentissage de la conduite automatisée au sein même du véhicule. Le dispositif didactique développé tout au long de cette thèse dispose donc d'un logiciel didactique, ou didacticiel, comme artefact central, pivot organisant l'ensemble des systèmes et sous-systèmes d'artefacts élaborés. Ce didacticiel étant destiné à l'activité de conduite automobile automatisée, et permettant au conducteur d'apprendre en autodidaxie, nous l'avons appelé « AUTO-DIDACT' ». « Auto » pour « automobile automatisée » et « Didact' » pour « didacticiel », l'ensemble formant le mot « autodidacte ».

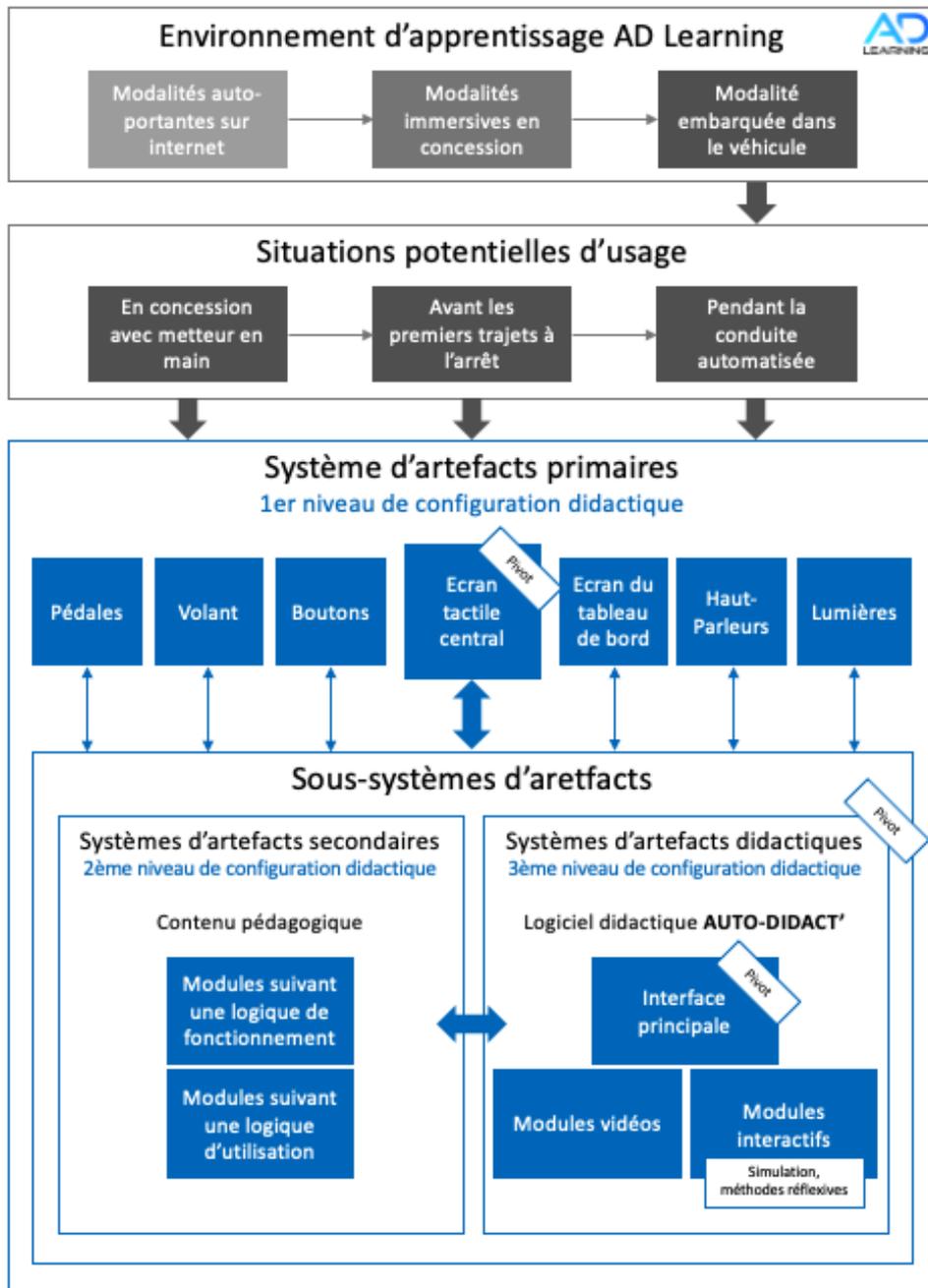


Figure 26 : Modèle de conception pour l'apprentissage médiatisé en situation.

Chapitre 8 : Évaluation de l'outil didactique embarqué et son impact sur l'activité de conduite automatisée en simulateur

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, « AUTO-DIDACT' » est le résultat du travail théorique et empirique réalisé tout au long de cette thèse. Une fois le PoC (*Proof of Concept*) conçu, nous avons souhaité vérifier nos hypothèses de recherche à travers une ultime expérimentation ayant pour but d'évaluer les effets de l'utilisation de ce didacticiel sur l'activité de conduite automatisée. Nous pensons que l'utilisation du didacticiel avant les premiers trajets en véhicule automatisé pourrait permettre au conducteur de mieux gérer les situations sensibles qu'il sera susceptible de rencontrer sur la route. L'amélioration des performances des conducteurs ayant eu accès à « AUTO-DIDACT' » devrait donc pouvoir s'observer à différents niveaux.

Premièrement, nous pensons que les conducteurs utilisant « AUTO-DIDACT' » pourront acquérir des connaissances sur le fonctionnement du système (technologies, capacités et limites, conditions d'utilisation, interactions, etc.) permettant de mieux comprendre le comportement de conduite du véhicule automatisé, et d'élaborer une représentation plus fidèle de cet artefact.

Deuxièmement, nous pensons que l'usage simulé du véhicule automatisé dans des conditions sécurisées, permis par le didacticiel, permettra aux conducteurs de pouvoir réaliser les procédures d'activation et de désactivation de la conduite automatisée, et donc d'acquérir ces capacités avant même d'arriver en situation réelle. En effet, nous pensons que le didacticiel « AUTO-DIDACT' » permettra d'amorcer la transformation des schèmes de conduite « traditionnelle » nécessaire à la bonne réalisation de ces procédures.

Troisièmement, nous pensons que l'approche situationnelle déployée dans le didacticiel aura pour effet d'aider les conducteurs à identifier et reconnaître les situations sensibles spécifiques à la conduite automatisée. Nous émettons l'hypothèse qu'ils auront plus de facilité à les anticiper et à les gérer, soit en inhibant des schèmes de la conduite traditionnelle, soit en transformant des schèmes existant pour les adapter aux nouvelles situations et au nouvel artefact.

Afin de vérifier ces hypothèses, nous avons mis en place une étude longitudinale et comparative auprès de conducteurs « lambda » novices en conduite automatisée sur

simulateur. Cette étude visait à comparer l'activité de conduite automatisée de deux groupes : l'un ayant eu accès au didacticiel « AUTO-DIDACT' » avant roulage sur simulateur, l'autre n'ayant eu aucune ressource de formation à disposition. Les sections suivantes présentent dans un premier temps les caractéristiques des populations composant nos deux groupes, les caractéristiques du simulateur utilisé et les deux scénarios conçus spécifiquement pour cette évaluation. Nous présentons ensuite le plan de l'étude, ainsi que le recueil et le traitement des données.

8.1. Matériel

8.1.1. Population étudiée

Nous avons recruté 16 participants répondant à certains critères que nous avons établis afin de nous assurer de la cohérence et de la validité de nos résultats. Ces critères de sélection correspondaient d'abord à une parité des genres dans l'ensemble de notre panel et un âge compris entre 25 et 70 ans. L'ensemble des participants n'a jamais eu d'expérience en conduite automatisée, que ce soit en prototype fonctionnel ou en simulateur. En termes d'expérience de conduite « traditionnelle », nos participants devaient avoir au minimum cinq ans d'expérience (autrement dit cinq ans de permis B), une fréquence de conduite d'au moins plusieurs fois par semaine avec un véhicule de moins de sept ans, et au minimum 10 000 kilomètres parcourus par an (estimations faites par les participants). Enfin, nous souhaitions également une parité dans l'usage des boîtes de vitesse manuelles et automatiques, et dans la connaissance et la fréquence d'usage du régulateur de vitesse (adaptatif ou non).

Les 16 participants ont été répartis dans les deux groupes, le plus équitablement possible. Les caractéristiques des participants de chaque groupe sont exposées dans les sections suivantes (Tableau 5 et Tableau 6).

8.1.1.1. Groupe 1 « didacticiel » : le groupe test ayant eu accès au didacticiel avant les roulages

Le Groupe 1 (Tableau 5), correspondant au groupe test ayant eu accès au didacticiel avant les roulages, était composé de quatre femmes et quatre hommes dont la moyenne d'âge est de 45 ans ($\sigma = 13,5$). Tous les participants avaient plus de 10 ans d'expérience de conduite, sauf un qui avait entre 5 et 10 ans de permis. Cinq d'entre eux conduisaient tous les jours, deux conduisaient trois à quatre fois par semaine, et un seul conduisait plusieurs fois par mois, avec une moyenne de 17 625 kilomètres parcourus par an. La moitié des participants

conduisait des véhicules dotés de boîte de vitesse automatique. Enfin, trois participants sur les huit utilisaient fréquemment un régulateur de vitesse (plusieurs fois par semaine), et les cinq autres l'utilisaient peu fréquemment (une fois par mois ou moins).

Participant	Genre	Âge	Détention permis B	Fq de conduite	Km/an	Boîte de vitesse	Fq usage Régulateur
P1G1	H	31	+10 ans	5	45000	Manuelle	5
P2G1	F	55	+10 ans	5	20000	Auto	5
P3G1	H	48	+10 ans	5	23000	Manuelle	3
P4G1	F	54	+10 ans	5	11000	Manuelle	3
P5G1	H	48	+10 ans	4	12000	Auto	2
P6G1 ²³	F	25	5 à 10 ans	2	5000	Manuelle	2
P7G1	F	36	+10 ans	5	10000	Auto	3
P8G1	H	65	+10 ans	4	15000	Auto	5

Tableau 5 : Description de la population de conducteurs lambda novices en conduite automatisée du Groupe 1 « didacticiel ».

Légende : Fq = Fréquence. H = Homme, F = Femme.

- Fréquence de conduite : 0 = jamais, 1 = une fois par an, 2 = deux ou trois fois par mois, 3 = une fois par semaine, 4 = trois ou quatre fois par semaine, et 5 = tous les jours ou presque.
- Fréquence d'usage du régulateur de vitesse : 0 = je ne connais pas, 1 = je connais mais je n'ai jamais utilisé, 2 = j'ai déjà utilisé sur un véhicule équipé, 3 = j'utilise environ une fois par mois avec mon véhicule, 4 = j'utilise environ une fois par semaine avec mon véhicule, et 5 = j'utilise plusieurs fois par semaine avec mon véhicule.

8.1.1.2. Groupe 2 « sans didacticiel » : le groupe témoin n'ayant pas au accès au didacticiel avant les roulages

Le Groupe 2 « sans didacticiel » (Tableau 6), quant à lui, correspondait au groupe témoin n'ayant pas au accès au didacticiel avant les phases de conduite sur le simulateur. Il était également composé de quatre femmes et quatre hommes, avec une moyenne d'âge de 44 ans ($\sigma = 9,7$). Comme pour le Groupe 1 « didacticiel », l'ensemble des participant avait plus de 10 ans de permis B, sauf un qui avait entre 5 et 10 ans d'expérience. Tous conduisaient tous les jours ou presque, sauf un qui conduisait 3 à 4 fois par semaine, pour une moyenne estimée à 20 875 kilomètres parcourus par an. Les trois quarts des participants de ce groupe conduisaient des véhicules dotés d'une boîte de vitesse manuelle, et seulement deux participants conduisaient avec une boîte de vitesse automatique. Enfin, six d'entre eux utilisaient un régulateur de vitesse fréquemment, un l'utilisait peu fréquemment et un autre n'en avait jamais utilisé.

²³ Nous avons intégré ce participant à l'étude en urgence pour remplacer un participant ayant annulé à la dernière minute en raison de la crise sanitaire du Covid-19. Ceci explique pourquoi ses caractéristiques ne correspondent pas totalement aux critères que nous avons prévus.

Participant	Genre	Âge	Détention permis B	Fq de conduite	Km/an	Boîte de vitesse	Fq usage Régulateur
P1G2	H	57	+10 ans	5	20000	Manuelle	5
P2G2	H	45	+10 ans	4	15000	Auto	3
P3G2	F	50	+10 ans	5	30000	Manuelle	5
P4G2	H	54	+10 ans	5	30000	Manuelle	3
P5G2	F	31	+10 ans	5	15000	Auto	5
P6G2	F	40	+10 ans	5	17000	Manuelle	5
P7G2	H	43	+10 ans	5	20000	Manuelle	5
P8G2	F	31	5 à 10 ans	5	20000	Manuelle	1

Tableau 6 : Description de la population de conducteurs lambda novices en conduite automatisée du Groupe 2 « sans didacticiel ».

Légende : Fq = Fréquence. H = Homme, F = Femme.

- Fréquence de conduite : 0 = jamais, 1 = une fois par an, 2 = deux ou trois fois par mois, 3 = une fois par semaine, 4 = trois ou quatre fois par semaine, et 5 = tous les jours ou presque.
- Fréquence d'usage du régulateur de vitesse : 0 = je ne connais pas, 1 = je connais mais je n'ai jamais utilisé, 2 = j'ai déjà utilisé sur un véhicule équipé, 3 = j'utilise environ une fois par mois avec mon véhicule, 4 = j'utilise environ une fois par semaine avec mon véhicule, et 5 = j'utilise plusieurs fois par semaine avec mon véhicule.

8.1.2. Caractéristiques du simulateur de conduite automatisée « Easy Drive Learning »

Le simulateur statique utilisé a été conçu dans le cadre du projet AD Learning. Il proposait de simuler une expérience en conduite automatisée de niveau 3 ou 4 SAE, dans un cockpit monoplace s'inspirant de l'habitacle d'un Renault Espace (Figure 27). L'utilisateur pouvait ainsi conduire manuellement avec une boîte de vitesse automatique, puis activer la conduite automatisée sur les tronçons d'autoroute ou de voie rapide prévus dans des scénarios de conduite. Le simulateur fonctionnait avec la suite SCANeR Studio permettant d'exécuter la simulation, d'enregistrer et d'analyser les résultats. Pour les besoins de l'expérimentation, les scénarios et le système automatisé du simulateur étaient prévus pour une expérience de conduite automatisée de niveau 3 SAE.



Figure 27 : Simulateur de conduite automatisée Easy Drive Learning développé chez Renault dans le cadre du projet AD Learning.

Comme pour le prototype fonctionnel utilisé dans nos deux premières études, le mode automatisé était activable lorsque les interfaces du simulateur le signalaient (écran du tableau de bord, son, voix, et lumières de l'habitacle qui changeaient). Cela signifiait que les conditions « macro » de disponibilité étaient réunies. Pour activer le mode automatisé, le conducteur devait ensuite appuyer simultanément sur deux boutons situés de part et d'autre des branches du volant. Cette redondance permettait notamment d'éviter une activation involontaire du conducteur. Lorsque le mode automatisé était activé, le véhicule gérait tous les aspects de la conduite (longitudinale et latérale) de 0 à 110 km/h. À ce moment-là, le conducteur pouvait théoriquement se désengager totalement de la conduite et vaquer à d'autres occupations. À la différence du prototype fonctionnel, le changement de voie était complètement automatisé, mais dépendait fortement des événements prévus dans les scénarios. En effet, le conducteur ne pouvait pas demander un changement de voie au véhicule en activant un clignotant.

Le conducteur pouvait reprendre la main à tout moment, pour cela il disposait des mêmes modalités de reprise en main que sur le prototype fonctionnel : (1) en appuyant à nouveau sur les deux boutons du volant, (2) en tournant le volant suffisamment fort pour que cela soit pris en compte (si le couple volant exercé n'était pas suffisamment important, le système l'interprétait comme étant involontaire et ne réagissait pas), (3) en accélérant, ou (4) en freinant. Toujours comme pour le prototype fonctionnel, le système pouvait demander au conducteur de reprendre la main en l'alertant via les différentes interfaces (tableau de bord,

son, voix et lumières de l'habitacle). Il pouvait alors s'agir d'une demande de reprise en main rapide (en 10 secondes) liée à une situation que le système ne savait pas gérer (travaux, conditions météorologiques défavorables, capteur ou caméra défaillant, etc.) ; ou d'une demande de reprise en main anticipée (en 60 secondes) car le véhicule s'apprêtait à quitter une zone de disponibilité du mode automatisé. Dans les deux cas, un décompte apparaissait sur l'interface du tableau de bord, et si le conducteur ne réagissait pas avant la fin de ce décompte, le système déclenchait une manœuvre de refuge automatique en activant les *warnings* et en ralentissant jusqu'à s'arrêter sur la voie la plus à droite possible (bande d'arrêt d'urgence comprise). Au même moment les alertes dans le véhicule s'intensifiaient pour avertir le conducteur du potentiel danger de la situation.

Concernant l'interface du tableau de bord (Figure 28), il s'agissait de la même Situation Awareness View (SA View) que dans le prototype fonctionnel, mais cette dernière avait bénéficié de mises à jour graphiques et fonctionnelles. On y retrouvait toujours les mêmes informations, à savoir une reconstitution schématisée de la route avec les véhicules entourant le véhicule automatisé (voitures, poids-lourds, motos), qui évoluait en temps réel. Outre les informations classiques de vitesse, du niveau d'énergie, et autre, on y retrouvait également des informations sur l'état du mode automatisé (disponibilité, durée de disponibilité, état de marche ou non, demande de reprise en main).

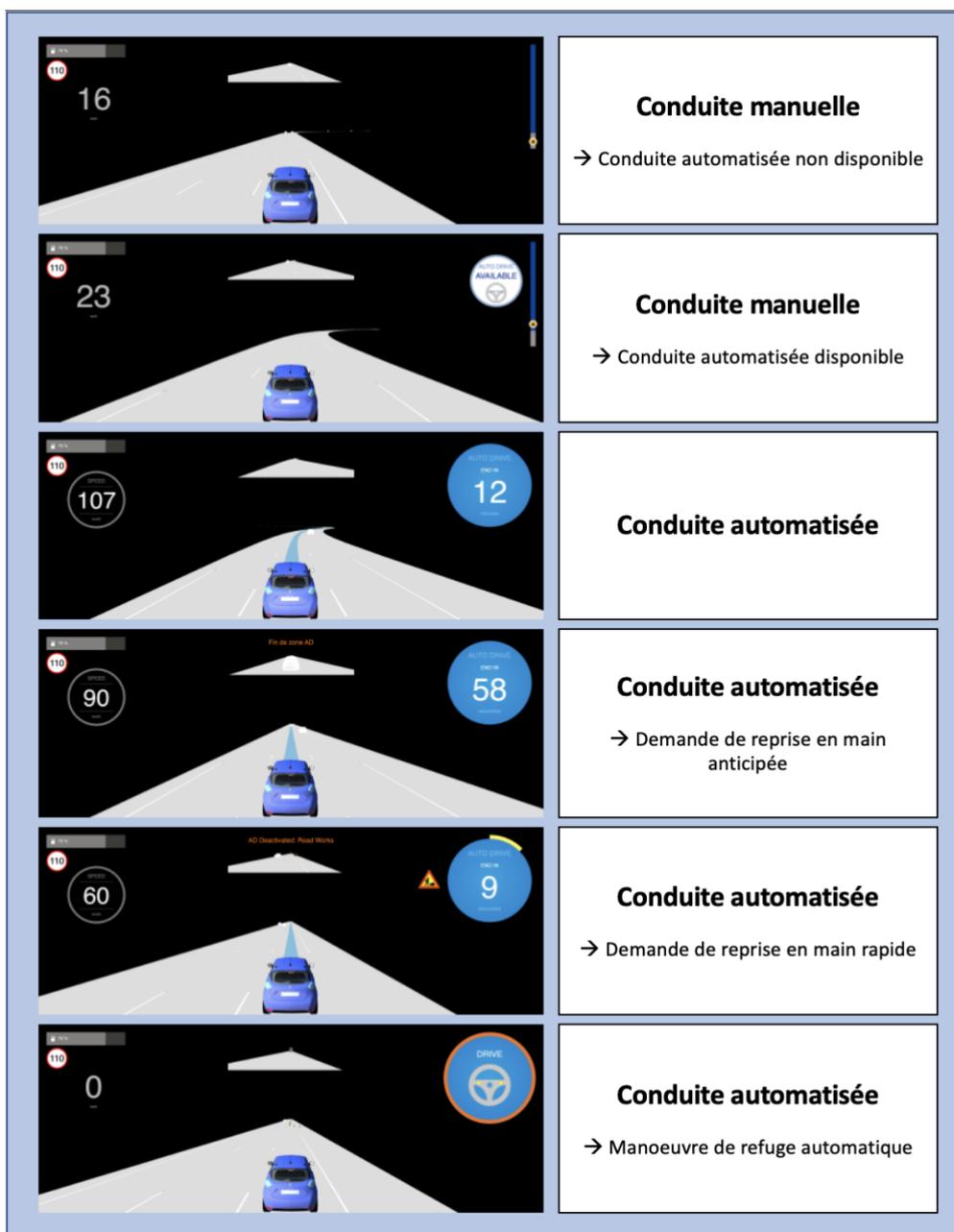


Figure 28 : Interfaces de la conduite automatisée (SA View) présentes sur l'écran du tableau de bord du simulateur.

Enfin, l'écran central (aussi appelé « Multimédia ») disponible au centre de la planche de bord du simulateur était une tablette avec un écran de 11 pouces. Il proposait une interface assez classique avec différentes applications telle que la musique, la radio, la navigation GPS. On y trouvait également des applications en lien avec les « activités de vie » à bord théoriquement possibles en conduite automatisée, comme un navigateur internet, un lecteur de vidéo, l'application YouTube, ou encore des mini jeux-vidéos. Notons que c'est sur cet écran que l'interface principale du didacticiel « AUTO-DIDACT' » était présente pour le Groupe 1.

En résumé, et à l'image du prototype fonctionnel de véhicule automatisé, le cockpit du simulateur de conduite automatisée constituait lui aussi un ensemble d'artefact pour l'utilisateur. Les artefacts composant cet ensemble pouvaient a priori, du point de vue du concepteur, être complémentaires ou redondants entre eux. Ils pouvaient également être directement ou indirectement liés à la conduite automatisée. Ainsi, nous retrouvions les artefacts suivants :

- Les commandes de conduite (volant, pédales, commodos).
- Les rétroviseurs (central et latéraux).
- Deux écrans (tableau de bord et multimédia central).
- Les boutons d'activation et de désactivation de la conduite automatisée situés de part et d'autre des branches du volant.

Le démonstrateur Easy Drive Learning était également équipé d'un dispositif de recueil de données audio et vidéo à l'aide de micros et de trois caméras : (1) une située derrière le siège au-dessus de l'épaule droite du conducteur pour filmer la scène de conduite, les mains du conducteur, le volant et les écrans ; (2) une située à droite de la planche de bord et orientée vers le conducteur pour filmer son buste et son visage ; et (3) une située au niveau du pédalier et filmait les pieds du conducteur. Le résultat obtenu après montage des vidéos est illustré par la Figure 29 ci-dessous.

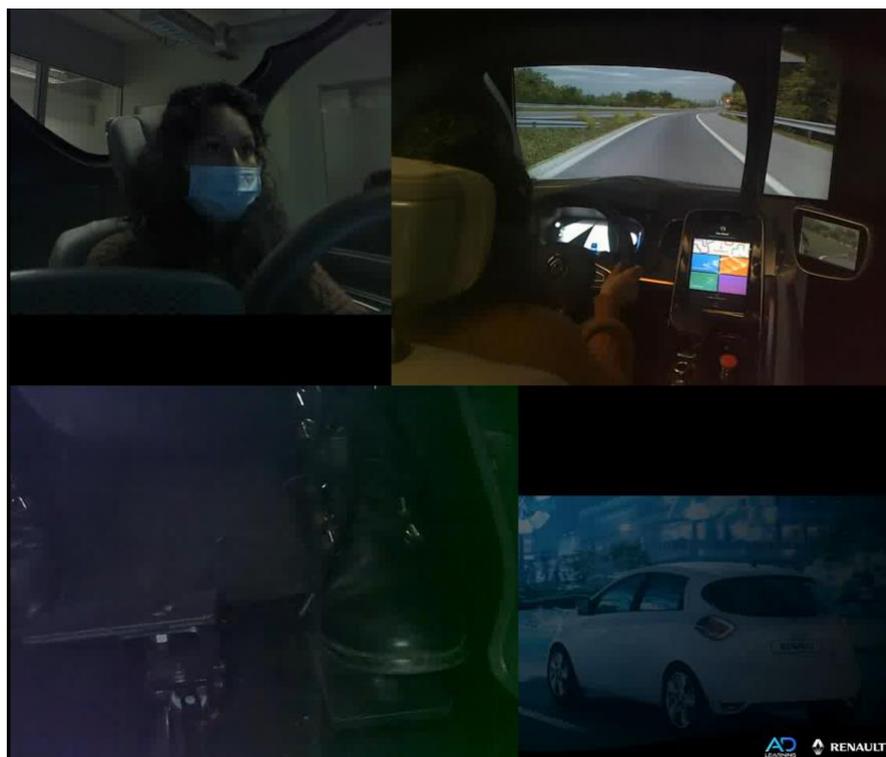


Figure 29 : Capture d'écran d'un enregistrement vidéo d'une session de roulage sur le simulateur « Easy Drive Learning ». Vue de la caméra (2) en haut à gauche, vue de la caméra (1) en haut à droite, et vue de la caméra (3) en bas à gauche.

8.1.3. Conception des scénarios de conduite automatisée pour la simulation

Afin de pouvoir reproduire des expériences de conduite automatisée ayant une bonne validité écologique sur simulateur (en vue de nos expérimentations d'outil didactique), nous avons conçu des scénarios de simulation basés sur les données recueillies auprès des pilotes experts et des conducteurs novices.

Deux raisons principales nous ont poussé à nous tourner vers la réalisation d'expérimentations de conduite en simulateur. Il s'agit d'une part de la sécurité, et d'autre part de la disponibilité des prototypes de véhicules automatisés et des ressources nécessaires à leur usage / maintenance. Les risques d'accidents de la route sont nombreux surtout lorsque nous faisons conduire un prototype de véhicule automatisé à des conducteurs « lambda » novices. De toute évidence, nous préférons éviter de faire prendre de tels risques aux participants de nos expérimentations. Ensuite, les ressources disponibles. En nous inscrivant dans le projet européen L3 Pilot, nous avons bénéficié de nombreuses ressources humaines : équipes techniques, équipe *safety* (co-pilotes et superviseurs), ergonomes, et autres acteurs travaillant sur la conformité avec la législation, etc. Ce travail a nécessité de nombreuses discussions avec les autorités pour les autorisations et l'organisation. Une telle organisation

a nécessairement impliqué d'importantes ressources financières et temporelles. Effectuer le même type d'expérimentation avec un simulateur ne nécessite pas autant de moyens et se révèle donc plus facile à mettre en place. Enfin, le fait de pouvoir contrôler l'environnement de conduite et le comportement du système automatisé est un grand avantage. Cela permet de faire vivre des expériences quasi-similaires à tous les participants d'une même étude afin de pouvoir comparer les résultats et recueillir des données plus fiables. Nous pouvons également nous absoudre des bugs du système prototypé provoquant des situations de conduite qui n'existeront plus lors de la commercialisation de ces véhicules (par exemple les *ghosts* : la détection d'obstacle inexistant sur la route provoquant un freinage brusque et fort sans raison).

Certes, il existe aussi des désavantages à étudier l'activité de conduite automatisée en simulateur, mais de notre point de vue, le ratio bénéfices / contraintes pour notre étude restait positif. Parmi ces contraintes, ou limites, nous pouvons évidemment citer le manque de réalisme des scènes de conduite par rapport à une expérimentation sur route ouverte (notamment d'un point de vue graphique), un ressenti beaucoup moins intense pour les participants (certains n'hésitent pas à prendre des risques sur le simulateur car ils se savent en sécurité), ainsi que le risque de cinétose (aussi couramment appelé « mal du simulateur »).

Sur la base de ces éléments, nous avons élaboré une méthodologie de conception de scénarios de conduite automatisée pour simulateur, en mobilisant des données recueillies dans nos précédentes études pour atteindre une validité écologique acceptable. Le schéma de la Figure 30 reprend les grandes lignes de la méthodologie que nous exposons dans les sections qui suivent. Nous commencerons par présenter la procédure de sélection des situations à intégrer dans les scénarios, puis nous verrons comment nous avons construit les deux scénarios que nous avons conçus.

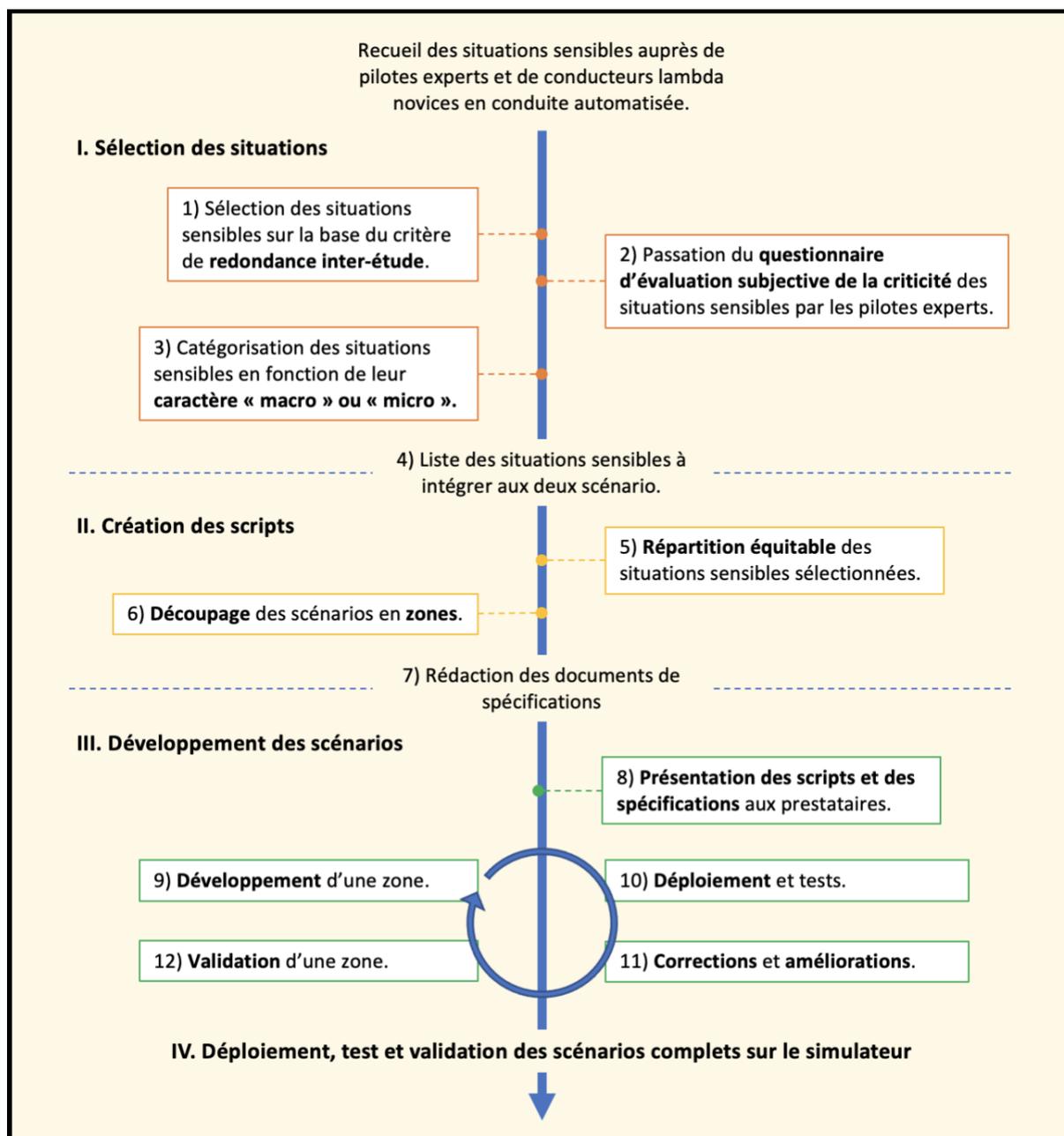


Figure 30 : Schéma récapitulatif du processus de conception des scénarios de simulation de conduite automatisée.

8.1.3.1. Critères de sélection des situations à intégrer dans les scénarios

Deux scénarios d'une vingtaine de minutes chacun ont été conçus, du fait de contraintes temporelles. Il s'agissait donc de faire des choix parmi les situations sensibles identifiées. Nous avons élaboré trois critères de sélection basés sur la redondance inter-études, la criticité des situations, et la possibilité d'engendrer une cascade de situations sensibles.

1^{er} critère de sélection : la redondance inter-études

Tout d'abord, nous avons souhaité sélectionner d'office l'ensemble des situations sensibles redondantes entre nos deux études, exceptées les situations que nous ne pouvions pas contrôler ou provoquer (car entièrement dépendantes du conducteur) : par exemple, les tentatives d'activation qui ne respectent pas les conditions préalables, ou les désactivations involontaires. Nous pensons que cette redondance inter-études est potentiellement liée à une probabilité d'occurrence élevée de ces situations puisque nos deux populations ont pu les expérimenter dans des conditions assez différentes de roulage (différents trajets, différentes périodes de l'année, etc.). De plus, cela montre que, quel que soit le niveau d'expérience du conducteur, ces situations sont perçues comme sensibles (surprenantes, gênantes, ou potentiellement risquées) par ces derniers.

2^{ème} critère de sélection : la criticité des situations

Dans un second temps, nous avons évalué la criticité des situations de notre liste. Nous avons emprunté le terme « criticité » aux domaines de la sûreté de fonctionnement (SdF) et de la gestion des risques. La méthode AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets, et de leur Criticité), proposée par Faucher en 2004, définit la criticité comme étant le produit de la probabilité d'occurrence « F » (pour fréquence) par la gravité de ces conséquences « G », par l'indice de prévention « P » (mesures de détection et de protection existantes), soit :

$$C \text{ (Criticité)} = F \text{ (Fréquence)} \times G \text{ (Gravité)} \times P \text{ (Prévention)}$$

Nous avons donc repris cette formule dans le but d'établir un score de criticité des situations sensibles que nous avons identifiées. Cependant, aucune mesure de prévention n'existe à ce jour concernant l'activité de conduite automatisée et en particulier les situations sensibles car les véhicules automatisés sont actuellement toujours en phase de recherche et développement. Ce paramètre a donc été remplacé par un paramètre plus pertinent à nos yeux : la temporalité « T » (rapidité de déroulement de la situation). En effet, Hoc et al. (2004) expliquent que la pression temporelle d'une situation dynamique joue en défaveur de la capacité d'adaptation du sujet pour pouvoir la gérer. La formule que nous avons utilisée est donc la suivante :

$$C \text{ (Criticité)} = F \text{ (Fréquence)} \times G \text{ (Gravité)} \times T \text{ (Temporalité)}$$

Pour évaluer les paramètres « F », « G » et « T » des situations sensibles, nous avons à nouveau fait appel aux six pilotes experts ayant participé à l'étape 4 de la première étude. Nous leur avons envoyé un questionnaire présentant chaque situation (nom, description et illustration animée). Pour chacune d'entre elles, trois échelles de notation allant de 1 à 10 leur

permettaient d'évaluer les trois paramètres. Ce questionnaire a permis de recueillir les évaluations subjectives des pilotes experts concernant la criticité de chaque situation sensible.

Pour cela, nous avons présélectionné les situations redondantes inter-études (1^{er} Critère présenté dans cette section) et les situations ayant une forte redondance intra-étude. Nous avons également rassemblé certaines situations très similaires entre elles (par exemple les « ping-pong » à l'activation avec les situations dans lesquelles le véhicule automatisé cherche à se centrer). Nous avons utilisé l'outil Microsoft Forms pour concevoir et partager le questionnaire en ligne. Un exemple de page du questionnaire est présenté dans la Figure 31.

Activation de la conduite automatisée à côté d'une entrée ou d'une sortie d'autoroute

Les interfaces du véhicule vous informent que la conduite automatisée est disponible au moment où vous passez à côté d'une entrée (voie d'insertion ou d'accélération) ou d'une sortie (voie de décélération) d'autoroute.

Activation du mode AD à côté d'une entrée / sortie d'autoroute



Fréquence d'occurrence de la situation :

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Très rare Très fréquente

Gravité en cas de mauvaise gestion :

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Aucune gravité Très grave

Temporalité de déroulement de la situation :

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Très lente Très rapide

Précédent Suivant

Figure 31 : Capture d'écran d'une page du questionnaire d'évaluation subjective de la criticité des situations sensibles de la conduite automatisée.

Pour chaque situation et pour chaque paramètre, nous avons calculé la moyenne des réponses, puis nous avons appliqué la formule susmentionnée pour obtenir un score de criticité subjectif. L'évaluation des trois paramètres étant sur 10, le score de criticité maximum est donc de 1000. Ainsi, nous avons catégorisé la criticité subjective des situations de la manière suivante :

- De 0 à 200 : Faible.
- De 201 à 400 : Moyenne.
- De 401 à 600 : Forte.
- De 601 à 800 : Très forte.
- De 801 à 1000 : Extrême.

Ce critère de sélection que nous avons élaboré peut être discuté pour diverses raisons. En premier lieu, les scores obtenus sont dépendants de la grande expérience de roulage des pilotes experts avec des prototypes de véhicules automatisés, qui demeurent différents des futurs véhicules mis sur le marché. Nous pensons que la nature des situations de conduite automatisée que les utilisateurs finaux rencontreront sera en partie différente de la nature des situations expérimentées par nos participants. Par ailleurs, de par leurs rôles en tant que garants de la sécurité des roulages et experts de ces systèmes, ces derniers ont développé un regard sur cette activité que des conducteurs tout venant n'auront pas.

3^{ème} critère de sélection : les situations sensibles pouvant engendrer d'autres situations sensibles en cascade

Enfin, nous avons retenu des situations sensibles en fonction de la possibilité d'engendrer une ou plusieurs autres situations sensibles en cascade. Certaines situations que nous appelons « source » sont des situations qui, de par leur nature, peuvent contenir ou engendrer d'autres situations sensibles de notre liste (situations dites « résultantes »). Par exemple, un embouteillage peut être la cause d'un ralentissement fort et soudain, mais aussi de la remontée de file des motards, ou encore d'une désactivation avec un véhicule proche devant et/ou derrière. Ainsi, nous avons pensé qu'il était pertinent de sélectionner ces situations « sources » pour la conception de nos scénarios, puisqu'elles englobent ou provoquent systématiquement des situations « résultantes » identifiées. Nous avons donc créé trois catégories de situations « sources » : (1) trafic fluide, (2) trafic dense et embouteillage, et (3) passage à hauteur d'une entrée ou d'une sortie d'autoroute ; dans lesquelles nous avons rangé les situations sensibles « résultantes » identifiées.

8.1.3.2. Construction des deux scénarios de simulation de conduite automatisée

Une fois la sélection terminée, nous avons établi la liste des situations sensibles à intégrer dans nos deux scénarios de simulation de conduite automatisée. Nous avons ensuite réparti équitablement ces situations en fonction de leur catégorie d'appartenance et de leur score de criticité subjectif. Toutes les situations « sources » sont présentes dans les deux scénarios, ainsi que les situations « résultantes » ayant une forte redondance intra-étude.

Nous avons ensuite découpé les scénarios en zones contenant une ou deux situations « sources » et plusieurs situations « résultantes ». Cela nous a permis de prévoir des inter-zones de conduite sans situations sensibles, rendant les scénarios plus réalistes. Un document de spécifications détaillées a ensuite été remis au prestataire en charge du développement des scripts.

Nous avons suivi une méthode de conception itérative « en spirale » (cf. 2.4. Méthodes de conception d'un prototype dans un contexte industriel) incluant plusieurs phases de *sprint* (cycles) permettant de tester et valider les développements, ou de demander des corrections et des améliorations au fur et à mesure. Les étapes des développements sont présentées plus en détails en Annexe 6 de ce document.

Les deux scénarios ont été développés et déployés sur l'environnement SCANeR studio²⁴ qui est une plateforme de simulation pour le prototypage, l'entraînement et la validation des systèmes ADAS et conduite automatisée, ainsi que des systèmes d'interaction homme-machine pour l'automobile.

8.2. Méthode

L'approche instrumentale, et plus particulièrement le modèle SACI (Rabardel, 1995), sont particulièrement intéressants pour évaluer un projet de conception. Nous avons vu que du point de vue de l'activité, ce modèle permet de mettre en évidence les médiations et relations en jeu pour le sujet dans des situations impliquant un objet de l'activité, un instrument et d'autres sujets. Du point de vue de la conception, en revanche, ce modèle permet de définir les fonctions et les contraintes d'un produit (Rabardel, op. cit.). Ainsi, l'évaluation de cette conception devait : (1) décrire l'environnement du produit et lister les éléments susceptibles

²⁴ L'interface principale de SCANeR studio permet aux utilisateurs de configurer, préparer et exécuter la simulation ou d'analyser les résultats. On peut y retrouver cinq modes : le mode Terrain (préparer et modéliser les routes et les terrains), le mode Véhicule (préparer et modéliser les véhicules), le mode Scénario (régler les conditions initiales et les événements du script), le mode Simulation (exécuter et suivre la simulation), et le mode Analyse (rejouer et analyser les données enregistrées).

d'être en relation ou en contact avec ce dernier, (2) définir les fonctions et les contraintes relatives aux relations qui existent entre le produit et les éléments de son environnement, ainsi qu'aux médiations que le produit permet d'établir, et (3) « *préciser les fonctions par des critères (qualitatifs) et des niveaux de performances (quantitatifs) à atteindre* » relatifs au milieu environnant, et aux attentes et exigences de l'utilisateur.

8.2.1. Protocole expérimental et données recueillies

Cette expérimentation était une étude longitudinale et comparative. Longitudinale car nous avons étudié le développement des conducteurs au cours de deux expériences de conduite automatisée successives sur le simulateur²⁵. Comparative car nous avons comparé l'évolution de deux groupes de conducteurs n'ayant pas eu la même quantité et la même qualité d'informations avant leurs deux expériences de conduite automatisée simulée. En effet, le Groupe 1 a eu accès au didacticiel « AUTO-DIDACT' » dans le simulateur avant et pendant les deux sessions, et pouvait l'explorer librement sans contrainte de temps. En revanche, le Groupe 2 n'a eu le droit qu'à un petit briefing (Annexe 7) de quelques minutes à l'oral avant chaque session dans lequel nous leur avons seulement donné les informations essentielles nécessaires au bon déroulement de l'expérimentation (déroulement de la session, modalité d'activation, et modalités de reprise en main). Chaque participant des deux groupes a effectué deux séances espacées d'un à trois jours, et a réalisé les deux scénarios conçus à cet effet. L'ordre de présentation des scénarios a été inversé afin de contrôler l'effet d'apprentissage dû à la répétition (Tableau 7).

Groupe 1	Groupe 2	1 ^{er} scénario	2 ^{ème} scénario
P1 (Participant 1)	P1	A	B
P2	P2	B	A
P3	P3	A	B
P4	P4	B	A
P5	P5	A	B
P6	P6	B	A
P7	P7	A	B
P8	P8	B	A

Tableau 7 : Ordre de présentation des scénarios A et B aux participants des Groupes 1 et 2.

²⁵ Malheureusement, l'expérimentation s'étant déroulée durant les mois de mars et avril 2021, le troisième confinement mis en place lors de la crise sanitaire du Covid-19 nous a contraint à réduire le nombre de sessions à deux pour chaque participant au lieu des trois initialement prévues.

Hormis les phases d'exploration du didacticiel par le Groupe 1 « didacticiel », les sessions des deux groupes se sont déroulées de la même façon. Ainsi, nous détaillons ci-dessous l'exemple du déroulement d'une session.

1) Accueil du participant

Le participant était accueilli dans les locaux du Technocentre Renault à Guyancourt. Nous lui présentions brièvement l'étude et le déroulement des deux sessions, puis nous lui proposons de signer un consentement éclairé (Annexe 8) pour nous autoriser à recueillir, stocker, traiter et analyser ses données personnelles.

2) Présentation du questionnaire pré-test

Tous les questionnaires de cette expérimentation ont été construits pour évaluer les connaissances des participants sur le fonctionnement du système (technologies, partage des rôles entre le conducteur et le véhicule, domaine d'usage, et interfaces), et sur les procédures d'activation et de désactivation de la conduite automatisée. Une grande majorité des questions posées aux participants étaient des questions à choix multiple (QCM). Selon Dessus (2021a) un QCM est composé de plusieurs items, eux-mêmes décomposés en une amorce (la question), une ou plusieurs réponses correctes, et des réponses distractrices. La réponse du participant à chaque proposition est alors convertie en un score intermédiaire (0 pour une mauvaise réponse, et 1 pour une bonne réponse), puis les scores intermédiaires sont agrégés pour obtenir un score global pour l'item concerné. Les propositions de réponses distractrices déterminent la difficulté du questionnaire (Nuthall, 2007). Pour garantir la validité écologique de nos résultats, les propositions ont été construites à partir de l'analyse de l'activité et des difficultés rencontrés par les conducteurs « lambda » novices en conduite automatisée de notre seconde étude. En effet, cette population présentait des caractéristiques similaires aux apprenants concernés par les QCM (Dessus, 2021a).

Au-delà de la facilité à les mettre en œuvre, les QCM permettent d'étudier plus fidèlement l'évolution des connaissances d'un apprenant. Cela est notamment rendu possible grâce à la standardisation des items (Roid & Haladyna, 1980), et des donc des réponses données par les apprenants, permettant de comparer ces dernières dans le temps. De plus, certains auteurs (Bleske-Rechek, Zeug, & Webb, 2007; Rodriguez, 2003) ont prouvé que la fiabilité des QCM était presque équivalente à celle des évaluations laissant place à des réponses construites des participants. Néanmoins, selon Frederiksen (1981), tout type d'évaluation des connaissances dans un contexte d'apprentissage influence nécessairement le comportement des apprenants (peur de l'échec, risque d'apprentissage des propositions fausses). Dans le

cas des QCM, les participants répondant aléatoirement peuvent obtenir des scores non nuls, voire corrects (Dessus, 2021a). Enfin, selon Shermis et DiVesta (2011), les QCM permettent difficilement l'évaluation de connaissances ou de raisonnements complexes, de stratégies de résolution de problème, d'opinions, d'explications, et d'habiletés. C'est pour cela que nous avons construit nos questionnaires dans le but d'évaluer des connaissances basiques, et que nous avons complété notre recueil de données par des observations et des entretiens.

Le questionnaire pré-test (Annexe 9) a permis de recueillir des données sur l'état des connaissances du sujet tant qu'il était encore naïf et vierge de toute expérience en conduite automatisée.

3) Phase d'exploration du didacticiel (Groupe 1 « didacticiel » seulement)

Les participants du Groupe 1 étaient ensuite installés dans le simulateur avec le didacticiel « AUTO-DIDACT' » ouvert sur l'écran multimédia. Nous leur indiquions qu'ils pouvaient l'explorer librement sans contrainte de temps et qu'ils devaient nous avertir lorsqu'ils pensaient avoir fini. Cela nous a permis de recueillir des données sur la manière dont les futurs conducteurs de véhicules automatisés pourraient utiliser un tel dispositif d'aide à l'apprentissage embarqué. La phase d'exploration du didacticiel a fait l'objet d'un enregistrement audio et vidéo, et d'une observation directe avec prise de note sur une grille d'observation élaborée en amont (Annexe 10).

4) Briefing (Annexe 7)

Pour les participants du Groupe 1 « didacticiel », le briefing a pris la forme d'un mini-questionnaire oral pour s'assurer que les participants avaient bien pris connaissance de l'essentiel pour pouvoir réaliser le scénario. Pour les participants du Groupe 2 « sans didacticiel », le briefing nous a permis de leur donner quelques informations essentielles et nécessaires pour le bon déroulement du scénario. Nous les prévenions que le mode automatisé n'était disponible que lorsque le véhicule le proposait via ses interfaces, nous leur montrions les commandes pour activer et désactiver la conduite automatisée, et nous leur expliquions qu'ils devaient relâcher les commandes de conduite après avoir activé. Enfin, nous leur avons également précisé qu'ils pouvaient éventuellement vaquer à d'autres occupations lorsque la conduite automatisée était activée, s'ils le souhaitent.

5) Présentation du questionnaire 1 (ou 3 pour la 2^{ème} session)

Comme pour le questionnaire pré-test, les questionnaires Q1 et Q3 (Annexe 9) ont permis de recueillir à nouveau l'état des connaissances des participants. Cependant, ces questionnaires

ont été administré après l'exploration du didacticiel pour le Groupe 1 « didacticiel », ou après le briefing pour le Groupe 2 « sans didacticiel », lors de la Session 1 (Q1) et de la Session 2 (Q3). Ces données ont, elles aussi, été comparées aux réponses des autres questionnaires pour identifier d'éventuelles évolutions.

6) Réalisation du Scénario A ou B

Avant de démarrer, nous donnions quelques consignes de verbalisation à voix haute et prévenions les participants que nous ne répondrions plus à leurs questions durant toute la durée du scénario. Ils réalisaient alors le scénario d'une vingtaine de minutes pendant que nous les observions et prenions des notes sur une grille d'observation prévue à cet effet (Annexe 11). La réalisation du scénario était également enregistrée à l'aide du dispositif de recueil de données audio et vidéo du simulateur.

7) Présentation du questionnaire 2 (ou 4 pour la 2^{ème} session)

Les questionnaires Q2 et Q4 ont permis de recueillir les mêmes données que les questionnaires Q1 et Q3, mais après la réalisation des scénarios. Nous y avons également ajouté cinq questions supplémentaires concernant les interfaces de la conduite automatisée, et quatre questions au sujet de la qualité de la « formation » reçue (Annexe 12).

8) Réalisation d'un entretien d'explicitation

Pour terminer les sessions, nous avons réalisé des entretiens d'explicitation (Vermersch, 1994; Vermersch, 2019) permettant de revenir sur l'expérience vécue par le participant. Selon son auteur, cette technique d'entretien permet de faire référence à l'action dans le questionnement non-inductif et de mobiliser la mémoire d'évocation du participant pour tenter d'extraire l'implicite sur son activité (prérequis à l'action, prises de décision, gestes, vécu émotionnel). Elle permet également d'accompagner le participant dans sa prise de conscience du processus de l'action et des compétences sollicitées pour atteindre ses buts (élément cruciale dans notre démarche de recherche). Le choix de cette technique d'entretien réside dans la difficulté de collecter, traiter et visualiser avec le participant quelconque support mnésique (enregistrement vidéo par exemple) dans le temps imparti pour réaliser une session. Néanmoins, nous avons utilisé des grilles d'observations, remplies en temps réel par nos soins lors de la réalisation des scénarios, pour orienter nos questionnements sur les situations rencontrées. De plus, un guide d'entretien élaboré en amont permettait de guider l'intervieweur afin d'obtenir des données comparables entre les participants (Annexe 13). Ce guide comportait plusieurs thèmes tels que l'impression globale des participants, leur utilisation du didacticiel (Groupe 1 « didacticiel » seulement), leur prise en main du véhicule,

leurs interactions, ainsi que la compréhension du fonctionnement du système et son style de conduite.

Les verbalisations n'ayant pas valeur de vérité absolue, notre recueil de données devait nécessairement être complété par des données observables lors de la réalisation des scénarios de simulation de conduite automatisée (étape 6 de ce protocole expérimental).

Les deuxièmes sessions se sont déroulées de la même manière mais sans les étapes 1 et 2 qui n'étaient plus nécessaires. Le Tableau 8 ci-dessous récapitule les données recueillies à chaque étape de l'expérimentation.

Étapes (*sessions 1 et 2)	Groupes	Données recueillies
1) Accueil	1 & 2	Consentement
2) Questionnaire Pré-test	1 & 2	Connaissances et confiance préalables
3) Exploration didacticiel*	1	Enregistrement audio et vidéo Grille d'observation
4) Briefing*	1 & 2	-
5) Questionnaire 1 ou 3*	1 & 2	Connaissances et confiance après la « formation »
6) Scénario de conduite*	1 & 2	Enregistrement audio et vidéo Grille d'observation
7) Questionnaire 2 ou 4*	1 & 2	Connaissances et confiance après l'expérience de conduite automatisée
8) Entretien d'explicitation*	1 & 2	Enregistrement audio

Tableau 8 : Récapitulatif des données recueillies à chaque étape de l'expérimentation

8.2.2. Traitement des données

Notre objectif étant de comparer le développement des conducteurs ayant eu accès au didacticiel et de ceux n'ayant pas eu d'aide à disposition (si ce n'est une brève information orale), nous avons donc traité les données des deux groupes de la même façon. Dans un premier temps, nous avons procédé à des analyses statistiques descriptives des réponses aux différents questionnaires. Les réponses aux différents questionnaires ont été comparées entre elles pour pouvoir identifier une éventuelle évolution des résultats pour chaque participant. L'évolution des scores des participants des deux groupes a ensuite été comparée afin d'identifier un éventuel effet positif du didacticiel sur les connaissances des participants du Groupe 1 « didacticiel » par rapport au Groupe 2 « sans didacticiel ».

Dans un deuxième temps, nous avons retranscrit tous les entretiens, et procédé à des analyses thématiques de ces derniers, puis nous avons analysé chronologiquement tous les enregistrements vidéo. Ensuite, nous avons croisé ces données pour analyser cliniquement les situations sensibles de nos scénarios à l'aide du modèle SACI de Rabardel, tel que nous

l'avons fait dans nos études précédentes. Ces analyses nous ont permis de comparer les performances des deux groupes en fonction des classes de situations, et les transformations opérées dans leur activité qui rendent compte d'une amorce de genèse instrumentale. Cela concerne à la fois l'appropriation des procédures d'activation et de désactivation, mais aussi la gestion des situations « sensibles » spécifiques à la conduite automatisée.

Dans un troisième temps, nous avons cherché à établir un lien entre les réponses aux questionnaires et l'activité des participants en situation (étudiée grâce aux observations et aux entretiens). Nous avons tenté de déterminer si les connaissances sur le fonctionnement du système, sur les procédures, et sur le rôle du conducteur, ont pu impacter l'activité de conduite automatisée des participants.

Pour terminer, nous avons analysé l'utilisation du didacticiel « AUTO-DIDACT' » par les participants du Groupe 1 « didacticiel », avec deux objectifs en tête. D'abord faire le lien entre les modules les plus utilisés et les performances en situations, pour déterminer l'efficacité de chaque module et des différents contenus pédagogiques proposés. Enfin nous avons analysé l'utilisabilité du didacticiel à partir des données d'utilisation recueillies, afin d'établir des recommandations d'améliorations pour les futures itérations de conception, ou pour une éventuelle industrialisation du PoC.



Figure 32 : Schéma récapitulatif de la méthodologie générale de la Thèse.

PARTIE 4 : Résultats de la Thèse

INTRODUCTION GENERALE

PARTIE 1 : Contexte et Problématiques

PARTIE 2 : Cadres Théoriques

PARTIE 3 : Méthodologie Générale

PARTIE 4 : Résultats de la Thèse

Chapitre 9 : Identification du besoin en apprentissage pour la prise en main d'un véhicule automatisé

Chapitre 10 : « AUTO-DIDACT' », un didacticiel embarqué pour accompagner l'apprentissage de la conduite automatisée

Chapitre 11 : Résultats de l'évaluation du didacticiel embarqué « AUTO-DIDACT' »

DISCUSSION GENERALE

CONCLUSION

Résumé : Dans cette partie nous présentons dans un premier temps les résultats des deux études menées dans le but d'identifier le besoin en apprentissage pour la prise en main d'un véhicule automatisé. Nous verrons ensuite les résultats de la conception du didacticiel embarqué, et terminerons par les résultats de l'évaluation de ce dernier.

Chapitre 9 : Identification du besoin en apprentissage pour la prise en main d'un véhicule automatisé

Ce chapitre présente les résultats des deux études qui ont permis de mieux comprendre l'activité de conduite automatisée et de recueillir le besoin des futurs utilisateurs de ces systèmes en termes d'apprentissage. Les résultats de la première étude s'appuient sur un recueil de données déployé auprès de pilotes experts en conduite automatisée. Les résultats de la seconde étude, quant à eux, proviennent d'un recueil de données auprès d'une population de conducteurs tout venant novices dans l'usage des véhicules automatisés. Nous concluons ce chapitre par la mise en commun des résultats de ces deux études visant à la construction d'un contenu pédagogique pour les futurs conducteurs de véhicules automatisés.

9.1. Une reconstruction partielle des genèses instrumentales passées des pilotes experts en conduite automatisée

Le recueil de données que nous avons mis en place pour cette étude avait deux objectifs principaux que nous avons tenté d'atteindre grâce à une approche situationnelle de l'activité de conduite automatisée. Le premier objectif était d'identifier des traces des genèses instrumentales passées afin de tenter de les reconstruire, pour mieux les comprendre, et identifier les difficultés rencontrées. Ce premier objectif nous a permis de caractériser ce que pourraient être les genèses instrumentales des futurs conducteurs de véhicules automatisés. Dans un second temps, nous avons souhaité identifier les savoirs de référence (Rogalski, 2004) que nos pilotes experts ont acquis et stabilisés de manière commune en raison de leur pertinence et leur efficacité pour l'activité de conduite automatisée. Ces derniers peuvent être des connaissances explicites ou instruments cognitifs partagés sous forme de conseils et recommandations, mais aussi des schèmes d'action efficaces intériorisés que l'on a pu identifier comme pratiques communes efficaces.

9.1.1. Une liste de situations « sensibles » spécifiques à l'activité de conduite automatisée

Les deux premières étapes du recueil de données nous ont permis d'identifier pas moins de 28 situations de conduite intéressantes car perçues comme risquées, difficiles à gérer ou simplement qui nécessitent une attention particulière du conducteur. Les analyses que nous avons menées (cf. section 6.1.2.2. Traitement des données) nous ont aidé à catégoriser ces

situations du point de vue du fonctionnement du système et du vécu des participants. Nous avons ainsi défini six catégories de situations sensibles que les pilotes experts ont appris à gérer avec le temps, mais qui nécessitent une vigilance et une maîtrise plus ou moins importantes.

Catégorie 1 : Les situations pouvant gêner ou surprendre le conducteur lors de l'activation de la conduite automatisée (N = 5).

- Tentative d'activation dans un *lane-split* (dédoulement de la voie) ou *lane-merge* (convergence de deux voies en une seule).
- Tentative d'activation en étant décentré ou en chevauchant une ligne blanche pleine ou une ligne en pointillés.
- Tentative d'activation hors zone de disponibilité de la conduite automatisée.
- Activation trop proche du véhicule précédent ou du véhicule suivant.
- Activation à hauteur d'une entrée ou d'une sortie d'autoroute (exemple en section 9.1.2.1. Analyse clinique d'une situation de la Catégorie 1).

Catégorie 2 : Les situations liées au fonctionnement nominal du système mais pouvant surprendre ou gêner le conducteur (N = 8).

- « Ping-pong » à l'activation (véhicule qui rebondit entre les lignes).
- Circulation dense et embouteillage.
- Changement de voie automatisé.
- Véhicule automatisé qui se décentre dans sa voie ou qui cherche à se centrer.
- Motards qui remontent l'inter-file.
- Ralentissement automatisé fort et soudain (exemple en section 9.1.2.2. Analyse clinique d'une situation de la Catégorie 2).
- Véhicule précédent qui hésite à changer de voie (« shy »).
- Brouillard léger ou pluie légère.

Catégorie 3 : Les situations liées au fonctionnement nominal du système mais critiques pour le conducteur car perçues comme potentiellement dangereuses (N = 5).

- Passage à hauteur d'une entrée ou sortie d'autoroute.
- Dépassement automatisé d'un poids-lourd (exemple en section 9.1.2.3. Analyse clinique d'une situation de la Catégorie 3).
- *Cut-in* (queue de poisson) et *short cut-in* (queue de poisson très serrée).
- *Lane-split* (division de voie) et *lane-merge* (fusion de voies).

- Passage à côté d'un véhicule arrêté sur la bande d'arrêt d'urgence.

Catégorie 4 : Les situations liées aux limites de la conduite automatisée connues par le système, pouvant surprendre ou gêner le conducteur car entraînant une demande de reprise en main rapide en 10 secondes (N = 4).

- Météo défavorable (brouillard dense, forte pluie, neige, etc.).
- Zone de travaux (exemple en section 9.1.2.4. Analyse clinique d'une situation de la Catégorie 4).
- Éblouissement ou défaillance d'un capteur ou d'une caméra.
- Lignes blanches effacées.

Catégorie 5 : Les situations liées aux limites de la conduite automatisée non reconnues par le système et critiques pour le conducteur car perçues comme potentiellement dangereuses (N = 3). Ces situations nécessitent une action volontaire du conducteur sans être guidé par le système ; autrement dit, il doit savoir les anticiper pour reprendre la main.

- Circulation dense et chaotique entraînant des insertions intempestives de véhicules qui profitent de la distance de sécurité respectée par le véhicule automatisé (exemple en section 9.1.2.5. Analyse clinique d'une situation de la Catégorie 5).
- Véhicule d'intervention (police, pompiers, ambulance, etc.) qui souhaite passer.
- Véhicule arrêté sur la bande d'arrêt d'urgence qui dépasse sur la chaussée ou autres obstacles sur la route gênant le passage du véhicule automatisé (carton, nids de poules, traces de goudron, etc.).

Catégorie 6 : Les situations pouvant gêner ou surprendre lors de la désactivation de la conduite automatisée, ou reprise en main par le conducteur (N = 3).

- Désactivation involontaire du conducteur.
- Désactivation trop proche du véhicule précédent ou du véhicule suivant (exemple en section 9.1.2.6. Analyse clinique d'une situation de la Catégorie 6).
- Désactivation à hauteur d'une entrée ou d'une sortie d'autoroute.

Nous avons par ailleurs identifié trois autres catégories de situations qui ne sont actuellement pas gérées par le système automatisé (dysfonctionnement du prototype, limites technologiques, etc.), et qui peuvent s'avérer critiques voire dangereuses pour le conducteur. Ces trois catégories sont :

- Les vrais négatifs (ou *ghosts*) : le système détecte un obstacle mais celui-ci n'existe pas sur la route. Le véhicule va alors freiner fortement et soudainement jusqu'à s'arrêter, ce qui peut potentiellement provoquer une collision avec le véhicule suivant.
- Les faux positifs : le système ne détecte pas un obstacle pourtant bien présent sur la route. Il va donc continuer son chemin et risquer de percuter l'obstacle.
- Les décrochages : le véhicule automatisé sort de sa voie soudainement et sans raison particulière.

Ces situations, en grande partie connues par les concepteurs de l'entreprise, ont servi à améliorer les prototypes en cours de développement car elles ne peuvent subsister dès lors que ce type de véhicule sera mis sur le marché. Elles n'ont donc pas fait l'objet d'analyses cliniques de notre part, et n'ont pas été prises en compte dans la conception du didacticiel embarqué.

Enfin, précisons que l'ensemble des situations sensibles identifiées dans notre étude a été partagée avec les concepteurs des prototypes de véhicules automatisés, dans le but de les aider à améliorer les systèmes et rendre ces situations plus faciles à gérer pour les conducteurs, voire faire en sorte qu'elles ne se produisent plus.

9.1.2. Quelques exemples d'analyses cliniques pour chaque catégorie de situations sensibles

Nous avons analysé chacune de ces situations de manière clinique (Clot & Leplat, 2005) à l'aide du modèle SACI de Rabardel (1995), en mettant en évidence leurs caractéristiques communes. Nous rappelons que pour chaque situation le modèle SACI permet de mettre en évidence les relations et médiations en jeu entre le sujet (S ; le conducteur), l'instrument (I ; le véhicule automatisé), l'objet de l'activité (O ; la conduite automatisée), et les autres protagonistes (A ; les autres usagers de la route, les passagers, etc.). Ces analyses ont permis d'établir une reconstitution des schèmes d'utilisation des pilotes experts pour chaque catégorie de situations d'usage du véhicule automatisé. Nous rappelons que selon Rabardel et Samurçay (2006), les schèmes d'utilisation ont certes une dimension privée forte, mais ils ont également une dimension sociale puisqu'ils prennent racine dans un processus collectif impliquant à la fois les utilisateurs et les concepteurs des artefacts. La dimension sociale des schèmes d'utilisation est donc primordiale lorsque ces derniers sont l'objet d'un apprentissage.

9.1.2.1. Analyse clinique d'une situation de la Catégorie 1

La Catégorie 1 concerne les situations pouvant gêner ou surprendre le conducteur lors de l'activation de la conduite automatisée. Nous avons choisi d'illustrer l'analyse clinique d'une activation à hauteur d'une entrée d'autoroute (Figure 33). Cette situation est considérée comme sensible car elle requiert une grande attention du conducteur pour pouvoir activer la conduite automatisée dans les meilleures conditions de sécurité et de confort. En effet, une entrée d'autoroute est constituée d'une voie d'insertion par laquelle un certain nombre de véhicules vont venir s'introduire sur la voie du véhicule automatisé. Pour éviter toute collision, un conducteur humain aura tendance à se déporter sur la voie de gauche pour laisser les véhicules s'insérer, ou le cas échéant, à réguler sa vitesse en anticipant les insertions. Le véhicule automatisé n'est pas capable d'une telle anticipation, il ne change pas de voie ni ne régule sa vitesse en arrivant à hauteur d'une voie d'insertion. Le conducteur doit donc être très attentif à la situation et prendre la décision d'activer lorsque « tous les feux sont aux verts ». Autrement dit, en respectant les distances de sécurité et en s'assurant qu'aucun véhicule n'est sur le point de lui couper la route ou de s'insérer juste derrière lui.

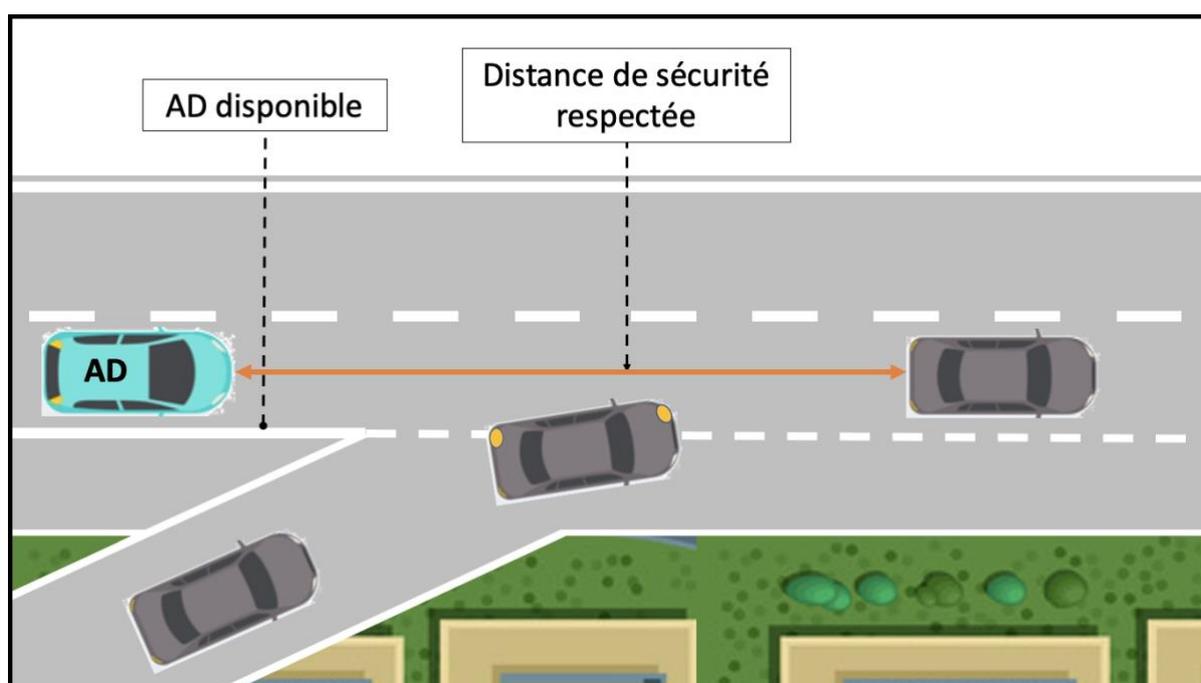


Figure 33 : Schéma illustrant une situation d'activation à hauteur d'une entrée d'autoroute (Catégorie 1).

Quelques verbatims issus des différents entretiens, ou des verbalisations simultanées lors des roulages de l'étape 2, font état des limites du système dans cette situation. Un participant mentionne, par exemple, la difficulté pour le véhicule automatisé d'adopter un comportement « quasi-humain » dans ce type de situation, notamment lorsqu'un véhicule qui s'insère ne réagit pas comme il le devrait (non-respect du Code de la route ou manque de courtoisie) :

PARTIE 4 : Résultats de la Thèse

« Là, sur les insertions, on essaye de trouver un bon algorithme qui fasse qu'on ait le bon comportement. Là, clairement, vu les vitesses, il devait nous laisser passer, n'empêche que de temps en temps, il y aura un conducteur qui ne nous laissera pas passer. [...] il faudrait que le système soit capable de réagir en une fraction de seconde si, alors qu'on pense qu'il va nous laisser passer, il décide de s'insérer juste devant nous. C'est quelque chose qu'il faut bien anticiper. Si possible, éviter d'être en mode réactif. [...] Il y aura toujours une surprise de dernière seconde. Mais au moins, être dans un comportement quasi-humain. » (Sujet 1, étape 2)

Un autre participant évoque le risque d'accrochage si, à hauteur d'une entrée, deux véhicules s'insèrent au même moment devant et derrière le véhicule automatisé :

« Il ne faut pas que ça surprenne les gens derrière. Si c'est pas naturel, ça les surprend. Là où il y a le plus de risque de causer des accrochages, c'est lors de ce qu'on appelle les 'dual cut in'. Sur une entrée d'autoroute, tu as deux voitures qui sont sur la bande d'accélération. Il y en a une qui s'insère devant toi et l'autre derrière toi. Donc, si la première s'insère devant toi, toi tu dois freiner, tu gênes celle qui est derrière, ça peut provoquer un accrochage. » (Sujet 2, étape 2)

Enfin, un troisième participant explique comment la différence de comportement entre la machine et l'humain peut entraîner des difficultés de compréhension de la situation par le conducteur. Cette difficulté fait écho au fait que le véhicule automatisé respecte scrupuleusement les consignes qu'on lui a donné, sans aucune marge de manœuvre pour s'adapter aux contraintes extérieures qui rendent chaque situation différente. D'autres situations sensibles que nous avons identifiées font état de cette même difficulté.

« Sur l'autoroute toujours, il y a l'insertion, l'entrée sur l'autoroute. Ça aussi, c'est une culture parce que on dit celui qui rentre sur l'autoroute n'a pas la priorité. Mais nous, en tant qu'usagers, on commence à anticiper. On voit qu'il y a quelqu'un, on anticipe. On fait un changement de voie. Soit, faire un changement de voie, soit je ralentis pour qu'il rentre, soit j'accélère pour qu'il passe derrière moi. La voiture, elle ne peut pas faire ça. Elle respecte la vitesse de consignes. Elle est à 110, elle reste à 110. Elle ne peut pas faire 120, 130 juste pour le laisser passer et hop. Ou bien faire un changement de voie. » (Sujet 8, étape 1)

Nous allons maintenant « décortiquer » un peu plus cette situation grâce au modèle SACI (Figure 34). Dans cet objectif nous reprenons les grandes lignes du déroulé de la situation que nous avons identifiée, et nous caractérisons les relations entre les différentes entités à partir du modèle SACI. Cela a été rendu possible à partir de nos observations instrumentées que nous avons analysées chronologiquement, situation par situation, et des verbalisations que nous avons analysées thématiquement, tout en les mettant au regard des situations analysées. Cette triangulation des données a abouti aux analyses que nous présentons dans ce chapitre.

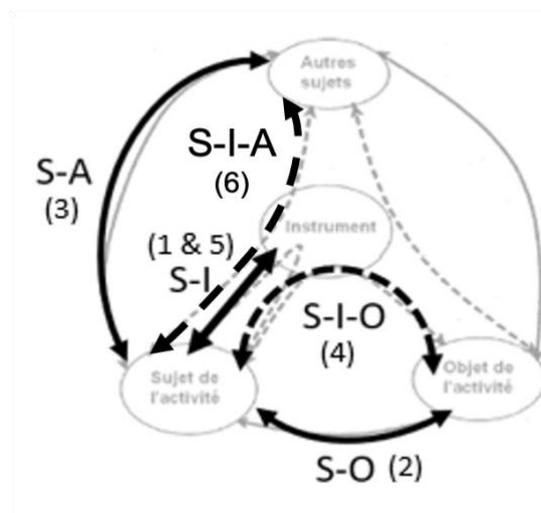


Figure 34 : Modèle SACI d'une situation de la Catégorie 1 : l'activation de la conduite automatisée à hauteur d'une entrée d'autoroute.

Légende : les flèches noires représentent les relations qui concernent directement le sujet, les flèches pointillées sont les médiations du sujet via l'instrument, et les flèches grises sont les relations qui ne concernent pas directement le sujet.

Le Tableau 9 décrit les relations et médiations en jeu dans cette situation, mises en évidence grâce au modèle SACI :

N°	Relations / Médiations	Descriptions
1	Instrument – Sujet	Les interfaces du véhicule indiquent que le mode automatisé est disponible.
2	Sujet – Objet de l'activité	Le conducteur surveille l'état de la conduite (vitesse, voie, direction, etc.), il comprend qu'il arrive à hauteur d'une voie d'insertion.
3	Sujet – Autres sujets	Le conducteur surveille l'état du trafic environnant (nombre et type de véhicules, leur comportement, clignotants, etc.), et voit que des véhicules veulent s'insérer.
4	Sujet – Instrument – Objet de l'activité	Le conducteur décide d'agir, il relâche partiellement les commandes (volant, pédales) et active la conduite automatisée au moment le plus opportun.
5	Sujet – Instrument	Le conducteur vérifie via les interfaces que son action a été prise en compte par le système et que le mode automatisé est bien activé, pour ensuite lâcher complètement les commandes.
6	Sujet – Instrument – Autres sujets	Le conducteur surveille l'état du trafic environnant via la <i>Situation Awareness View</i> du tableau de bord. Il s'assure ainsi que le véhicule « voit » la même chose que lui.

Tableau 9 : Description des relations et médiations en jeu chez les pilotes experts dans les situations d'activation à hauteur d'une entrée d'autoroute (Catégorie 1).

Cette analyse clinique montre comment cette situation spécifique en conduite automatisée affecte les relations et médiations en jeu dans l'activité du conducteur. Certaines modifications de l'activité de conduite traditionnelle ont pu être source de difficultés plus ou moins importantes lors de la phase d'appropriation du prototype par les pilotes experts :

- Les relations n°1 (Instrument – Sujet), n°5 (Sujet – Instrument) et la médiation interpersonnelle n°6 (Sujet – Instrument – Autres sujets) indiquent que le conducteur doit connaître et comprendre les messages partagés par les interfaces de son véhicule. La difficulté réside dans le fait que ces interfaces sont très différentes des interfaces traditionnelles de conduite. Ici, le conducteur doit donc apprendre à reconnaître les états « disponible » et « activé » du mode automatisé sur les interfaces du véhicule. Il doit également apprendre à utiliser l'interface du tableau de bord (SA View) pour vérifier le bon fonctionnement du système. Exemple :

« Surtout dans les phases de transition. Tu as tendance à essayer de rentrer dans une spirale de gestion à très court terme, où je ne regarde plus que la route 10 mètres juste devant moi, à la hauteur de mon capot. Je ne contrôle plus mes rétros, je ne contrôle plus rien. Tu te focalises finalement sur l'IHM. Parce que tu as une interaction qui se passe là ici. Tu as le bouton, ton centre d'intérêt devient là et plus finalement à ta route ou à ce qui peut se passer à côté, derrière. » (Sujet 3, étape 2)

- La médiation pragmatique n°4 (Sujet – Instrument – Objet de l'activité) indique que le conducteur doit connaître et savoir appliquer la procédure d'activation au moment le plus opportun en termes de sécurité et de confort. Il doit donc apprendre à identifier l'organe d'activation, les conditions dans lesquelles le mode automatisé est disponible, et les situations dans lesquelles il peut activer sans prendre de risques. La difficulté réside ensuite dans la prise de décision et l'application de la procédure tout en étant dans une situation dynamique à tempo rapide. Enfin, le conducteur doit suffisamment faire confiance au système pour être capable de lâcher les commandes.

Globalement, dans l'ensemble des situations sensibles d'activation (Catégorie 1), nous observons que nos participants préfèrent attendre, ou font en sorte que le contexte soit favorable pour activer la conduite automatisée. Nous avons d'ailleurs recueilli auprès d'eux une série de conseils et recommandations à l'égard de conducteurs novices de ces systèmes, pour activer dans les meilleures conditions (section 9.1.3.). Ces recommandations issues d'experts de la conduite automatisée ont été intégrées dans le contenu pédagogique que nous avons conçu. A partir de l'exemple ci-dessus, un schème d'utilisation du véhicule automatisé peut être recomposé : le schème d'action instrumenté « activer la conduite automatisée », objectif à atteindre.

Dans l'exemple ci-dessus, le schème d'utilisation du véhicule automatisé est composé du schème d'action instrumenté « activer la conduite automatisé » qui est le but du sujet. Ce schème est lui-même composé de plusieurs schèmes d'usage dont la surveillance de la situation, la prise de décision d'agir au meilleur moment, l'activation via l'appui sur le bouton et le contrôle du résultat.

Pour le recomposer nous nous appuyons sur les observations en situation et les verbatims des pilotes experts (voir schéma de la Figure 35) :

- (1) Vérifier la disponibilité du mode automatisé :

« En tout premier tu vérifies que ton système est disponible, sinon ça ne sert à rien d'appuyer » (Sujet 1, étape 4)

- (2) Surveiller la situation de conduite :

« Je suis en centre de ma voie. Je vois que derrière moi il y a une voiture, et il y a un camion qui est loin, qui est un peu loin qui ne me gêne pas et je peux activer le mode AD. Et je vois que devant moi, il n'y a pas une voiture qui va freiner pour garder la distance de sécurité. » (Sujet 8, étape 2)

- (3) Attendre ou créer les bonnes conditions :

« La première chose que j'ai regardé, c'est si j'avais personne dans le rétro, déjà la voiture de devant forcément, où j'étais sur la voie. Tu as vu que je me suis déjà décalé. Je savais que c'était cette voie-là qui était idéale pour activer. » (Sujet 3, étape 2)

- (4) Prendre la décision d'activer au meilleur moment et dans les bonnes conditions :

« T'as créé ta bulle dans la circulation, que t'as une bonne distance devant, une bonne distance derrière et ton tour de rétro il est bon là t'actives, mais il faut que tu aies visé le centre voie ça c'est un prérequis » (Sujet 7, étape 4)

- (5) Activer en suivant la procédure :

« Il fallait qu'on relâche la pédale d'accélérateur ou de frein pour pouvoir activer. Mais il y en a beaucoup en fait, sur le régulateur il n'y a pas besoin donc ils essayaient, pour peu qu'ils touchaient un petit peu la pédale d'accélérateur, le frein, ils essaient d'activer, ça marchait pas. Très vite ils s'énervaient, ils disaient : « Mais ça marche pas, pourquoi ? » Alors qu'il y a une raison derrière. Mais justement, cette connaissance du système, de bien comprendre, évite une situation de stress au début qui peut biaiser et fausser après l'expérience ou la conduite. » (Sujet 9, étape 1)

- (6) Contrôler le résultat de l'action :

PARTIE 4 : Résultats de la Thèse

« Le retour haptique du volant et de la rigidité de direction c'est primordial parce que c'est ça qui te dit si la commande est passée en fait, et c'est ça qui te rassure en dernier lieu plus que l'IHM ou tout ce que tu veux, là c'est franc quoi. Ce qui ne se ressent pas du tout pour le longi avec les pédales t'as pas ce retour haptique, t'es obligé de ressentir par le comportement de la voiture si elle accélère ou si elle freine » (Sujet 3, étape 4)

- (7) Relâcher toutes les commandes :

« J'active le mode AD et là j'essaie d'éviter de toucher le volant. Et ça, c'était la première chose qui est un peu dure à réaliser, de relâcher un volant. On a toujours l'habitude de rouler, même dans l'auto-école, on nous disait : on va mettre les mains dix heure dix, dix heure dix. Là, d'un coup, il faut relâcher. Mais il faut relâcher d'une manière qu'on est toujours là pour reprendre le volant surtout que le système, c'était au début. » (Sujet 8, étape 1)

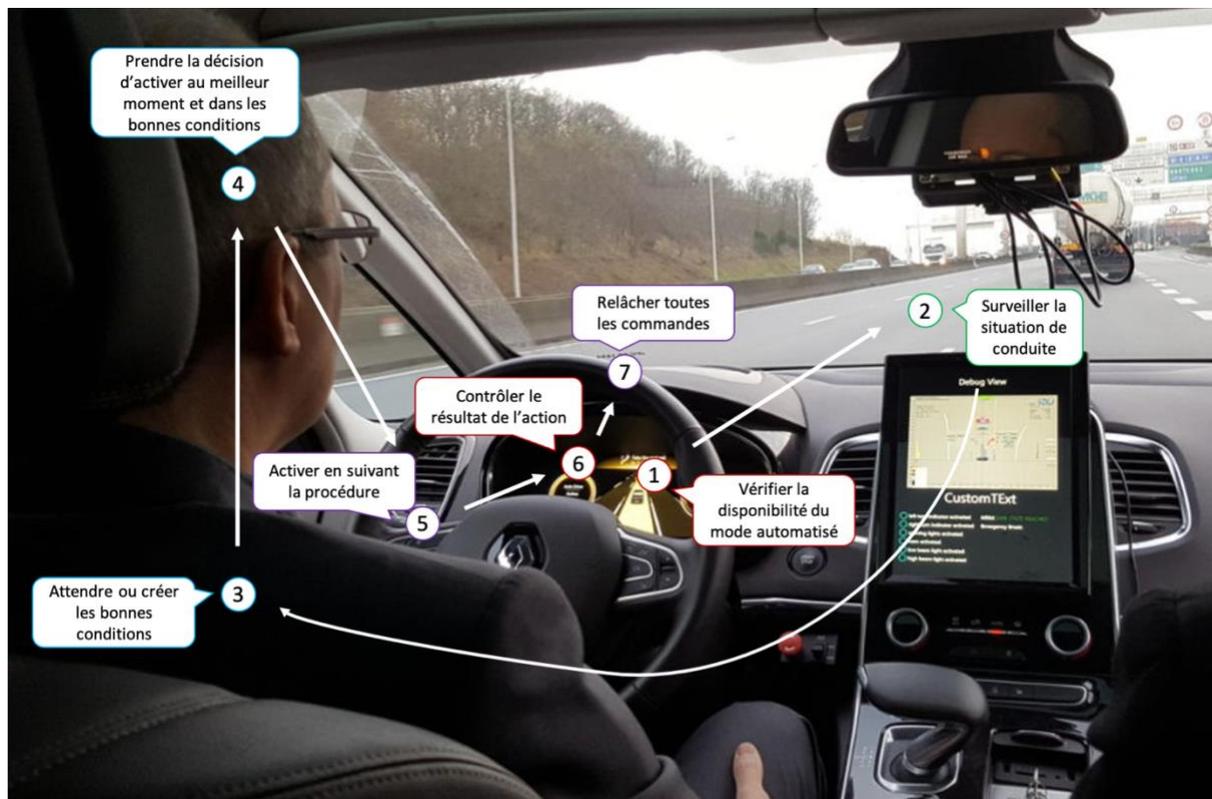


Figure 35 : Les différentes composantes du schème d'activation de la conduite automatisée recomposé à partir des pilotes experts pour les situations de la Catégorie 1.

Acquérir le schème d'activation de la conduite automatisé va demander des transformations des schèmes existant des conducteurs (genèse instrumentale). L'instrumentation des sujets est dominante dans les situations de la Catégorie 1. D'autres éléments sont, en revanche, marqueurs de l'instrumentalisation du véhicule automatisé, comme l'attribution requise d'une nouvelle fonction au tableau de bord pour surveiller l'environnement de conduite. L'identification de ces deux processus complémentaires permet de reconstruire, au moins en

partie, ce qu'a pu être la genèse instrumentale des pilotes experts avec le véhicule automatisé.

9.1.2.2. Analyse clinique d'une situation de la Catégorie 2

La Catégorie 2 concerne les situations liées au fonctionnement nominal du système mais pouvant surprendre ou gêner le conducteur. Nous avons choisi de présenter l'analyse clinique d'une situation de freinage automatisé dû à un ralentissement fort et soudain du trafic en arrivant sur un embouteillage (Figure 36). Cette situation peut être considérée comme sensible dans le sens où elle peut surprendre voire gêner un conducteur non averti. En effet, dans ce type de situation, un conducteur humain a généralement tendance à anticiper le ralentissement du trafic plusieurs véhicules devant lui. Il peut donc commencer à ralentir assez tôt en levant le pied de l'accélérateur puis s'arrêter en freinant doucement. Le véhicule automatisé, quant à lui, gère cette situation différemment car il n'est pas capable d'anticiper au-delà du véhicule précédent. La portance des capteurs étant inférieure à celle de l'œil humain, le véhicule précédent n'est pris en compte que lorsqu'il entre dans la zone de détection des obstacles. C'est à ce moment-là que le système calcule la différence de vitesse (ΔV) et entame un freinage proportionnel, plus ou moins fort, jusqu'à s'arrêter à quelques mètres de l'obstacle identifié.

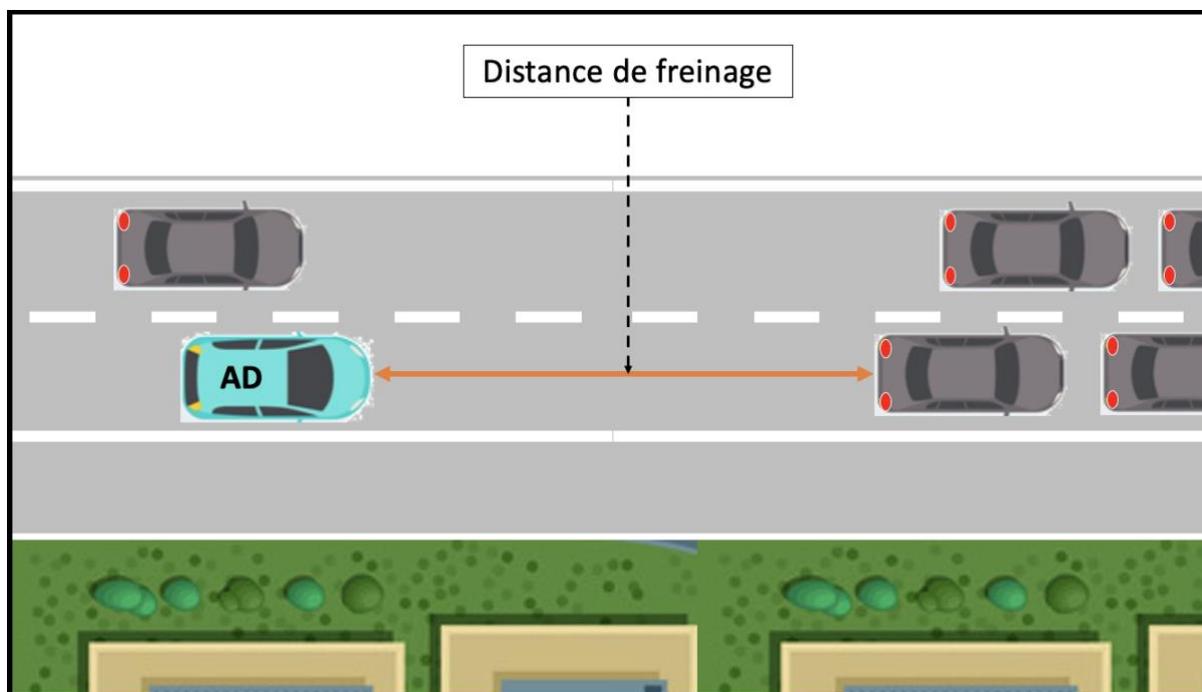


Figure 36 : Schéma illustrant une situation de freinage automatisé dû à un ralentissement fort et soudain du trafic avant un embouteillage (Catégorie 2).

Nous avons sélectionné quelques verbatims des pilotes experts mentionnant les difficultés inhérentes à ce genre de situation. Un des participants évoque à deux reprises le fait que le

véhicule automatisé n'anticipe pas comme l'humain et se contente du seul véhicule qui le précède pour réguler sa vitesse et les freinages :

« Tu peux avoir une voiture qui roule devant toi à 50, ou 60, 70, tu vois dans ces eaux-là, et puis, devant, un peu plus loin, il y a une circulation qui est immobilisée, et le gars qui est devant toi, il a pas envie de s'arrêter, donc quand il voit que la file est immobilisée pour lui, il change de file parce que l'autre à côté continue à rouler. Donc, il change de file pour ne pas s'arrêter. Et du coup, il te découvre une cible immobile sous ton nez, quoi. » (Sujet 2, étape 1)

« Elle, tu vois, elle freine toujours pas. Moi j'aurais déjà commencé à lever le pied. Elle freine quand l'autre freine. Et voilà. [...] en fait elle se fie beaucoup à la voiture qui nous précède alors que nous, on se fie à la dizaine de voitures qui nous précède. [...] Du coup, elle a moins de capacité d'anticipation. Elle a plus de réflexe, parce que quand elle mesure qu'il y a un delta V négatif, elle réagit sans délai. Elle a plus de réflexe qu'un humain, mais un humain anticipe beaucoup plus. » (Sujet 2, étape 2)

Un autre participant nous fait part de sa réaction face à ces freinages tardifs :

« Généralement elle se mettait à freiner plus tard que nous, et ça on n'aimait pas. Parce que nous on se dit : « là il est temps de freiner, j'aurai freiné là, la voiture n'a pas freiné ». Là tu te dis : « déjà, c'est limite ». » (Sujet 3, étape 1)

Enfin, un dernier mentionne la difficulté pour lui de mettre en pratique ses connaissances théoriques sur les distances de détection des capteurs lorsqu'il se retrouve dans ce type de situation :

« Donc, c'est vrai que j'étais un peu forcément stressé. Je sais pas quelles sont les vraies distances de détection. Même si on arrive à se représenter une centaine de mètres, mais quand on est sur le vif, on sait pas toujours trop est-ce qu'il va freiner un peu après, est-ce qu'il va freiner avant ? » (Sujet 6, étape 1)

Nous présentons, dans la Figure 37, le modèle SACI de cette situation de ralentissement fort et soudain, permettant ainsi d'étudier plus finement ce qu'il se passe pour le sujet.

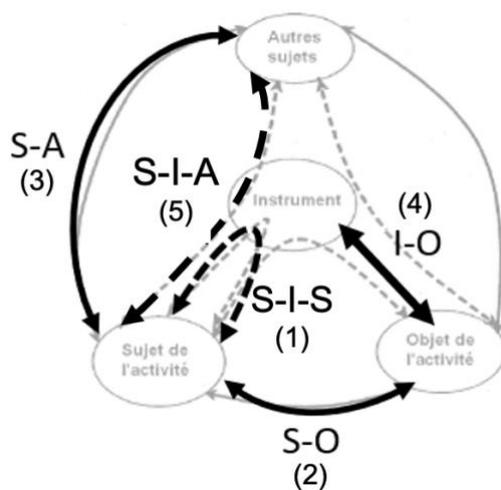


Figure 37 : Modèle SACI d'une situation de la Catégorie 2 : le freinage automatisé dû à un ralentissement fort et soudain du trafic.

Légende : les flèches noires représentent les relations qui concernent directement le sujet, les flèches pointillées sont les médiations du sujet via l'instrument, et les flèches grises sont les relations qui ne concernent pas directement le sujet.

Le Tableau 10 décrit les relations et médiations en jeu dans cette situation grâce au modèle SACI.

N°	Relations / Médiations	Descriptions
1	Sujet – Instrument – Sujet	Le conducteur rapproche son pied du frein mais inhibe son action et laisse faire le véhicule automatisé.
2	Sujet – Objet de l'activité	Le conducteur surveille l'état de la conduite (vitesse, voie, direction, etc.), il comprend que le véhicule ne ralentit pas tout de suite.
3	Sujet – Autres sujets	Le conducteur surveille l'état du trafic environnant (nombre et type de véhicules, leur comportement, clignotants, etc.), et voit que le trafic ralentit fortement plusieurs véhicules devant.
4	Instrument – Objet de l'activité	Le véhicule automatisé détecte le fort ralentissement du véhicule précédent de manière tardive et entame un freinage relativement important.
5	Sujet – Instrument – Autres sujets	Le conducteur vérifie via la SA View du tableau de bord que le système a bien détecté le véhicule précédent.

Tableau 10 : Description des relations et médiations en jeu chez les pilotes experts dans les situations de freinage automatisé dû à un ralentissement fort et soudain du trafic (Catégorie 2).

Dans ce cas d'usage du véhicule automatisé, certaines modifications des relations et médiations impliquées dans l'activité du sujet (par rapport à la conduite traditionnelle) ont pu être, ou sont toujours, sources de difficultés pour les pilotes experts :

- La médiation réflexive n°1 (Sujet – Instrument – Sujet) indique que le conducteur doit savoir laisser agir le véhicule automatisé et ne pas interférer avec sa gestion de la situation. La difficulté étant de développer une confiance appropriée envers la machine et d'apprendre à inhiber un automatisme pourtant bien ancré en conduite traditionnelle, à savoir, piler quand le trafic ralentit fortement.
- La relation n°4 (Instrument – Objet de l'activité) concerne la capacité du véhicule automatisé à gérer une situation de ralentissement fort et soudain du trafic. La difficulté pour le conducteur est de connaître les capacités de son véhicule et de comprendre pourquoi il agit différemment de lui.
- La médiation interpersonnelle n°5 (Sujet – Instrument – Autres sujets) fait écho à la première situation analysée puisqu'il s'agit encore une fois de connaître et comprendre les interfaces du véhicule. Le conducteur doit apprendre à utiliser l'interface du tableau de bord (SA View) pour surveiller que le véhicule automatisé détecte bien les autres usagers de la route. Celle-ci permet également de surveiller la bonne gestion de la conduite par le système.

Les pilotes experts expliquent qu'ils ont pour consigne, dans le cadre de leur métier d'essayeur, de laisser les situations se dérouler au maximum pour enregistrer le plus de données possibles, tout en restant très vigilant afin de garantir leur sécurité et celles des autres usagers. En effet, s'ils estiment que le véhicule n'a pas commencé son freinage suffisamment tôt, ou si le freinage n'est pas suffisamment fort, ils reprennent la main en appuyant eux-mêmes sur le frein. Ainsi, pour ce type de situation le schème d'utilisation du véhicule automatisé est constitué de deux schèmes d'action en fonction du but : (A) « laisser faire et surveiller le véhicule automatisé » et (B) « désactiver la conduite automatisée et reprendre la main ». Ce schème d'utilisation spécifique aux situations de la Catégorie 2 se décompose de la manière suivante (voir également schéma de la Figure 38) :

- (1) Surveiller la situation de conduite :

« Beaucoup plus d'anticipation comme quand on roule en régulateur de vitesse, on fait plus attention aux distances de sécurité ou au véhicule qui arrive derrière pour anticiper un déplacement pour éviter d'enlever le régulateur de vitesse. » (Sujet 9, étape 2)

- (2) Se rapprocher des commandes (soit involontairement par automatisme, soit volontairement pour se préparer à agir) :

« Nous, en tant que passager, on freine avec elle même si ça ne sert à rien, mais on freine, on essaie de freiner. Cette situation, il faut aussi bien la gérer et faire confiance à la voiture, elle va freiner aussi. [...] On a tendance à mettre le pied

PARTIE 4 : Résultats de la Thèse

devant le frein et c'est ce qu'il faut faire parce que là, c'est un prototype et voir est-ce qu'elle arrive à freiner, à garder la distance de sécurité ou pas. » (Sujet 8, étape 1)

- (3) Prendre la décision de laisser faire (A) ou d'agir (B) :

« C'est toujours des moments anxiogènes, mais on sait laisser le véhicule faire jusqu'à un certain moment avant de reprendre en main si nécessaire. » (Sujet 6, étape 1)

- (4) Inhiber la reprise en main (A) ou reprendre la main en suivant la procédure (B) :

« Et si nous en tant que conducteur, on estime que non, elle ne gère pas. On est trop rapide. On freine et on évite. » (Sujet 8, étape 1)

NB : Dans cette situation les pilotes experts reprennent toujours la main en désactivant par le frein, l'inhibition concerne donc l'appui sur le frein également.

- (5) Surveiller la gestion de la situation par le véhicule (A) ou contrôler le résultat de l'action (B) :

« Des fois, c'est un peu long à s'afficher dans l'IHM. Donc là, nous, on s'y habitue, entre guillemets. » (Sujet 6, étape 1)

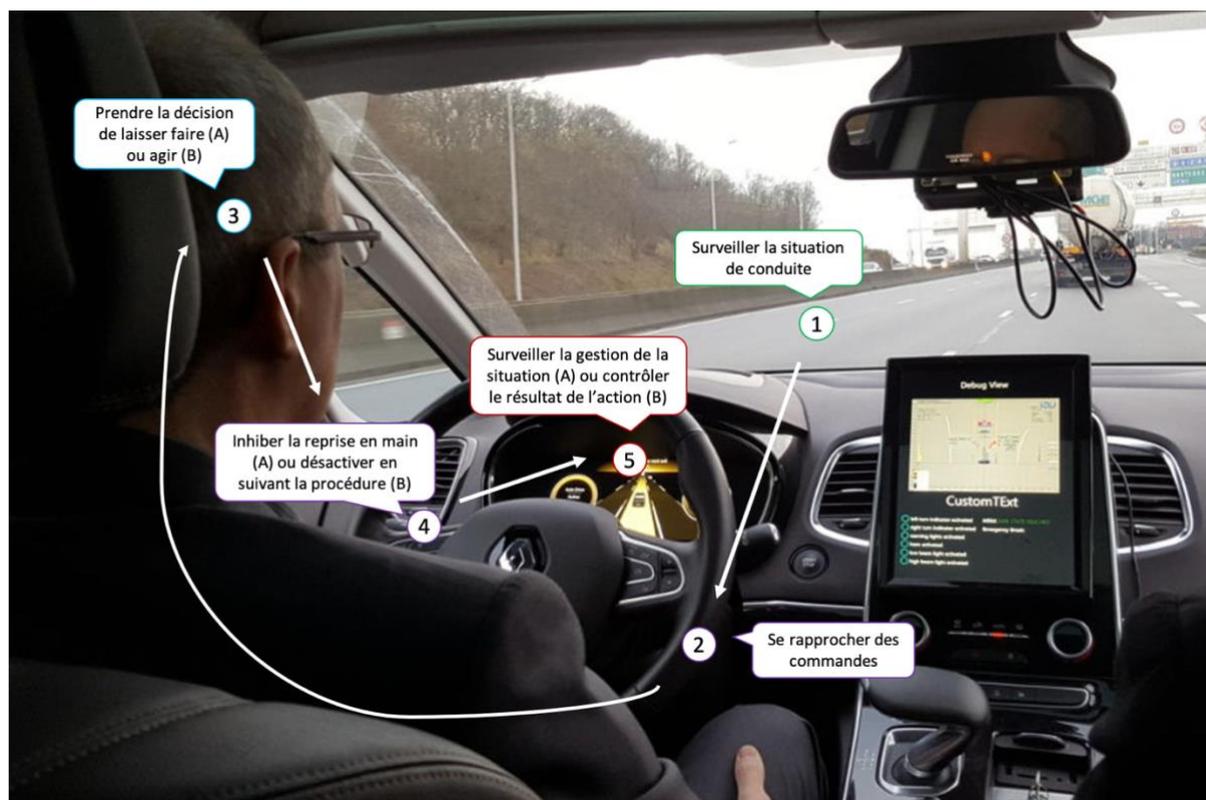


Figure 38 : Les différentes composantes du schème d'utilisation du véhicule automatisé des pilotes experts pour les situations de la Catégorie 2.

Dans ce cas précis, nous faisons l'hypothèse que certains schèmes de la conduite traditionnelle et de l'utilisation du régulateur de vitesse ont été assimilés, tels que la surveillance de la conduite et de la circulation, ou le fait de rapprocher le pied du frein lorsque le trafic ralentit fortement (qu'on soit conducteur ou passager). D'autres schèmes sont plutôt le fruit d'une accommodation comme le fait d'utiliser le frein pour désactiver la conduite automatisée, qui constitue par ailleurs une instrumentalisation de l'artefact « pédale de frein ». Pour les pilotes experts ayant une grande expérience du régulateur de vitesse, ce schème s'apparente plutôt à une assimilation puisqu'il est également possible de désactiver cet ADAS en appuyant sur le frein. Enfin, le processus d'inhibition de l'appui sur le frein est particulièrement intéressant puisqu'il s'agit d'une forme d'instrumentation du sujet. L'inhibition de ce schème très ancré de la conduite traditionnelle montre que les pilotes experts ont développé d'autres manières de faire propres à ces nouvelles situations et au nouvel artefact. On voit là encore que l'instrumentation du sujet est dominante dans les situations de Catégorie 2. De plus, outre l'instrumentalisation de la pédale de frein on retrouve aussi l'instrumentalisation du tableau de bord. Cette dernière permet de surveiller la bonne gestion de la situation par le véhicule via l'interface du tableau de bord (SA View) ou encore de contrôler que l'action de reprise en main a bien désactivé le mode automatisé. Ces résultats nous laissent penser que les novices devront faire face à ces mêmes transformations de l'activité de conduite, et que nous devrions nous appuyer sur ces connaissances acquises

auprès des pilotes experts pour mieux les guider dans leur apprentissage. Par exemple, en fournissant des connaissances sur les commandes qu'il devra maîtriser dans ces situations, et sur les interfaces qu'il devra connaître. En revanche, nous pensons que la facilitation de l'inhibition sera un défi plus difficile à relever.

9.1.2.3. Analyse clinique d'une situation de la Catégorie 3

La Catégorie 3 concerne les situations liées au fonctionnement nominal du système mais critiques pour le conducteur car perçues comme potentiellement dangereuses. Pour l'exemple d'une analyse clinique de cette catégorie, nous avons choisi de présenter une situation de dépassement automatisé d'un poids-lourd par la gauche (Figure 39). Nous considérons cette situation comme sensible car elle est perçue comme potentiellement dangereuse par les conducteurs malgré un fonctionnement nominal du système. En règle générale, lorsqu'un conducteur humain dépasse un poids-lourd (38 tonnes), il se décentre légèrement du côté gauche de sa voie pour laisser un espace de sécurité entre lui et le poids-lourd. La largeur de ce dernier étant à l'origine de cette situation car il se retrouve souvent à frôler, voire dépasser, la ligne centrale en pointillés. Le prototype de véhicule automatisé utilisé n'étant pas capable de se décentrer volontairement dans sa voie, il reste parfaitement centré et la distance latérale est donc réduite.

« Quand on double un camion en fait, on ne va pas rester centre voie. On va se décaler peut-être à 60-40% ou 70-30, j'en sais rien, on verra. Si on le fait pas, ça va être inquiétant pour les gens. Le camion là, à 50 cm, tout proche, si le camion fait un écart, elle tanke. » (Sujet 2, étape 2)

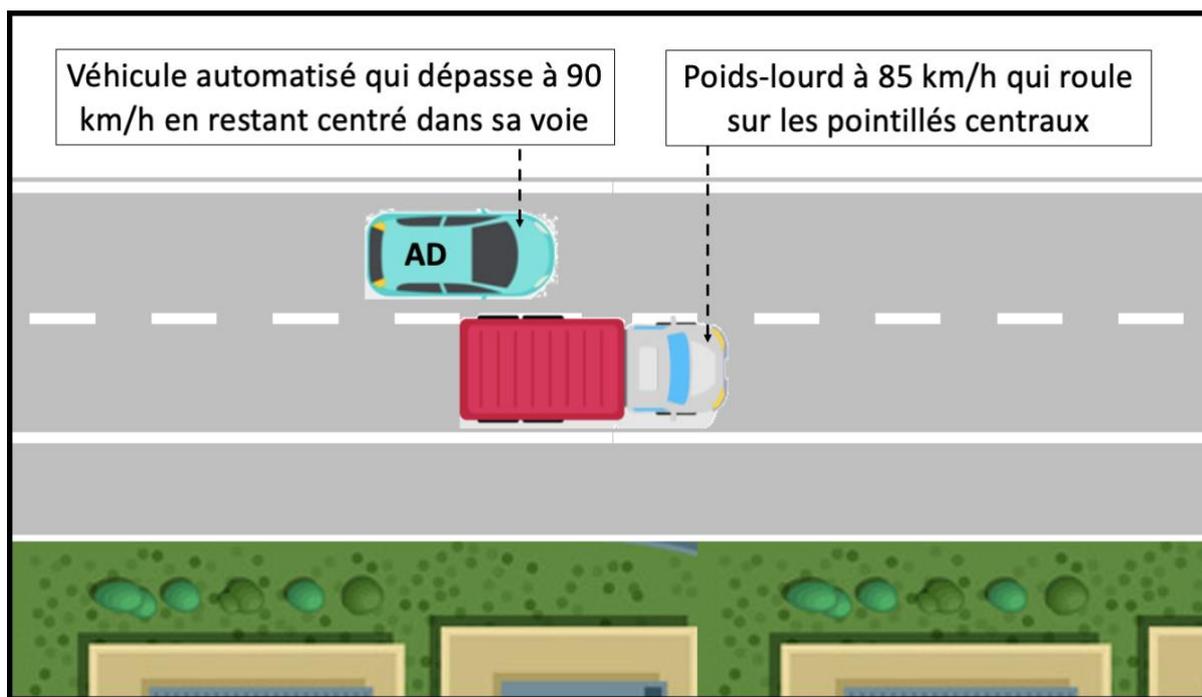


Figure 39 : Schéma illustrant une situation de dépassement automatisé d'un poids-lourd (Catégorie 3).

Cette situation provoque un sentiment d'inconfort et de stress pour les conducteurs qui redoublent de vigilance pour s'assurer que le véhicule automatisé ou le poids-lourd ne fasse pas un écart de trop. Un pilote expert insiste d'ailleurs sur le côté anxiogène de cette situation qui peut durer d'autant plus longtemps que la différence de vitesse entre le véhicule automatisé et le poids-lourd est faible :

« Pour moi on est typiquement dans la situation anxiogène par excellence. Un conducteur humain il va dépasser le camion vite alors que là on est limité par la vitesse, on est à la même vitesse donc on se retrouve collé au camion à la même vitesse, et avec le mur en béton à notre gauche, donc finalement au reste dans la situation où même en conduite manuelle on se dit « qu'est-ce que va faire le camion » s'il perd un peu d'attention et qu'il fait un décalage on est dans la situation anxiogène quoi. Le véhicule devrait se dire « j'ai la place devant, j'accélère » pour sortir de cette situation et se retrouver dans un environnement un peu moins anxiogène » (Sujet 2, étape 4)

Un autre participant fait référence à cette situation qui, selon lui, est encore plus compliquée à appréhender lorsqu'il y a du vent :

« Il y a finalement l'influence de la météo, du vent latéral pour les camions. Nous, on perçoit le fait que le camion, il louvoie un petit peu, et donc il est amené à tout moment, vu les conditions extérieures, à pouvoir faire un petit décalage involontaire. Alors que quand il est en véhicule autonome, finalement ça suit tout le temps sa voie et puis ça peut passer à quelque chose près... » (Sujet 4, étape 1)

Nous allons maintenant voir ce que nous révèle l'analyse des relations et médiations en jeu dans cette situation de la Catégorie 3 (Figure 40).

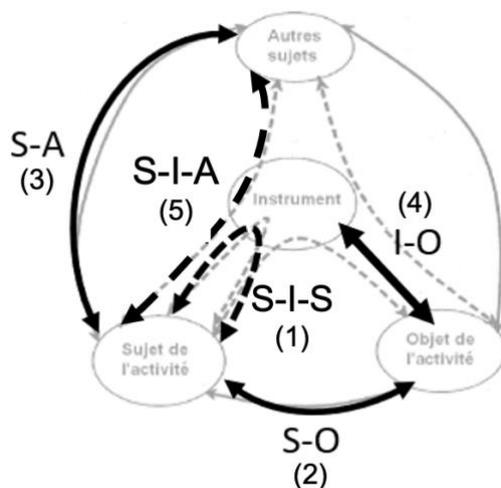


Figure 40 : Modèle SACI d'une situation de la Catégorie 3 : le dépassement automatisé d'un poids-lourd par la gauche.

Légende : les flèches noires représentent les relations qui concernent directement le sujet, les flèches pointillées sont les médiations du sujet via l'instrument, et les flèches grises sont les relations qui ne concernent pas directement le sujet.

Le Tableau 11 présente une description de chaque relation et médiation que le modèle SACI nous permet d'identifier dans cette situation :

N°	Relations / Médiations	Descriptions
1	Sujet – Instrument – Sujet	Le conducteur rapproche ses mains du volant mais inhibe son action et laisse faire le véhicule automatisé.
2	Sujet – Objet de l'activité	Le conducteur surveille l'état de la conduite (vitesse, voie, direction, etc.), il constate que le véhicule reste centré dans sa voie et respecte la vitesse réglementaire.
3	Sujet – Autres sujets	Le conducteur surveille l'état du trafic environnant (nombre et type de véhicules, leur comportement, clignotants, etc.), et voit que le poids-lourd dépassé est très proche latéralement et qu'il roule quasiment à la même vitesse que son véhicule.
4	Instrument – Objet de l'activité	Le véhicule automatisé ne détecte pas d'obstacle et roule parfaitement centré dans sa voie comme si de rien n'était.
5	Sujet – Instrument – Autres sujets	Le conducteur peut surveiller le bon déroulement de la situation via la SA View du tableau de bord.

Tableau 11 : Description des relations et médiations en jeu dans une situation de dépassement automatisé d'un poids-lourd par la gauche (Catégorie 3).

Nous constatons que les relations et médiations qui se trouvent modifiées par rapport à la conduite traditionnelle, et qui peuvent potentiellement être sources de difficultés pour les conducteurs, sont sensiblement les mêmes que pour la Catégorie 2 vue précédemment :

- La médiation réflexive n°1 (Sujet – Instrument – Sujet) indique, là aussi, que le conducteur doit savoir laisser agir le véhicule automatisé et ne pas interférer avec sa gestion de la situation, sous réserve que le poids-lourd ne dépasse pas la ligne blanche centrale. Il s'agit encore une fois de développer une confiance appropriée envers la machine et d'apprendre à inhiber un automatisme ancré en conduite traditionnelle, à savoir, tourner le volant pour se décentrer et créer un écart de sécurité. De plus, saisir le volant par automatisme peut surprendre le conducteur en désactivant la conduite automatisée sans l'avoir réellement voulu ou en faisant un écart dans la voie plus important que prévu.
- La relation n°4 (Instrument – Objet de l'activité) est relative à la capacité du véhicule automatisé à gérer la situation en respectant la vitesse réglementaire et en restant parfaitement centré dans sa voie. La difficulté réside dans le fait de connaître les capacités de son véhicule et son comportement dans ce type de situation.
- La médiation interpersonnelle n°5 (Sujet – Instrument – Autres sujets) est toujours en lien avec la connaissance et la compréhension des interfaces du véhicule. Il s'agit de savoir utiliser l'interface du tableau de bord (SA View) pour surveiller que le véhicule automatisé détecte bien les autres usagers de la route mais aussi de surveiller la bonne gestion de la conduite par le système (médiation épistémique « Sujet – Instrument – Objet de l'activité »). Pour rappel, cette médiation passe de pragmatique (gérer la conduite via les commandes du véhicule) à épistémique lorsque le mode automatisé est activé.

Dans cette situation aussi la consigne de laisser faire le véhicule a été appliquée par les pilotes experts au cours de leur expérience tout en restant extrêmement vigilant pour garantir une sécurité maximale. Tant que le poids-lourd ne montre pas de signes alertant, comme le fait de louvoyer ou de mordre la ligne blanche centrale, les pilotes experts n'interviennent pas. En revanche, s'ils détectent l'un de ces signes, ils reprennent la main soit en accélérant pour terminer le dépassement plus rapidement et se dégager de la situation, soit en tournant le volant pour se décaler et créer un écart de sécurité. Quoi qu'il en soit, avant de prendre la décision d'agir ou de laisser faire, ils rapprochent tous leurs mains du volant lorsqu'ils se retrouvent dans cette situation. Comme pour la Catégorie 2, nous retrouvons à nouveau un schéma d'utilisation du véhicule automatisé composé de deux schèmes d'action en fonction du but du sujet : (A) « laisser faire et surveiller le véhicule automatisé », (B) « désactiver la conduite automatisée et reprendre la main ». Il s'agit donc du même schéma d'utilisation que pour les situations de la Catégorie 2, qui se décompose ainsi (cf. Figure 38) :

PARTIE 4 : Résultats de la Thèse

- (1) Surveiller la situation de conduite :

« Les camions qui sont un peu large par rapport à la route et qui prennent des virages, ou bien qui sont en train de je ne sais pas quoi faire dans leur cabine, et tu vois qu'ils sont pas centrés. Ils font un petit zigzag tout le temps, qui mord la ligne et qui revient. Et là, aussi on doit anticiper. » (Sujet 8, étape 1)

- (2) Se rapprocher des commandes (soit involontairement par automatisme, soit volontairement pour se préparer à agir) :

« Quand il y a un camion, normalement tu le dépasses un peu décalé pour éviter de prendre le souffle, et tu commences à te méfier, à anticiper, moi j'ai tendance à serrer à gauche sur ma voie quand je dépasse un camion. Donc déjà t'as ce premier phénomène ou tu te dis « bon là je suis pas positionné sur la chaussée comme moi je l'aurai fait », donc là le réflexe, c'est peut-être le réflexe de tout le monde, tu remets une main sur le volant, tu te prépares, tu anticipes, tu rapproches tes mains du volant » (Sujet 7, étape 4)

- (3) Prendre la décision de laisser faire (A) ou d'agir (B) :

« On laisse faire au maximum, et si à un moment, on sent que la voiture se décale ou que le camion se décale, on reprend en main. » (Sujet 6, étape 1)

- (4) Inhiber la reprise en main (A) ou reprendre la main en suivant la procédure (B) :

« Soit on accélère parce qu'on a plus vite fait d'accélérer, soit on freine parce que c'est plus facile de... On juge au plus court. » (Sujet 6, étape 1)

- (5) Surveiller la gestion de la situation par le véhicule (A) ou contrôler le résultat de l'action (B) :

« On est à 300% attentif à qu'est-ce qu'il va faire. Une fois que la voiture est à côté du camion et qu'il commence à faire ce zigzag-là, il faut annuler l'action. Tu ne laisses pas, la voiture ne peut pas gérer ça. » (Sujet 8, étape 1)

Nous retrouvons des similarités avec les situations de la Catégorie 2 dans l'analyse des transformations de schèmes potentiellement requises. Les schèmes qui semblent avoir été assimilés à partir de la conduite traditionnelle sont la surveillance de la conduite et de la circulation, et le fait de se préparer à tourner le volant pour s'écarter d'un potentiel danger provenant d'un côté ou de l'autre. Le schème qui semble s'être accommodé est l'utilisation du volant pour désactiver la conduite automatisée, qui là aussi constitue une instrumentalisation de l'artefact « volant ». En revanche, dans le cas où les pilotes experts n'agissent pas, ils inhibent leur action sur le volant, ce qui constitue une adaptation à ces nouvelles situations et au nouvel artefact. Concernant les processus d'instrumentalisation, nous avons évoqué celui

du volant, mais on retrouve encore une fois l'instrumentalisation du tableau de bord via l'interface du tableau (SA View).

9.1.2.4. Analyse clinique d'une situation de la Catégorie 4

La Catégorie 4 concerne les situations liées aux limites de la conduite automatisée connues par le système, pouvant surprendre ou gêner le conducteur car entraînant une demande de reprise en main rapide en 10 secondes. Cette catégorie est spécifique aux véhicules automatisés de niveau 3 SAE. Nous n'avons pas pu observer directement les situations de cette catégorie lors des roulages de l'étape 2, car à ce moment-là les demandes de reprise en main rapide n'étaient pas implémentées dans le prototype. Nous avons donc tenté une analyse clinique à partir des données que nous avons recueillies. Les situations de Catégorie 4 sont considérées comme celles qui sont imprévisibles du point de vue des concepteurs et peuvent nécessiter des manœuvres trop complexes pour le véhicule automatisé. Le conducteur doit reprendre la main. La situation que nous illustrons dans cette section est une situation d'arrivée sur une zone de travaux (Figure 41). Ainsi, lorsque le véhicule automatisé détecte un panneau de travaux, il déclenche une demande de reprise en main rapide et laisse 10 secondes au conducteur pour agir.

« Alors, quand y a des travaux elle fait... elle fait une demande de reprise en main. Et si elle savait pas qu'il y avait des travaux à l'avance, elle va le faire en 10 secondes. » (Sujet 2, étape 2)

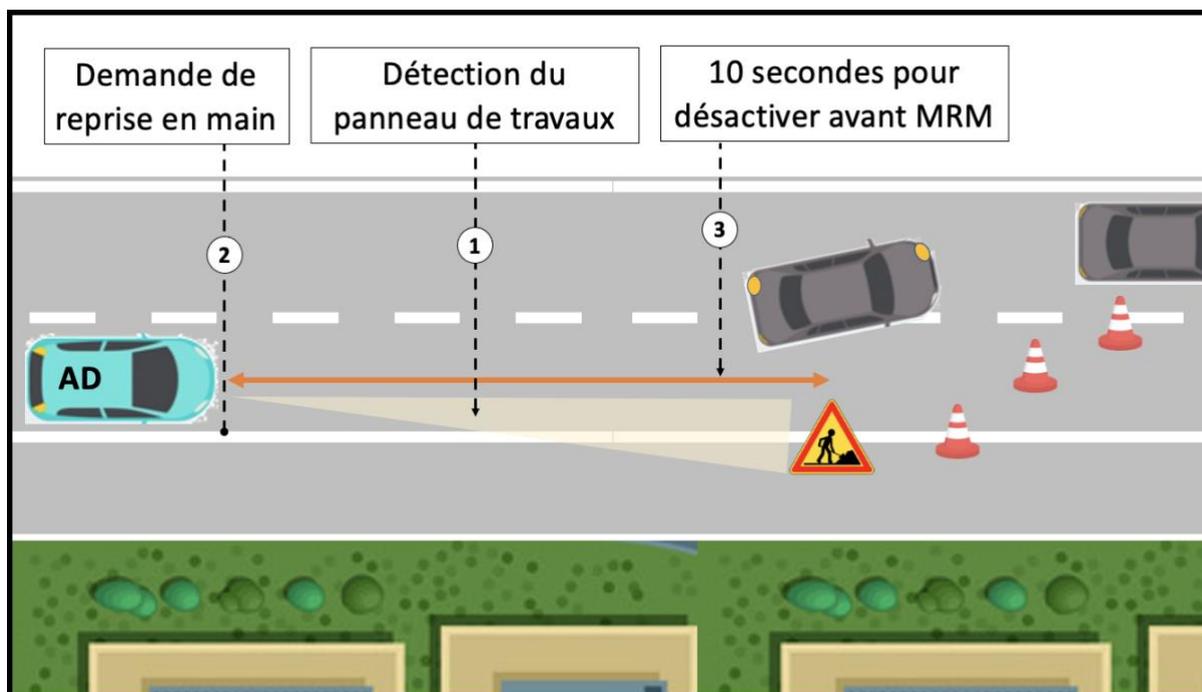


Figure 41 : Schéma illustrant une situation de demande de reprise en main rapide (10 secondes) pour cause de travaux sur la voie.

Si le conducteur ne réagit pas et ne désactive pas la conduite automatisée le système entame alors une manœuvre de refuge automatique ou MRM (*Minimum Risk Maneuver*). Il ralentit, allume les *warnings* et se déporte sur la voie la plus à gauche, si possible jusqu'à la bande d'arrêt d'urgence pour s'arrêter dans les meilleures conditions de sécurité. En parallèle une alerte sonore retentit fortement et les lumières clignotent vivement dans l'habitacle pour avertir le conducteur du potentiel danger de la situation. Il s'agit d'une situation sensible car la demande de reprise en main rapide peut surprendre le conducteur et peut être difficile à gérer dans certains cas. D'ailleurs certains pilotes experts s'inquiètent de la réaction des futurs conducteurs et insistent sur la nécessité de les accompagner :

« Et là, comme tu le sais aujourd'hui on a encore quelques cas possibles de reprise en main à 10 secondes. [...] Comme je l'ai présenté à des centaines de personnes dans les fameux use case, ils me disent : d'accord, si jamais il y a des travaux, votre véhicule s'arrête tout de suite et on reste planté là ? [...] Mais de dire : ne vous inquiétez pas, on gère tout mais on vous montre quand même, regardez. Dans le pire des pires des cas vous aurez un ça, vous aurez une demande de reprise en main, voilà la façon dont ça va se passer, voilà la façon dont il faut réagir. » (Sujet 1, étape 1)

Voyons ce que le modèle SACI nous dit des relations et médiations requises dans cette situation de Catégorie 4 (Figure 42).

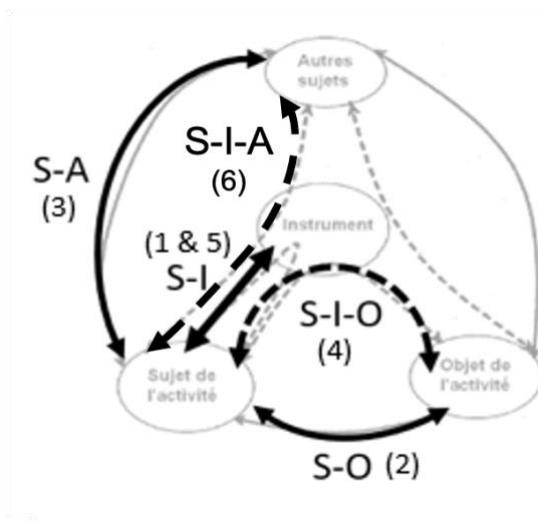


Figure 42 : Modèle SACI d'une situation de la Catégorie 4 : une demande de reprise en main rapide pour cause de travaux sur la voie.

Légende : les flèches noires représentent les relations qui concernent directement le sujet, les flèches pointillées sont les médiations du sujet via l'instrument, et les flèches grises sont les relations qui ne concernent pas directement le sujet.

Les relations et médiations sont décrites dans le Tableau 12.

N°	Relations / Médiations	Descriptions
1	Instrument – Sujet	Le véhicule automatisé signale au conducteur, via ses interfaces, qu'il doit désactiver et reprendre la main dans les 10 secondes en raison de travaux sur la route.
2	Sujet – Objet de l'activité	Le conducteur surveille l'état de la conduite (vitesse, voie, direction, etc.) pour mettre à jour ces informations.
3	Sujet – Autres sujets	Le conducteur surveille l'état du trafic environnant (nombre et type de véhicules, leur comportement, clignotants, etc.), et voit que la circulation ralentit car il y a un panneau et des véhicules de travaux, ainsi que des cônes orange sur la route.
4	Sujet – Instrument – Objet de l'activité	Le conducteur désactive la conduite automatisée et reprend la main.
5	Sujet – Instrument	Le conducteur vérifie sur les interfaces du véhicule que son action a bien été prise en compte et que la conduite automatisée est désactivée.
6	Sujet – Instrument – Autres sujets	Le conducteur peut surveiller l'état du trafic environnant via la SA View du tableau de bord et s'assurer que son véhicule « voit » la même chose que lui.

Tableau 12 : Description des relations et médiations en jeu chez les pilotes experts dans les situations de demande de reprise en main rapide pour cause de travaux (Catégorie 4).

Les relations et médiations en jeu dans cette situation qui ont pu être sources de difficultés pour les pilotes experts sont assez similaires à celles de la Catégorie 1 (situations d'activation) :

- Les relations n°1 (Instrument – Sujet), n°5 (Sujet – Instrument) et la médiation interpersonnelle n°6 (Sujet – Instrument – Autres sujets) sont liées à la connaissance et à la compréhension des messages partagés par les interfaces du véhicule automatisé. Il est donc primordial que le conducteur apprenne à reconnaître les états « demande de reprise en main rapide » et « conduite automatisée désactivée » des interfaces du véhicule. Il doit aussi savoir utiliser l'interface du tableau de bord (SA View) pour surveiller le bon fonctionnement du système.
- La médiation pragmatique n°4 (Sujet – Instrument – Objet de l'activité) suggère que le conducteur doit connaître et savoir appliquer la procédure de reprise en main et ceci de façon sécurisée et confortable. Il doit aussi savoir quelle modalité est préférable pour désactiver (bouton, volant, frein, ou accélérateur) en fonction du contexte. Aussi, une des principales difficultés se situe dans la prise de décision et l'application de la procédure dans les meilleures conditions tout en étant dans une situation dynamique à tempo rapide.

Les situations de demande de reprise en main rapide peuvent parfois être anticipées par les pilotes experts lorsqu'ils repèrent certains indices avant le véhicule automatisé (panneaux de

travaux, brouillard qui se densifie, pluie qui s'accroît, etc.). Lorsque la demande de reprise en main commence, les pilotes experts ne se précipitent pas et prennent le temps de contrôler l'environnement et les paramètres de conduite pour reprendre dans les meilleures conditions de sécurité et de confort. Le schéma d'utilisation du véhicule automatisé développé par nos participants dans les situations de Catégorie 4 est constitué du schéma d'action « désactiver la conduite automatisée et reprendre la main » et peut se décomposer comme ceci (voir schéma de la Figure 43) :

- (1) Surveiller la situation de conduite.
- (2) Vérifier la demande de reprise en main :

« La voiture va te demander de faire ta reprise en main, il faut que tu sois prêt parce qu'on va avoir une situation qu'on ne saura pas gérer. » (Sujet 3, étape 1)

- (3) Se préparer à reprendre la main (contrôler l'environnement et la conduite) :

« C'est pour ça que les quick end sont à 10 secondes. Les 10 secondes, t'as la voiture qui te demande une reprise en main impérative, t'as le temps de sauvegarder ce que t'es en train de faire, poser ton PC, te remettre dans la boucle de conduite, c'est-à-dire regarder dans les rétros, savoir qui il y a autour de toi et devant. » (Sujet 2, étape 2)

- (4) Choisir la bonne modalité de reprise en main en fonction du contexte et prendre la décision de désactiver au meilleur moment.
- (5) Désactiver la conduite automatisée et reprendre la main :

« Puis ensuite, il y aura deux boutons ici (ndla : dans les futurs véhicules). T'appuies sur les deux boutons pour reprendre en main. » (Sujet 2, étape 2)

- (6) Contrôler le résultat de l'action et conduire.

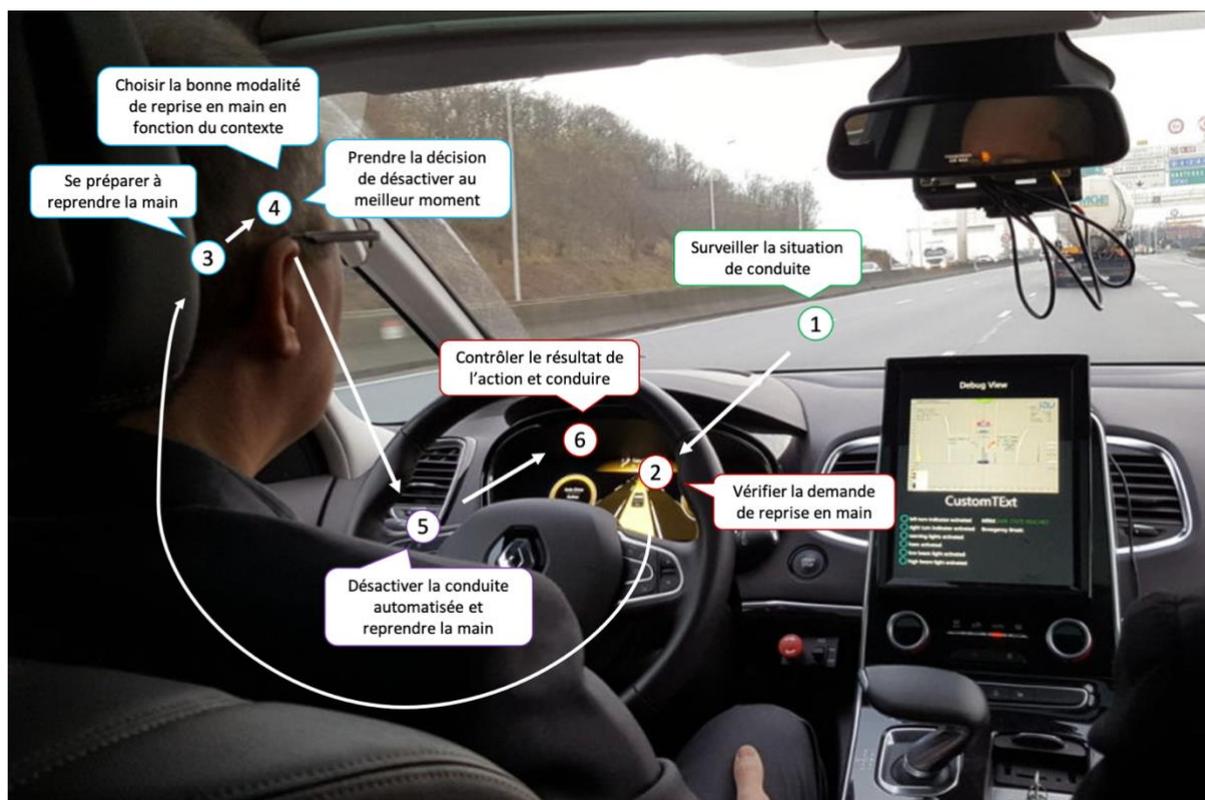


Figure 43 : Les composants du schème de reprise en main des pilotes experts pour les situations de la Catégorie 4.

Les schèmes pouvant être considérés comme assimilés à partir de la conduite traditionnelle et de l'utilisation du régulateur de vitesse sont la surveillance de la conduite et de la circulation, le choix de la modalité de reprise en main, la désactivation avec le bouton ou les pédales, et le contrôle du résultat de l'action :

« Oui l'enclenchement du mode autonome a été pour moi assez facile, y compris la reprise en main était relativement facile et intuitive, puisque très proche de ce qui se fait aujourd'hui sur un régulateur de vitesse ou un limiteur de vitesse. » (Sujet 5, étape 1)

En revanche une accommodation a potentiellement été nécessaire pour les schèmes suivants : vérifier la demande de reprise en main via les interfaces, se préparer à reprendre la main, et désactiver avec le volant. En effet, ces schèmes d'usage n'existent ni en conduite traditionnelle, ni lors de l'usage d'un régulateur de vitesse. Outre ces processus d'instrumentation du sujet, nous identifions également des processus d'instrumentalisation des artefacts « volant » et « pédales » pour désactiver la conduite automatisée, et du tableau de bord via l'interface du tableau de bord (SA View) pour surveiller la conduite automatisée.

9.1.2.5. Analyse clinique d'une situation de la Catégorie 5

La Catégorie 5 concerne les situations liées aux limites de la conduite automatisée non reconnues par le système et critiques pour le conducteur car perçues comme potentiellement dangereuses. De plus, elles nécessitent une intervention de ce dernier sans être guidé par le système. Les situations de cette catégorie sont peu nombreuses (N = 3) mais sont particulièrement intéressantes pour comprendre les limites des prototypes de véhicules automatisés actuels par rapport à l'activité réelle de conduite. En effet, la programmation actuelle du véhicule fait que la différence entre le modèle de conduite du système et l'activité de conduite réelle provoque des situations ambiguës que le système « pense savoir » gérer. En réalité, nous identifions trois difficultés pour le système dans ce type de situation : (1) le système n'identifie pas la source du problème et n'essaye donc pas de le gérer (véhicule d'intervention), (2) le système identifie la source mais son choix ne permet pas de maîtriser la situation, ou (3) le système se retrouve dans une boucle paradoxale dans laquelle les décisions qu'il prend provoquent les conditions favorables à l'émergence de nouvelles difficultés. C'est cette dernière difficulté que nous illustrons dans cette section, en prenant l'exemple d'une situation de circulation dense et chaotique avec des insertions intempestives d'autres véhicules dans la file, qui empêchent le véhicule automatisé d'avancer (Figure 44). Dans cette situation, les autres usagers de la route profitent de la distance de sécurité respectée par le véhicule automatisé pour s'insérer devant lui et continuer leur chemin. Le véhicule automatisé se faisant couper la route continuellement, ralentit à chaque fois pour retrouver la distance de sécurité réglementaire. Il arrive parfois que la circulation soit tellement dense et qu'il y ait tellement d'insertions que le véhicule automatisé ralentit continuellement au point de se retrouver quasiment à l'arrêt au milieu de la circulation qui, elle, continue d'avancer. Il entre ainsi dans un « cercle vicieux » puisqu'en prenant la décision de ralentir à chaque insertion, il crée les conditions pour que d'autres s'insèrent à nouveau devant lui. Cette situation est donc particulièrement sensible puisqu'elle est considérée comme critique et potentiellement dangereuse par les pilotes experts. Elle est liée à l'obligation pour les concepteurs de respecter strictement le Code de la route dans des situations où les conducteurs humains adoptent une stratégie de régulation.

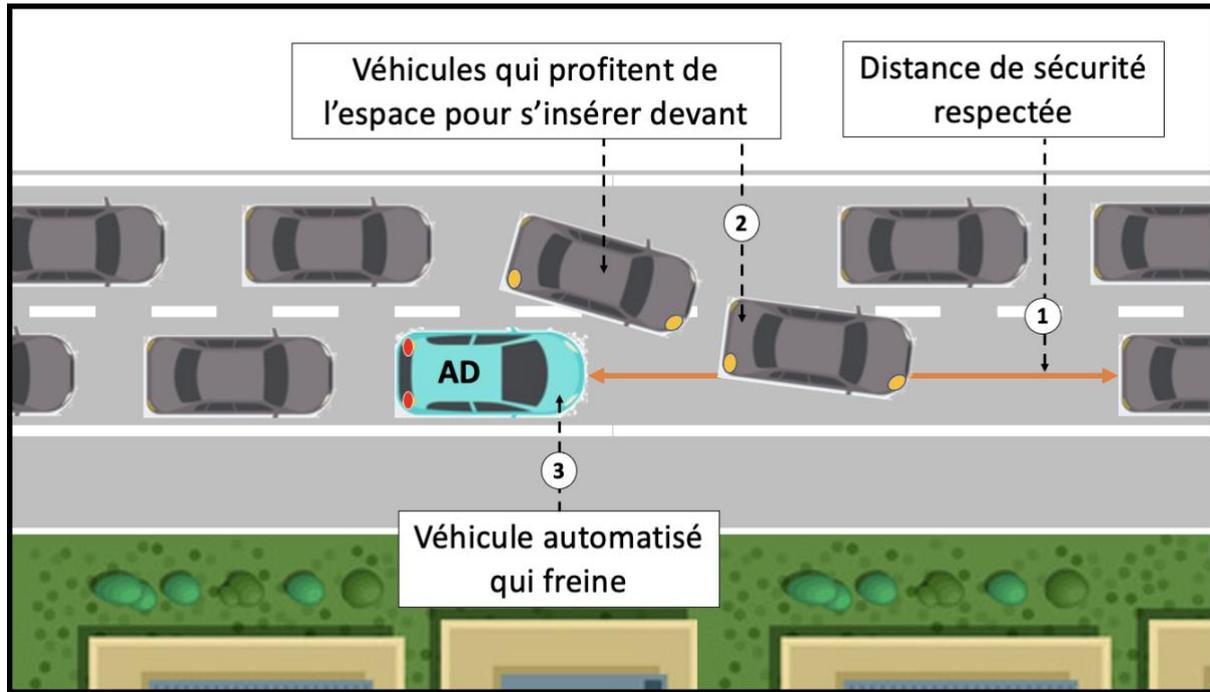


Figure 44 : Schéma illustrant une situation de circulation dense et chaotique avec des insertions intempestives empêchant le véhicule automatisé d'avancer (Catégorie 5).

« On respecte certainement une distance de suivi réglementaire qui est largement supérieure à la vitesse moyenne. C'est vraiment un problème. Il faudra qu'on trouve une solution. Là, on a eu encore de la chance, personne ne s'est inséré. Mais avec une distance de suivi de ce type-là, forcément, on va avoir des gens qui vont s'insérer sans arrêt devant nous. On sait que c'est un souci. En embouteillage, il faudra qu'on trouve quelque chose qui soit plus proche d'un comportement humain, mais du coup pas forcément, complètement légal puisqu'aujourd'hui, on est censé respecter les deux secondes. » (Sujet 1, étape 2)

Nous présentons dans la Figure 45 le modèle SACI correspondant à cette situation ambiguë de la Catégorie 5.

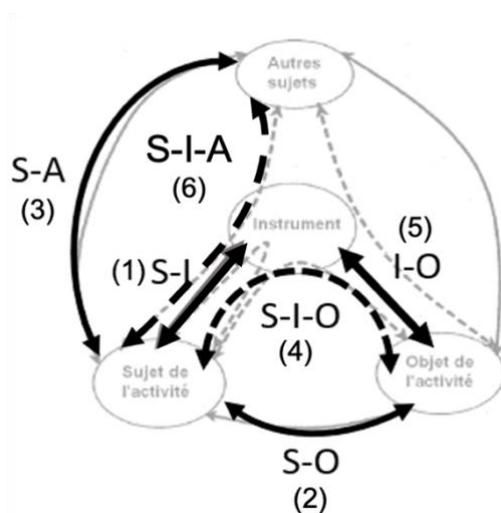


Figure 45 : Modèle SACI d'une situation de la Catégorie 5 : la circulation dense et chaotique avec insertions intempestives.

Légende : les flèches noires représentent les relations qui concernent directement le sujet, les flèches pointillées sont les médiations du sujet via l'instrument, et les flèches grises sont les relations qui ne concernent pas directement le sujet.

Les relations et médiations sont décrites dans le Tableau 13.

N°	Relations / Médiations	Descriptions
1	Sujet – Instrument	Le conducteur vérifie sur les interfaces du véhicule que son action a bien été prise en compte et que la conduite automatisée est désactivée.
2	Sujet – Objet de l'activité	Le conducteur surveille l'état de la conduite (vitesse, voie, direction, etc.), il constate que son véhicule automatisé est très lent, presque à l'arrêt.
3	Sujet – Autres sujets	Le conducteur surveille l'état du trafic environnant (nombre et type de véhicules, leur comportement, clignotants, etc.), et voit une circulation dense avec beaucoup d'usagers qui s'insèrent devant lui.
4	Sujet – Instrument – Objet de l'activité	Le conducteur prend l'initiative de désactiver la conduite automatisée et reprend la main.
5	Instrument – Objet de l'activité	Le véhicule automatisé ralentit à chaque insertion pour respecter la distance de sécurité avec le véhicule qui le précède.
6	Sujet – Instrument – Autres sujets	Le conducteur peut surveiller l'état du trafic environnant via la SA View du tableau de bord et s'assurer que son véhicule « voit » la même chose que lui.

Tableau 13 : Description des relations et médiations en jeu dans la situation de circulation dense et chaotique avec insertions intempestives (Catégorie 5).

Dans ce cas de figure, les relations et médiations qui ont potentiellement été sources de difficulté pour les pilotes experts au début de leur expérience en conduite automatisée sont les suivantes :

- La relation n°1 (Sujet – Instrument) et la médiation interpersonnelle n°6 (Sujet – Instrument – Autres sujets) concernent la connaissance et la compréhension des interfaces du véhicule automatisé. Ici, le conducteur doit apprendre à reconnaître l'état « conduite automatisée désactivée » des interfaces du véhicule. Il doit également connaître l'interface du tableau de bord (SA View) pour veiller à ce que le système « voit » bien ce qu'il se passe sur la route.
- La médiation pragmatique n°4 (Sujet – Instrument – Objet de l'activité) fait écho aux situations de la Catégorie 4 car le conducteur doit, là aussi, connaître et savoir appliquer la procédure de reprise en main de façon sécurisée et confortable. Il doit également choisir la modalité la plus pertinente pour désactiver (bouton, volant, frein, ou accélérateur) en fonction du contexte. Encore une fois, une des principales difficultés concerne la prise de décision et l'application de la procédure dans les meilleures conditions tout en étant dans une situation dynamique à tempo rapide.
- La relation n°5 (Instrument – Objet de l'activité) porte sur les limites du véhicule automatisé et sur sa façon de gérer ces situations très différemment d'un conducteur humain. La difficulté pour le conducteur est de connaître les limites de son véhicule ainsi que son comportement dans ce type de situations afin de pouvoir les anticiper.

Tout comme pour les situations de reprise en main rapide (Catégorie 4), les pilotes experts ont appris à identifier des indices dans l'environnement de conduite pour pouvoir faire face à ces situations ambiguës. Ils parviennent à les identifier rapidement afin d'agir par anticipation en désactivant la conduite automatisée et en reprenant la main alors même que le véhicule ne leur demande pas. Ainsi, ils peuvent gérer la situation manuellement et ne se retrouve plus dans des situations à risques comme cela a pu leur arriver lors des premiers trajets avec les prototypes. Le schème d'utilisation qu'ils ont développé est donc constitué du schème d'action instrumenté « désactiver la conduite automatisée et reprendre la main ». Ce schème se décompose quasiment de la même façon que celui de la Catégorie 4, à ceci près que les conducteurs n'ont pas besoin de vérifier la demande de reprise en main sur les interfaces car il n'y en a pas. En revanche, ils doivent eux-mêmes détecter les éléments de l'environnement qui indique une potentielle situation ambiguë (voir schéma de la Figure 46) :

- (1) Surveiller la situation de conduite.
- (2) Détecter un indice indiquant une potentielle situation ambiguë :

*« En général les cas de reprise en main on les voit venir ou c'est plutôt une appréciation du danger. C'est quelque chose qui est déjà, un, imprévisible, deux qui ne se fait pas de façon trop brutale. Ça c'est beaucoup de cas de reprise en main. »
(Sujet 1, étape 1)*

- (3) Se préparer à reprendre la main (contrôler l'environnement et la conduite).
- (4) Choisir la bonne modalité de reprise en main en fonction du contexte et prendre la décision de désactiver au meilleur moment.
- (5) Désactiver la conduite automatisée et reprendre la main.
- (6) Contrôler le résultat de l'action et conduire.

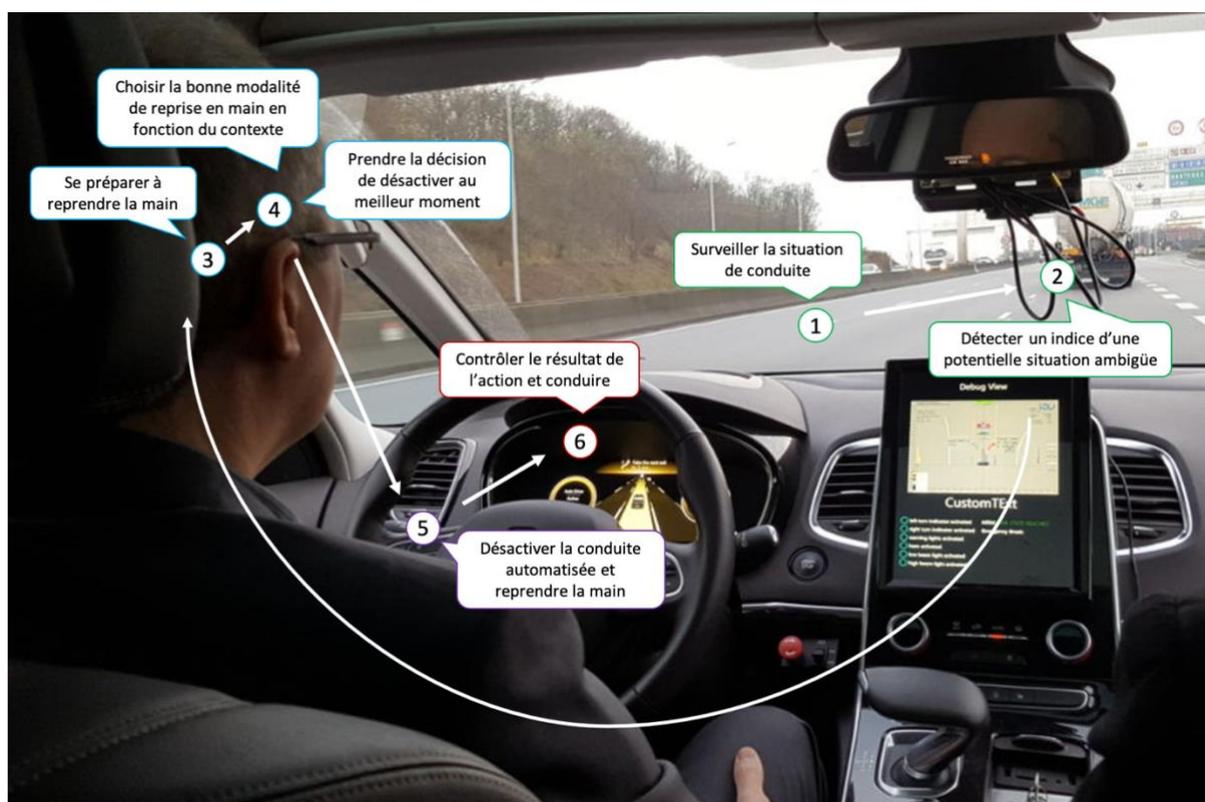


Figure 46 : Les composantes du schème de reprise en main des pilotes experts pour les situations de la Catégorie 5.

Nous pensons, là encore, que les schèmes assimilés à partir de la conduite traditionnelle et de l'utilisation d'un régulateur de vitesse sont la surveillance de la conduite et de la circulation, le choix de modalité de reprise en main, la désactivation avec le bouton ou les pédales, et le contrôle du résultat de l'action. Quant aux schèmes potentiellement accommodés car n'existant pas en conduite traditionnelle ou lors de l'utilisation d'ADAS, nous pensons qu'il s'agit de la préparation à la reprise en main et de la désactivation par le volant. Enfin, le processus d'instrumentalisation concerne, là aussi, les artefacts « volant » et « pédales » pour la désactivation, et le tableau de bord pour surveiller la conduite automatisée grâce à l'interface du tableau de bord (SA View).

9.1.2.6. Analyse clinique d'une situation de la Catégorie 6

La Catégorie 6 concerne les situations pouvant gêner ou surprendre le conducteur lors de la désactivation de la conduite automatisée. Contrairement à la Catégorie 4, cette catégorie ne traite pas des causes provoquant une demande de reprise en main, mais plutôt des contextes pouvant rendre ces situations sensibles. Qu'il s'agisse d'une reprise en main à l'initiative du conducteur (volontaire ou non), d'une demande de reprise en main rapide en 10 secondes ou d'une demande de reprise en main anticipée en 60 secondes, toutes peuvent être concernées.

Nous avons choisi d'illustrer une situation de demande de reprise en main anticipée avec un véhicule très proche derrière (Figure 47). Dans cette situation, le véhicule indique au conducteur qu'il lui reste 60 secondes pour reprendre la main avant que le mode automatisé ne soit plus disponible. Si le conducteur ne désactive pas avant la fin du décompte, le véhicule automatisé effectue alors une MRM (il ralentit, met les *warnings*, et se range sur le côté tout en alertant le conducteur). Lors des transitions de mode (activation et désactivation), il y a toujours un changement de rythme plus ou moins important au niveau de la vitesse du véhicule. Ce changement de rythme peut s'accompagner d'un mouvement latéral plus ou moins brusque si la reprise en main se fait via le volant.

« Tu sors du mode AD et tu contrôles la voiture. Mais vu que tes pieds ne sont ni sur l'accélérateur ni sur le frein, tu ramènes ton pied sur le frein. Tu le ramènes d'une manière forte et brusque. Et là, le freinage n'est pas confortable. [...] Les mains ne sont pas sur le volant. Tu remets tes mains et tu vas braquer. Là, le braquage est violent. Il part rapidement » (Sujet 8, étape 1)

Tout cela peut surprendre ou gêner le conducteur, mais aussi et surtout les véhicules suivants qui peuvent ne pas comprendre pourquoi le véhicule automatisé se décentre, ralentit ou accélère brusquement. Par conséquent, si le conducteur décide de freiner pour désactiver alors qu'un véhicule est très proche derrière, cela peut provoquer un accident car le véhicule suivant n'aura pas le temps de freiner ou d'effectuer une manœuvre d'évitement.

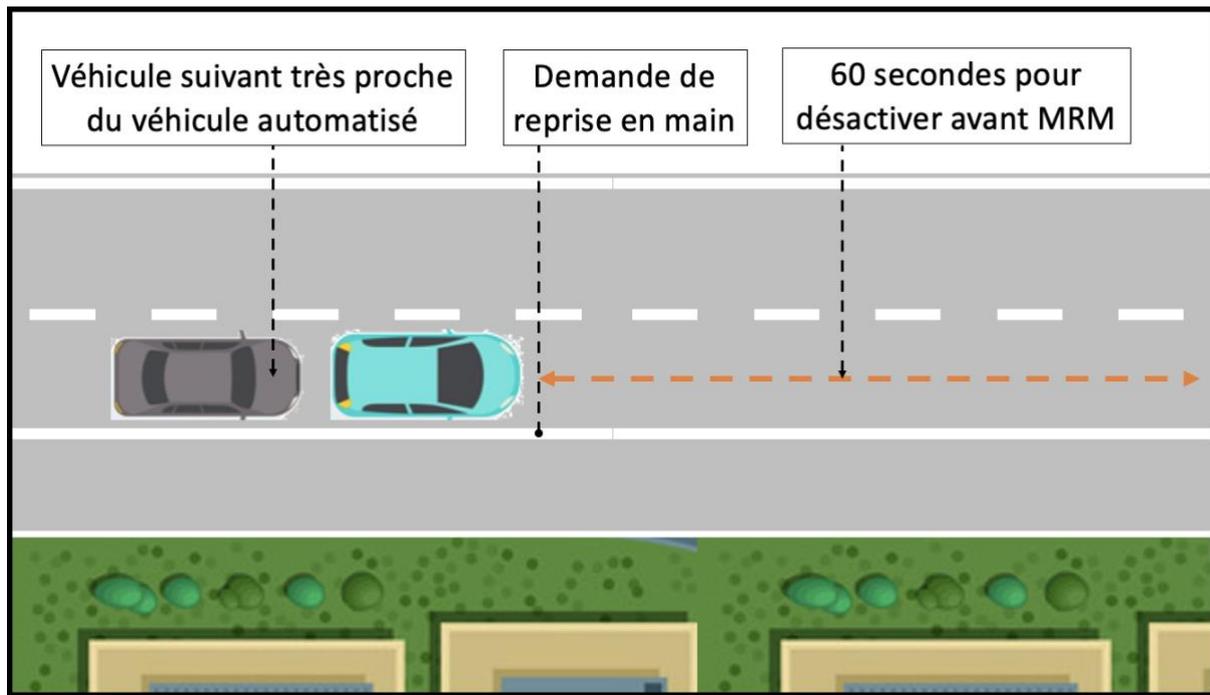


Figure 47 : Schéma illustrant une situation de demande de reprise en main anticipée (60 secondes) avec un véhicule proche derrière.

« Ça dépend de la situation. Soit, je dois accélérer parce qu'il y a une voiture derrière moi et je ne veux pas le laisser faire un changement de voie parce que je dois freiner et je risque de faire un accident derrière. Soit vraiment, s'il n'y a personne derrière moi, je freine et je le laisse faire son changement de voie. »
(Sujet 8, étape 1)

Le modèle SACI ci-dessous (Figure 48), met en évidence les relations et médiations du sujet dans cette situation sensible de Catégorie 6.

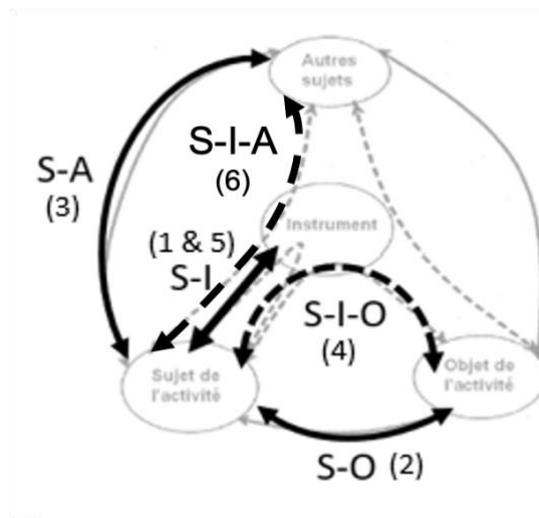


Figure 48 : Modèle SACI d'une situation de la Catégorie 6 : une demande de reprise en main anticipée avec un véhicule proche derrière.

Légende : les flèches noires représentent les relations qui concernent directement le sujet, les flèches pointillées sont les médiations du sujet via l'instrument, et les flèches grises sont les relations qui ne concernent pas directement le sujet.

Le Tableau 14 présente une description détaillée des relations et médiations mises en évidence par le modèle SACI.

N°	Relations / Médiations	Descriptions
1	Instrument – Sujet	Le véhicule automatisé signale au conducteur, via ses interfaces, qu'il doit désactiver et reprendre la main dans les 60 secondes car le mode automatisé ne sera plus disponible.
2	Sujet – Objet de l'activité	Le conducteur surveille l'état de la conduite (vitesse, voie, direction, etc.), pour mettre à jour ces informations.
3	Sujet – Autres sujets	Le conducteur surveille l'état du trafic environnant (nombre et type de véhicules, leur comportement, clignotants, etc.), et constate que le véhicule derrière lui est vraiment très proche.
4	Sujet – Instrument – Objet de l'activité	Le conducteur désactive la conduite automatisée et reprend la main en accélérant.
5	Sujet – Instrument	Le conducteur vérifie sur les interfaces du véhicule que son action a bien été prise en compte et que la conduite automatisée est désactivée.
6	Sujet – Instrument – Autres sujets	Le conducteur peut surveiller l'état du trafic environnant via la SA View du tableau de bord et s'assurer que son véhicule « voit » la même chose que lui.

Tableau 14 : Description des relations et médiations en jeu chez les pilotes experts dans les situations de demande de reprise en main anticipée avec un véhicule proche derrière (Catégorie 6).

On constate beaucoup de similitudes avec les situations de reprise en main rapide (Catégorie 4), et donc les mêmes difficultés ont été rencontrées lors des premiers usages des prototypes :

- Les relations n°1 (Instrument – Sujet), N°5 (Sujet – Instrument) et la médiation interpersonnelle n°6 (Sujet – Instrument – Autres sujets) font référence aux messages partagés par les interfaces du véhicule. Le conducteur doit donc connaître et comprendre les états « demande de reprise en main anticipée » et « conduite automatisée désactivée » de ces interfaces. Il doit aussi savoir utiliser l'interface du tableau de bord (SA View) pour surveiller le bon fonctionnement du système.
- La médiation pragmatique n°4 (Sujet – Instrument – Objet de l'activité) concerne la procédure de reprise en main et le fait de savoir l'appliquer de façon sécurisée et confortable. Le conducteur doit donc pouvoir choisir la meilleure modalité pour désactiver

(bouton, volant, frein, ou accélérateur) en fonction du contexte. La difficulté pour ce dernier est d'être capable de prendre la décision et d'appliquer la procédure dans les meilleures conditions en étant dans une situation dynamique à tempo rapide.

Pour les pilotes experts, il est évident que dans cette situation de désactivation avec un véhicule proche derrière, la meilleure solution est d'accélérer pour creuser l'écart et refaire la distance de sécurité. Cependant, ils ne vont pas se précipiter sur l'accélérateur et préfèrent d'abord jauger la situation et prendre le temps de se préparer « physiquement et mentalement ». Ils se remettent dans la boucle en surveillant l'état de la conduite (vitesse, voie, centrage, etc.) et l'état de la circulation. En effet, ils ne vont pas accélérer s'ils voient qu'un véhicule s'apprête à leur couper la route au même moment par exemple. Ils sont donc patients car ils ont intégré le fait que les comptes à rebours de 10 secondes et de 60 secondes sont suffisants pour pouvoir reprendre la main dans les meilleures conditions. Le schème d'utilisation développé est le même que pour la Catégorie 4. Simplement, pour les demandes de reprise en main en 60 secondes, ils n'ont pas besoin d'anticiper en détectant des indices, et ils disposent de plus de temps pour se préparer à reprendre la main. Ce schème est donc constitué du schème d'action instrumenté « désactiver la conduite automatisée et reprendre la main » et se décompose en schèmes d'usage comme ceci (cf. Figure 43) :

- (1) Surveiller la situation de conduite.
- (2) Vérifier la demande de reprise en main :

« C'est toujours la dernière minute du mode AD, il m'indique, il m'affiche normalement que j'ai une minute, 60 secondes. Après, 30 secondes, il me dit de faire attention et de regarder autour de moi, et à la 10e seconde, il commence à biper. 10, 9, ... 3, il dit : « vas-y, prends jusqu'à 0. » Quand j'arrive à 0, elle va freiner, c'est ce qui est arrivé là-bas. » (Sujet 8, étape 2)

- (3) Se préparer à reprendre la main (contrôler l'environnement et la conduite) :

« Ça veut dire, on se prépare physiquement et mentalement. Physiquement, on commence à mettre les mains à côté du volant et le pied qui est entre l'accélérateur et le frein. [...] C'est ça l'anticipation et la préparation physiquement et mentalement là-dessus. » (Sujet 8, étape 1)

- (4) Choisir la bonne modalité de reprise en main en fonction du contexte et prendre la décision de désactiver au meilleur moment :

« Le camion, il était trop proche de moi, et vu qu'on a baissé la vitesse de 70 à 50, il faut reprendre tout de suite. Et pour reprendre la main, dans ce cas-là, il faut accélérer. Il ne faut pas ni freiner ni toucher le volant, et il faut accélérer. Quand tu accélères, tu reprends la main tout de suite. » (Sujet 8, étape 2)

- (5) Désactiver la conduite automatisée et reprendre la main.
- (6) Contrôler le résultat de l'action et conduire.

Les schèmes potentiellement assimilés sont, comme pour la Catégorie 4, la surveillance de la conduite et de la circulation, le choix de la modalité de reprise en main, la désactivation avec le bouton ou les pédales, et le contrôle du résultat de l'action. Et les schèmes potentiellement accommodés sont donc la vérification de la demande de reprise en main via les interfaces, la préparation à la reprise en main, et la désactivation avec le volant. Précisons que dans certains cas particuliers comme les *ghost* (détection d'un obstacle inexistant ou faux positif), où le véhicule freine sans raison, il faut reprendre la main en accélérant pour éviter une collision avec le véhicule suivant. Dans ce cas bien précis, utiliser l'accélérateur pour désactiver ne s'est pas fait naturellement. Les pilotes experts ont d'abord dû inhiber leur réflexe d'appui sur le frein pour pouvoir accommoder leur schème de reprise en main comme l'évoque un des pilotes experts :

« Le ghost si tu veux, ce qui était paradoxal, c'est que quand la voiture freine, c'est qu'il ne s'agit pas de freiner pour récupérer la bagnole. Il faut que tu reprennes par l'accélérateur. Et ça, au début, c'est quelque chose qu'on n'avait absolument pas vu. Déjà on n'avait pas vu qu'il pourrait y avoir un ghost qui se forme. Et ensuite, que ça s'inverse au niveau de la reprise de contrôle, il fallait aller le voir. Puisqu'en plus quand la voiture freine et qu'elle freine vraiment fort, premier réflexe que tu as, c'est déjà de remettre ton pied sur la pédale. Parce que dans ta tête, la seule manière que la voiture puisse freiner, c'est quand même que ton pied soit sur la pédale. Ce que ton cerveau cherche à faire, c'est déjà retrouver un environnement connu, parce qu'il dit : la voiture freine, je ne comprends pas mon pied n'est pas sur la pédale. Donc tu vas rechercher déjà un univers connu et tu perds du temps. Tu vas remettre le pied sur la pédale de frein, tu vas dire : « Non, ce n'est pas ça. Oui, il faut accélérer ». Et là tu as perdu des secondes. Une fois que tu as été confronté au problème, après ça va mieux. Mais tu as quand même des réflexes. » (Sujet 3, étape 2)

Pour terminer, les processus d'instrumentalisation sont encore les mêmes que pour la Catégorie 4 puisqu'il s'agit des artefacts « volant » et « pédales » pour désactiver la conduite automatisée, et du tableau de bord via l'interface du tableau de bord (SA View) pour surveiller la conduite automatisée.

9.1.3. Une série de conseils et recommandations proposés par les pilotes experts destinés aux futurs conducteurs de véhicules automatisés

En plus des situations sensibles mentionnées ci-dessus, les données recueillies nous ont permis de dresser une liste de recommandations d'experts pour un bon usage du véhicule automatisé. Certains de ces conseils sont étroitement liés à des situations identifiées

précédemment, et d'autres sont d'ordre plus général. Une analyse thématique (voir section 6.1.2.2. Traitement des données) nous a permis de catégoriser l'ensemble des recommandations au sein de quatre catégories reflétant la chronologie du parcours d'usage de la conduite automatisée au travers de moments clés ou classes de situations. La colonne « Nombre de participants » dans les tableaux qui suivent, désigne les participants ayant mentionné le conseil au moins une fois lors des trois premières étapes de la démarche. En revanche, tous les conseils et recommandations présentés dans cette section ont été validés conjointement par les six pilotes experts présents lors de l'entretien d'allo-confrontation collectif de l'étape 4.

9.1.3.1. Catégorie A : Avant d'utiliser le mode automatisé

Cette première catégorie concerne trois conseils et recommandations émis au sujet de la préparation du conducteur avant d'utiliser le mode automatisé (Tableau 15).

Conseils	Nombre de participants	Exemple de verbatims
Apprendre à connaître son véhicule en mode manuel avant d'essayer le mode automatisé.	2/9	« Déjà pour moi, la première étape, c'est de rouler avec la voiture, de connaître la voiture en mode manuel, faire un petit parcours, essayer le frein, l'accélérateur pour voir je freine à tel pourcentage, je peux arrêter la voiture et j'accélère un peu, voilà. [...]. S'il y a une boîte de vitesse, comprendre comment elle fonctionne » (Sujet 8, étape 1)
Apprendre les capacités et les limites du système automatisé.	5/9	« Bien connaître les limites de fonctionnement du système. » (Sujet 6, étape 1)
Connaître les situations dans lesquelles le comportement du véhicule automatisé peut surprendre le conducteur.	4/9	« Mais typiquement, un client qui sait pas trop comment ça marche le système, il va se dire que le volant il gigote parfois, mais il va pas forcément faire le rapprochement entre le fait que le volant gigote et le fait qu'on passe à côté d'une entrée ou d'une sortie. Je pense qu'au bout de quelques semaines, ils vont faire le rapprochement, mais au début, ils vont se poser des questions » (Sujet 2, étape 2)

Tableau 15 : Conseils et recommandations des pilotes experts pour se préparer à la conduite automatisée (Catégorie A).

9.1.3.2. Catégorie B : Bien activer la conduite automatisée

Dans cette catégorie sont répertoriés huit conseils et recommandations pour apprendre la procédure et les conditions les plus sécurisées pour activer la conduite automatisée selon les pilotes experts (Tableau 16).

Conseils	Nombre de participants	Exemples de verbatims
Connaître les conditions de disponibilité et d'indisponibilité de la conduite automatisée.	2/9	« Savoir si on ne peut pas activer à partir de telles vitesses ou quelles sont les conditions d'activation je dirais même. Quelles sont les conditions de non-activation, pour quelles raisons, déjà qu'ils les comprennent bien » (Sujet 6, étape 1)
Tester la procédure d'activation plusieurs fois dans un environnement sécurisé.	3/9	« Déjà, première chose, c'est d'activer le mode autonome dans une situation qui finalement, pour les premières fois, il n'y a personne, pour ne pas d'une part perturber les autres, et puis avoir un peu l'esprit tranquille sur le mode opératoire, pour appréhender ce mode opératoire. Vraiment le faire dans une zone ou un environnement dégagé » (Sujet 4, étape 1)
Se ranger dans une voie correspondant à sa destination.	2/9	« Je vais me mettre directement dans la voie qui va à Porte de Saint-Cloud. Ça évitera d'avoir à gérer un changement de file après avoir activé. Ça, c'est intéressant à leur dire » (Sujet 2, étape 2)
Se centrer dans sa voie.	5/9	« Je suis en centre de ma voie. Je vois que derrière moi il y a une voiture, et il y a un camion qui est trop loin, qui est un peu loin qui ne me gêne pas et je peux activer le mode AD. Et je vois que devant moi, il n'y a pas une voiture qui va freiner pour garder la distance de sécurité. » (Sujet 8, étape 2)
Respecter les distances de sécurité avant et arrière.	6/9	« J'ai regardé ma timeline, et ensuite mon rétroviseur, parce que je sais qu'en fonction de la distance que j'ai de sécurité de devant, la voiture refait tout de suite sa distance sécurité, elle a tendance à freiner et à gêner l'usager de derrière » (Sujet 3, étape 2)
Activer et relâcher les commandes.	3/9	« Il y a un autre truc aussi, c'est qu'au moment où tu actives, là, c'était pas le cas, mais il y a pas mal de gens qui font ça. Ils activent, sauf que comme ils ont pas confiance dans le système, ils gardent le volant dans les mains. Du coup, ils appliquent un couple supérieur au couple d'oversteer. Donc ils activent et ils désactivent dans la demi-seconde qui suit. » (Sujet 2, étape 2)
Vérifier les interfaces de la conduite automatisée.	5/9	« Au moment où il a appuyé sur le bouton, ça fonctionne : « Vas-y, moi je fais autre chose ». Oui, mais vérifie quand même que tu as un retour, que la voiture te dise : « Oui, j'ai bien pris en compte » (Sujet 3, étape 2)
Se désengager progressivement de la conduite.	3/9	« Lâcher prise très progressivement dans le temps, en fonction des situations. Il faut vraiment pour moi, cette situation-là, une condition de roulage un peu confiante entre guillemets, oui, assez confiant, la manière dont le véhicule réagit, puis lâcher prise vraiment doucement » (Sujet 4, étape 1)

Tableau 16 : Conseils et recommandations des pilotes experts pour bien activer la conduite automatisée (Catégorie B).

9.1.3.3. Catégorie C : Comportement à adopter en conduite automatisée

Dans cette section nous présentons trois conseils et recommandations orientés sur le comportement que le conducteur doit adopter lorsque son véhicule est en mode automatisé (Tableau 17).

Conseils	Nombre de participants	Exemple de verbatims
Éviter d'être en sur-confiance vis-à-vis du véhicule automatisé.	3/9	« C'est qu'au bout d'un moment, finalement, il commence à y avoir une confiance et du coup tu peux aussi rentrer dans la sur-confiance. Dire : je commence à connaître, ça peut aller très vite aussi. C'est de te dire : je commence à connaître, et tu rentres un peu dans la sur-confiance dans le système » (Sujet 3, étape 2)
Porter son attention devant à basse vitesse et derrière à plus grande vitesse.	2/9	« Là on est dans une circulation mixte, on était à 80, 90 avec une bonne distance de sécurité, je faisais plus attention à l'arrière. Dans une situation d'embouteillage, je vais faire plus attention à l'avant parce qu'il peut y avoir un coup de frein un peu plus intempestif » (Sujet 9, étape 2)
Être réceptif au comportement du véhicule automatisé.	3/9	« Après, c'est le ressenti des mouvements de caisse qui permettent d'alerter, un petit peu l'ouïe aussi avec les clignotants. Il y a aussi des signaux auxquels on était assez réceptif » (Sujet 7, étape 1)

Tableau 17 : Conseils et recommandations des pilotes experts pour adopter la bonne attitude en conduite automatisée (Catégorie C).

9.1.3.4. Catégorie D : Bien désactiver la conduite automatisée

Enfin, la Catégorie D fait référence aux cinq conseils et recommandations des pilotes experts pour favoriser une désactivation de la conduite automatisée et une reprise en main dans les meilleures conditions de sécurité et de confort (Tableau 18).

Conseils	Nombre de participants	Exemple de verbatims
Connaître les situations de conduite provoquant des demandes de reprise en main rapide (en 10 sec).	2/9	« Alors, quand y a des travaux elle fait une demande de reprise en main. Et si elle savait pas qu'il y avait des travaux à l'avance, elle va le faire en 10 secondes » (Sujet 2, étape 2)
Tester les procédures de désactivation dans un environnement sécurisé.	3/9	Cf. Conseil « Tester la procédure d'activation plusieurs fois dans un environnement sécurisé. »
Ne pas se précipiter et se remettre dans la boucle de conduite en contrôlant l'environnement.	5/9	« T'as la voiture qui te demande une reprise en main impérative, t'as le temps de sauvegarder ce que t'es en train de faire, poser ton PC, te remettre dans la boucle de conduite, c'est-à-dire regarder dans les rétros, savoir qui il y a autour de toi et devant toi. » (Sujet 2, étape 2)
Choisir la modalité de reprise en main la plus adaptée à la situation.	2/9	« Le camion, il était trop proche de moi, et vu qu'on a baissé la vitesse de 70 à 50, il faut reprendre tout de suite. Et pour reprendre la main, dans ce cas-là, il faut accélérer » (Sujet 8, étape 2)
Reprendre la conduite en douceur.	2/9	« Tu sors du mode AD et tu contrôles la voiture. Mais vu que tes pieds ne sont ni sur l'accélérateur ni sur le frein, tu ramènes ton pied sur le frein. Tu le ramènes d'une manière forte et brusque. Et là, le freinage n'est pas confortable. [...] les mains ne sont pas sur le volant. Tu remets tes mains et tu vas braquer. Là, le braquage est violent. Il part rapidement » (Sujet 8, étape 1)

Tableau 18 : Conseils et recommandations des pilotes experts pour bien désactiver la conduite automatisée (Catégorie D).

9.1.4. Conclusion de l'étude auprès des pilotes experts en conduite automatisée

L'approche situationnelle que nous avons adoptée pour analyser les résultats de cette étude nous a permis d'identifier les tâches requises, ainsi que les transformations et élaborations de schèmes à guider pour les futurs conducteurs de véhicules automatisés. Cela a été rendu possible grâce à l'identification de traces des processus d'instrumentation des sujets et d'instrumentalisation des artefacts du véhicule automatisé. En effet, l'utilisation du mode automatisé modifie certaines situations de conduite traditionnelle ou crée de nouvelles situations de conduite spécifiques au véhicule automatisé. Ces modifications s'opèrent au travers de changements dans les relations et médiations en jeu entre le conducteur et les autres éléments présents dans les situations (le véhicule automatisé, l'activité de conduite, et les autres usagers de la route). Par conséquent, les pilotes experts ont appris, avec plus ou moins de difficultés, à gérer ces nouvelles situations et le nouvel artefact pour faire face à ces changements et utiliser le véhicule automatisé de manière efficace et sécurisée. Ils ont été amenés à assimiler, accommoder ou inhiber certains schèmes de la conduite traditionnelle et d'utilisation d'ADAS comme le régulateur de vitesse, pour pouvoir développer de nouveaux schèmes d'utilisation du véhicule automatisé. L'instrumentation du sujet semble dominante dans ce processus de genèse instrumentale, mais l'instrumentalisation des artefacts du véhicule automatisé est bien présente. Ce processus, dirigé vers les artefacts, correspond à l'attribution de fonctions à ces derniers par le sujet, à leur transformation, ou encore à leur détournement par le sujet (on parlera alors de catachrèse). Dans l'activité de conduite automatisée, il s'agit uniquement de l'attribution de fonction à certains artefacts du véhicule. Ainsi, nous l'observons à travers l'usage du volant ou des pédales dans le but de désactiver la conduite automatisée, et du tableau de bord (plus précisément de la SA View) pour surveiller ce que « perçoit » le véhicule en temps réel (surveiller à la fois le bon fonctionnement du système et le trafic environnant). Les deux processus d'instrumentation du sujet et d'instrumentalisation des artefacts sont combinés pour constituer le processus de genèse instrumentale (selon Rabardel, 1995). Cela nous a permis de reconstruire, au moins en partie, ce qu'elle a pu être pour les pilotes experts lors des premiers usages des prototypes de véhicules automatisés.

Dans un second temps, nous avons relevé des conseils et recommandations d'experts partagés sous la forme de connaissances explicites. Ces dernières, combinées aux connaissances tacites identifiées via les façons de faire dans les situations sensibles, peuvent

être considérées comme des savoirs de références (Rogalski, 2004) dans le domaine de la conduite automatisée. En effet, lors de l'étape 4 de notre démarche de recherche (entretien d'allo-confrontation collectif) nous avons constaté que ces connaissances tacites et explicites font consensus parmi notre panel de pilotes experts. Certaines de ces connaissances sont d'ordre général : connaissance du fonctionnement du système (technologies, capacités et limites), attitude à adopter avant l'usage et pendant l'usage de la conduite automatisée, et procédures d'activation et de désactivation ; alors que d'autres sont situationnelles : connaître les situations sensibles liées à l'activation, les situations dans lesquelles le véhicule se comporte différemment d'un conducteur humain, et les situations liées aux reprises en main et au choix de la modalité la plus adaptée en fonction des contextes de reprise en main. Outre le fait de connaître ces situations, les connaissances situationnelles font aussi référence au fait de connaître les meilleures façons de les gérer.

9.2. Identification d'amorces de genèses instrumentales chez les conducteurs « tout venant » novices en conduite automatisée

9.2.1. Confirmation et complétion de la liste des situations sensibles spécifiques à la conduite automatisée

La seconde étude que nous avons réalisée a été menée auprès de conducteurs tout venant novices en conduite automatisée. Nous les appelons « novices » car ils n'avaient aucune expérience en conduite automatisée avant cette expérimentation. L'analyse que nous avons menée avait pour objectif de valider et de compléter notre première liste de situation sensibles, et de renforcer la validité écologique de nos résultats. Nous avons identifié un total de 27 situations sensibles.

De façon plus détaillée : ces 27 situations sensibles viennent à la fois confirmer une partie de notre première liste de 28 situations sensibles recueillies auprès des pilotes experts en conduite automatisée (section 9.1.1. Une liste de situations « sensibles » spécifiques à l'activité de conduite automatisée), et d'autre part la compléter avec de nouvelles situations non répertoriées jusqu'ici. Les deux sections suivantes présentent : (1) la liste des situations redondantes avec la première étude, que nous avons analysées cliniquement à l'aide du modèle SACI de Rabardel (1995) afin d'identifier d'éventuelles différences avec les pilotes experts ; et (2) la liste des nouvelles situations sensibles identifiées accompagnées des résumés de leur analyse clinique.

Le Tableau 19 présente la liste des situations sensibles en fonction de leur présence ou non dans les résultats de chaque étude. Ainsi, nous avons constaté 21 situations communes à nos deux recueils de données : quatre en Catégorie 1, sept en Catégorie 2, trois en Catégorie 3, trois en Catégorie 4, deux en Catégorie 5, et deux en Catégorie 6. En revanche, six des 27 situations étaient nouvelles par rapport à la première étude : deux en Catégorie 1, une en Catégorie 2, une en Catégorie 3, et deux en Catégorie 6.

	Situations communes aux deux études	Situations rencontrées ou mentionnées par les pilotes experts	Situations rencontrées ou mentionnées par les conducteurs novices
Catégorie 1	<ul style="list-style-type: none"> - Tentative d'activation décentrée - Tentative d'activation hors zone de disponibilité - Activation proche du véhicule précédent / suivant - Activation à hauteur d'une entrée / sortie d'autoroute 	<ul style="list-style-type: none"> - Tentative d'activation dans un <i>lane-split</i> (division de voie) ou <i>lane-merge</i> (fusion de voies) 	<ul style="list-style-type: none"> - Activation dans un virage - Activation à côté d'un poids-lourd
Catégorie 2	<ul style="list-style-type: none"> - « Ping-pong » à l'activation - Circulation dense et embouteillage - Changement de voie automatisé - Décentrage / recentrage dans la voie - Remontée de file de motard - Ralentissement fort et soudain - Brouillard léger et pluie légère 	<ul style="list-style-type: none"> - Véhicule précédent qui hésite à changer de voie ou « shy » 	<ul style="list-style-type: none"> - Suivie d'un poids-lourd à basse vitesse sur la voie de droite
Catégorie 3	<ul style="list-style-type: none"> - Passage à hauteur d'une entrée / sortie d'autoroute - Dépassement automatisé d'un poids-lourd - Cut-in (queue de poisson) et short cut-in (queue de poisson serrée) 	<ul style="list-style-type: none"> - Passer un <i>lane-split</i> (division de voie) ou <i>lane-split</i> (fusion de voies) - Passage à côté d'un véhicule arrêté sur la bande d'arrêt d'urgence 	<ul style="list-style-type: none"> - Dépassement du véhicule automatisé par un poids-lourd
Catégorie 4	<ul style="list-style-type: none"> - Météo défavorable (brouillard dense, forte pluie, neige, etc.) - Zone de travaux - Éblouissement / défaillance d'un capteur ou caméra 	<ul style="list-style-type: none"> - Lignes blanches effacées 	<ul style="list-style-type: none"> - Aucune
Catégorie 5	<ul style="list-style-type: none"> - Circulation dense et chaotique avec insertions intempestives - Véhicule d'intervention 	<ul style="list-style-type: none"> - Véhicule arrêté sur la bande d'arrêt d'urgence dépassant sur la voie 	<ul style="list-style-type: none"> - Aucune

Catégorie 6	- Désactivation proche du véhicule précédent / suivant - Désactivation à hauteur d'une entrée / sortie d'autoroute	- Désactivation involontaire du conducteur	- Désactivation dans un virage - Désactivation à côté d'un poids-lourd
--------------------	---	--	---

Tableau 19 : Liste des situations sensibles répertoriées en fonction de leur présence ou non dans nos deux études (pilotes experts et conducteurs novices).

9.2.1.1. Les situations sensibles redondantes avec les résultats de l'étude auprès des pilotes experts en conduite automatisée

Sur les 27 situations identifiées, 21 sont redondantes avec la première étude.

Pour la Catégorie 1 (situations pouvant gêner ou surprendre le conducteur lors de l'activation de la conduite automatisée), quatre situations sur six sont redondantes avec l'étude réalisée auprès des pilotes experts :

- Tentative d'activation en étant décentré ou en chevauchant une ligne blanche pleine ou une ligne en pointillés.
- Tentative d'activation hors zone de disponibilité de la conduite automatisée.
- Activation trop proche du véhicule précédent ou du véhicule suivant.
- Activation à hauteur d'une entrée ou d'une sortie d'autoroute.

Pour cette catégorie, nous avons choisi de présenter l'analyser clinique d'une situation d'activation à hauteur d'une entrée d'autoroute. La Figure 49 illustre les relations et médiations en jeu pour le conducteur dans cette situation.

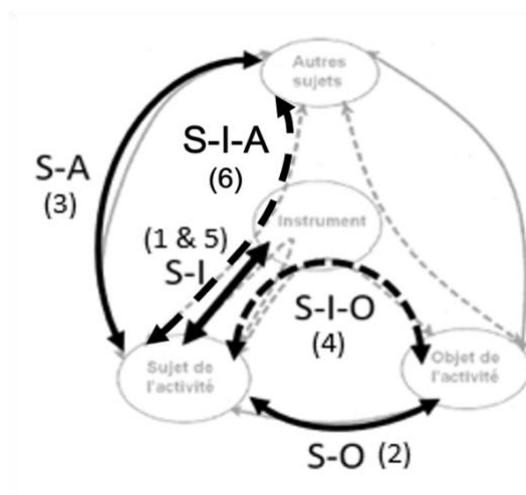


Figure 49 : Modèle SACI de la situation d'activation à côté d'une entrée d'autoroute pour les conducteurs lambda novices (Catégorie 1).

Légende : les flèches noires représentent les relations qui concernent directement le sujet, les flèches pointillées sont les médiations du sujet via l'instrument, et les flèches grises sont les relations qui ne concernent pas directement le sujet.

PARTIE 4 : Résultats de la Thèse

- (1) Relation Instrument – Sujet : Les interfaces indiquent que le mode automatisé est disponible.
- (2) Relation Sujet – Objet de l'activité : Le conducteur voit qu'il arrive à hauteur d'une entrée d'autoroute (voie d'insertion).
- (3) Relation Sujet – Autres sujets : Le conducteur voit que des véhicules arrivant de droite vont s'insérer sur sa voie.
- (4) Médiation pragmatique Sujet – Instrument – Objet de l'activité : Le conducteur relâche partiellement les commandes et active la conduite automatisée.
- (5) Relation Sujet – Instrument : Le conducteur vérifie sur les interfaces que l'activation a été prise en compte.
- (6) Médiation épistémique Sujet – Instrument – Autres sujets : le conducteur surveille l'état du trafic environnant via la SA View.

Les conducteurs novices ont fait face à plusieurs difficultés lors des phases d'activation. En effet, 8 des 20 participants rapportent des incompréhensions liées aux messages de proposition d'activation du mode automatisé (I-S et S-I) :

« Juste avant à cet endroit-là on a le signal sonore qui retenti, il retenti plusieurs fois et sur le tableau ça s'allume ça s'éteint ça s'allume ça s'éteint et du coup je ne sais plus du tout où j'en suis, que j'appuie que je n'appuie pas, je ne sais plus. Là c'était un moment de cafouillage donc je me suis dit je vais essayer et je verrai bien. Ça a été ça ma réaction, de me dire j'essaye. » (Participant 10, session 1)

Aussi, plus de la moitié du panel (N = 12) fait part de difficultés avec la procédure d'activation de la conduite automatisée, et un quart du panel (N = 5) considèrent que cette procédure est plus compliquée qu'avec un régulateur de vitesse (S-I-O) :

« Ça me paraît compliqué dans le sens où comme je le disais faut penser à ne plus accélérer, faut bien centrer sur la voie, et pratiquement plus toucher le volant et cætera. Donc ça fait beaucoup de choses à penser pour pouvoir provoquer l'activation. » (Participant 4, session 1)

« En fait par rapport à un régulateur de vitesse, vous avez encore le pied sur l'accélérateur, vous mettez le bouton régulation de vitesse et aussitôt vous avez la voiture qui se régule automatiquement même si vous avez encore le pied légèrement sur l'accélérateur, vous n'êtes pas obligé d'enlever le pied de l'accélérateur donc j'ai tellement l'habitude du régulateur que là je devais encore avoir le pied sans doute par mégarde sur l'accélérateur et donc ça n'enclenchait pas le mode autonome » (Participant 3, session 1)

Pour 16 des 20 participants, nous observons de multiples tentatives d'activation infructueuses. On compte notamment des tentatives d'activation en dehors des zones de disponibilité (« macro » conditions) ou des ratés dans la procédure d'activation (« micro » conditions). Par exemple, certains participants oublient de relâcher les commandes ou de se centrer dans la

voie. Ces échecs détournent leur attention de la route (S-O et S-A) car ils se concentrent sur la procédure d'activation (S-I-O) et sur les interfaces de la conduite automatisée (I-S et S-I) :

« Cela demandait beaucoup d'attention, j'enclenche, je regarde, j'enclenche. Je ne comprenais pas ce que me racontait le tableau de bord, pourquoi je n'y arrivais pas, alors que j'avais la possibilité de le faire. » (Participant 2, session 1)

En revanche, 13 participants ont très bien compris dans quelles situations ils pouvaient activer la conduite automatisée en étant dans les bonnes conditions. D'ailleurs, la grande majorité des conducteurs novices ayant vécu la situation en exemple ont préféré attendre ou s'assurer que très peu de véhicules s'inséraient sur leur voie :

« Elle est là dans un contexte où j'avais pressenti qu'elle est parfaitement à l'aise la voiture c'est-à-dire que la circulation n'était pas trop dense, c'est fluide, les vitesses sont régulières. J'avais déjà remarqué qu'il n'y avait pas de voie d'accélération sur sa droite et ça elle n'aime pas et donc là c'était des conditions optimales, on sent que là elle est à l'aise » (Participant 3, session 1)

La majorité des conducteurs novices (N = 16) montrent des signes d'une potentielle adaptation face à ces difficultés, notamment vis-à-vis de la compréhension des interfaces et des conditions, mais surtout de la procédure d'activation :

« Ça a semblé aisé. Alors sur circuit, c'est un petit peu... j'ai eu du mal au premier tour à lâcher l'accélérateur. Mais une fois qu'on a, qu'on sait qu'il faut lâcher l'accélérateur ensuite appuyer ça se passe très bien. » (Participant 13, session 1)

Ces adaptations traduisent des transformations de schèmes en cours. En plus de cela, on constate également la généralisation de connaissances opérationnelles chez 65% des participants (N = 13), qui concernent principalement les conditions d'activation :

« Non ça s'est fait naturellement. Au bout d'un moment je regardais même plus l'écran au moment de l'activer. Je m'attendais à ce qu'il soit activable. Je me suis dit c'est bon on est en autoroute, le marquage au sol est bon, voilà je l'active. J'ai même pas réfléchi, j'ai pas regardé ce qu'il y avait sur l'écran j'ai vraiment appuyé direct en me disant ça doit marcher. [...] dans ma tête si c'est possible sur autoroute c'est possible tout le temps. Une fois sorti de jonction ou de croisement, de bretelles d'accélération ou quelque chose comme ça, on appuie et ça marche. » (Participant 13, session 1)

Dans la Catégorie 2 (situations liées au fonctionnement nominal du système mais pouvant surprendre ou gêner le conducteur), sept situations sur huit sont redondantes avec notre première liste :

- « Ping-pong » à l'activation (véhicule qui rebondit entre les lignes).

- Circulation dense et embouteillage.
- Changement de voie automatisé.
- Véhicule automatisé qui se décentre dans sa voie ou qui cherche à se centrer.
- Motards qui remontent l'inter-file.
- Ralentissement automatisé fort et soudain.
- Brouillard léger ou pluie légère.

Nous avons choisi d'illustrer cette catégorie par l'analyse clinique d'une situation de ralentissement fort et soudain. La Figure 50 présente les relations et médiations en jeu dans l'activité du sujet pour cette situation sensible.

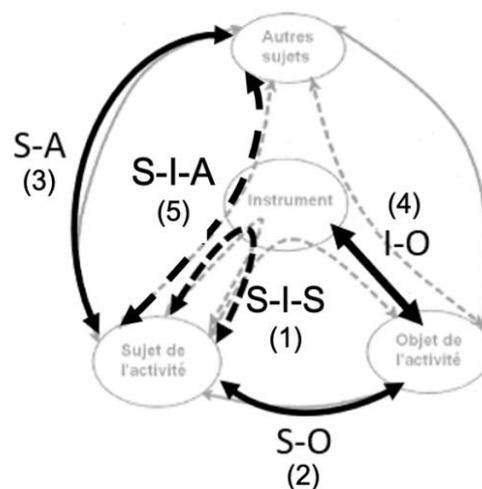


Figure 50 : Modèle SACI de la situation de freinage automatisé fort et soudain pour les conducteurs « lambda » novices (Catégorie 2).

Légende : les flèches noires représentent les relations qui concernent directement le sujet, les flèches pointillées sont les médiations du sujet via l'instrument, et les flèches grises sont les relations qui ne concernent pas directement le sujet.

- (1) Médiation réflexive Sujet – Instrument – Sujet : Le conducteur rapproche son pied du frein mais arrête son action et laisse faire le véhicule automatisé.
- (2) Relation Sujet – Objet de l'activité : Le conducteur constate que le véhicule ne ralentit pas tout de suite.
- (3) Relation Sujet – Autres sujets : Le conducteur voit que le trafic ralentit fortement plusieurs véhicules devant.
- (4) Relation Instrument – Objet de l'activité : Le véhicule automatisé détecte tardivement le fort ralentissement du véhicule précédent et entame un freinage important.
- (5) Médiation épistémique Sujet – Instrument – Autres sujets : Le conducteur vérifie sur la SA View que le système a bien vu le véhicule précédent.

Trois quarts des participants (N = 15) ont réagi aux freinages lors d'un fort ralentissement de la circulation. Parmi eux, cinq expliquent que le comportement du véhicule automatisé diffère

de ce qu'ils auraient fait en tant que conducteurs humains (I-O). Cela rend la situation difficile à gérer : cela semble diminuer leur confiance envers le système qui est essentielle quand il s'agit d'inhiber la tentation d'agir sur les commandes du véhicule (S-I-S) :

« Je voyais toutes les autres voitures devant qui freinaient et nous on ne freinait pas, elle continuait dans sa lancée en fait. On avait l'impression qu'elle était encore en accélération alors je ne sais plus si elle l'était ou pas mais on avait l'impression qu'elle était en accélération alors que devant ça freinait alors moi quand je conduis et que je vois que ça freine devant je ralentie, je ne continue pas dans l'accélération. [...] sur le coup je me suis dit, pourquoi elle ne veut pas ralentir, la sécurité fait que normalement on ralentie dans une situation comme celle-là alors on fait confiance mais c'est quand même pas facile parce que ce n'est pas quelque chose de courant. » (Participant 10, session 1)

Certains nous font part de leur surprise face à la gestion de la situation par le véhicule automatisé (I-O), et précisent que cela peut également surprendre le véhicule suivant, et créer ainsi une situation à risque :

« Ça peut être un peu surprenant quoi parce qu'elle ralenti fortement c'est beaucoup quand vous êtes à 100km/h et que brutalement vous passez à 85 km/h ça surprend quand même les gens derrière quoi d'autant plus qu'il y a quand même on le sait tous beaucoup de gens qui nous collent. » (Participant 3, session 1)

D'autres cherchent à comprendre la situation du point de vue du fonctionnement du système (I-O) et de leur ressenti (S-I-S), en comparant avec ce qu'ils connaissent et avec leurs expériences passées :

« Il freine un peu tardivement. Il est assez fort mais c'est un défaut général souvent constaté sur du système de contrôle longiligne. Comme la perception met du temps, il retarde un peu le freinage, du coup il freine fort. Il faudrait être plus rapide dans la détection. Cela viendra au cours du temps je pense, le système est trop jeune. » (Participant 8, session 1)

« Je pense que c'est ce qu'on ressent en tant que passager. Par exemple sûrement comme moi je le faisais moi-même c'était sûrement à peu près le même type de sensation que vous ressentez en tant que passager. C'est juste que aussi quand on est conducteur on le ressent moins parce qu'on le maîtrise et on sait à quel moment on peut anticiper. Et du coup, voilà c'est juste de le ressentir comme un passager aussi à 100 %. » (Participant 19, session 1)

Dans ce cas, on constate que les participants ont préféré laisser faire le véhicule en inhibant leur automatisme d'appui sur le frein, bien qu'ils ne soient pas à l'aise avec sa manière de faire (S-I-S). Cela peut potentiellement s'expliquer par la présence du co-pilote et du superviseur présents dans la voiture lors des roulages. En effet, 11 participants disent qu'ils

n'auraient pas réagi de la même façon s'ils avaient été seuls dans les situations des catégories 2 et 3 :

« On est sécurisé, on est accompagné, on est coucouné et donc quelque part vous mettez le conducteur testeur dans la meilleure configuration possible, je trouvais que ça mettait les gens en confiance, peut-être trop d'ailleurs. Je pense que je n'aurais pas eu exactement la même attitude si j'avais été tout seul » (Participant 6, session 1)

Ce point souligne une des limites de la validité écologique des données de cette étude.

Pour la Catégorie 3 (situations liées au fonctionnement nominal du système mais critiques pour le conducteur car perçues comme potentiellement dangereuses), trois situations sur quatre sont similaires à la première étude :

- Passer à hauteur d'une entrée ou sortie d'autoroute.
- Dépassement automatisé d'un poids-lourd.
- *Cut-in* (queue de poisson) et *short cut-in* (queue de poisson très serrée).

Nous présentons, pour cette catégorie, l'analyse clinique d'une situation de dépassement automatisé d'un poids-lourd, en commençant par l'analyse des relations et médiations en jeu dans cette situation pour le conducteur (Figure 51).

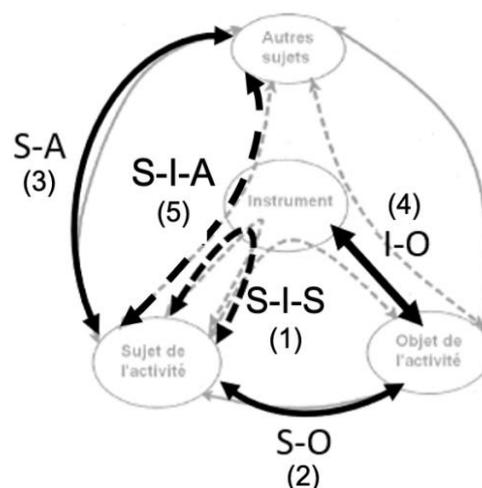


Figure 51 : Modèle SACI de la situation de dépassement automatisé d'un poids lourd pour les conducteurs lambda novices (Catégorie 3).

Légende : les flèches noires représentent les relations qui concernent directement le sujet, les flèches pointillées sont les médiations du sujet via l'instrument, et les flèches grises sont les relations qui ne concernent pas directement le sujet.

- (1) Médiation réflexive Sujet – Instrument – Sujet : Le conducteur rapproche ses mains du volant mais inhibe son action et laisse faire le véhicule automatisé.

PARTIE 4 : Résultats de la Thèse

- (2) Relation Sujet – Objet de l'activité : Le conducteur constate que le véhicule reste centré dans sa voie à vitesse constante.
- (3) Relation Sujet – Autres sujets : Le conducteur voit que le poids-lourd est très proche latéralement et qu'il roule quasiment à la même vitesse que son véhicule.
- (4) Relation Instrument – Objet de l'activité : Le véhicule automatisé ne détecte pas d'obstacle et roule parfaitement centré dans sa voie comme si de rien n'était.
- (5) Médiation épistémique Sujet – Instrument – Autres sujets : Le conducteur peut surveiller le bon déroulement de la situation via la SA View.

Près de la moitié des participants (N = 9) nous a rapporté avoir vécu la situation de dépassement automatisé d'un poids-lourd. La majorité d'entre eux perçoivent cette situation comme gênante, voire risquée. Ils l'expliquent par la différence de comportement de conduite entre la machine et l'humain (I-O), qui provoque un sentiment de « stress », « perturbant » et pas très rassurant :

« C'est perturbant. C'est assez stressant de rester au ras du poids lourd. En conduite manuelle, on se décale un peu, on ne reste pas au centre de la voie au moment du dépassement. » (Participant 8, session 1)

Dans ce type de situation, les conducteurs novices ont tendance à surveiller la conduite pour s'assurer du bon déroulement de la situation (S-O et S-A) :

*« Je regarde si elle ne fait pas d'erreur, pas de fautes, là par exemple en dépassant le camion je trouvais qu'elle était un peu proche du camion. [...] Pour le coup je n'étais pas tellement rassurée parce que tout le monde le sait qu'il y a une prise de vent avec les camions et là je trouvais qu'elle passait vraiment proche. »
(Participant 10, session 1)*

Un des participants explique qu'il a eu le « réflexe » d'attraper le volant pour agir, mais qu'il a rapidement inhibé son action (S-I-S). La plupart des participants ont aussi inhibé cet automatisme, mais avant d'amorcer le geste, et l'expliquent par la présence du co-pilote et du superviseur comme évoqué plus haut dans l'exemple de la Catégorie 2 :

« J'ai eu le réflexe de toucher le volant, de contrebraquer, et après je me suis souvenu qu'il ne fallait pas, donc j'ai relâché tout de suite. » (Participant 2, session 1)

Contrairement à d'autres situations de changement de voie automatisé qui déstabilise environ 55% des conducteurs novices, ici la prise de décision de changer de voie et de dépasser le poids-lourd leur semble plutôt logique (I-O) :

« Là c'était très compréhensible dans cette situation-là la logique. C'est que on allait à la vitesse maximale on était lancé le camion roulait plus doucement on l'a doublé tranquillement comme on aurait fait nous. » (Participant 19, session 1)

Comme pour les situations de la Catégorie 2, ces conducteurs ont laissé faire le véhicule dans les situations de la Catégorie 3. Cependant, l'inhibition de certains schèmes automatisés n'a pas été aussi facile car ils perçoivent ces situations comme plus risquées et plus perturbantes que celles de la Catégorie 2. En effet, nous constatons qu'ils emploient des mots bien plus forts pour exprimer leur ressenti. Enfin, comme vu précédemment, la majorité des participants nous disent qu'ils n'auraient pas réagi de la même façon s'il n'y avait pas eu le co-pilote et le superviseur avec eux.

Pour la Catégorie 4 (situations liées aux limites de la conduite automatisée connues par le système, pouvant surprendre ou gêner le conducteur car entraînant une demande de reprise en main rapide), les trois situations identifiées sont redondantes avec celles répertoriées dans la première liste.

Nous rappelons que ces situations ne concernent que le niveau 3 SAE mais ont fait l'objet de commentaires des participants.

- Météo défavorable (fort brouillard, forte pluie, neige, etc.).
- Zone de travaux.
- Éblouissement ou défaillance d'un capteur ou d'une caméra.

« Quand la grêle est tombée on sentait qu'il avait du mal mais c'était vous derrière, l'équipe qui disait qu'on ne voyait plus les bandes. Le conducteur lui-même il devrait avoir cette information-là » (Participant 6, session 1)

« Je crois qu'il y avait des travaux ou que la route n'était pas conforme. Quand on a fait le briefing, il y avait des endroits où ce n'était pas conforme, au niveau des travaux ou des traçages. » (Participant 5, session 1)

Ces résultats montrent que les participants ont acquis des connaissances leur permettant de mieux comprendre les limites du système, et éventuellement d'être capable d'anticiper ces situations par des processus de diagnostic et de pronostic.

Pour la Catégorie 5 (situations liées aux limites de la conduite automatisée non reconnues par le système et critiques pour le conducteur car perçues comme potentiellement dangereuses), les deux situations répertoriées sont similaires avec celles identifiées auprès des pilotes experts.

- Circulation dense et chaotique entraînant des insertions intempestives de véhicules profitant de la distance de sécurité devant le véhicule automatisé.
- Véhicule d'intervention (police, pompiers, ambulance, etc.) qui souhaite passer.

Pour cette catégorie, nous avons choisi de présenter l'analyse clinique d'une situation de circulation dense et chaotique avec des insertions intempestives empêchant le véhicule automatisé d'avancer. La Figure 52 illustre les relations et médiations en jeu pour le conducteur dans cette situation.

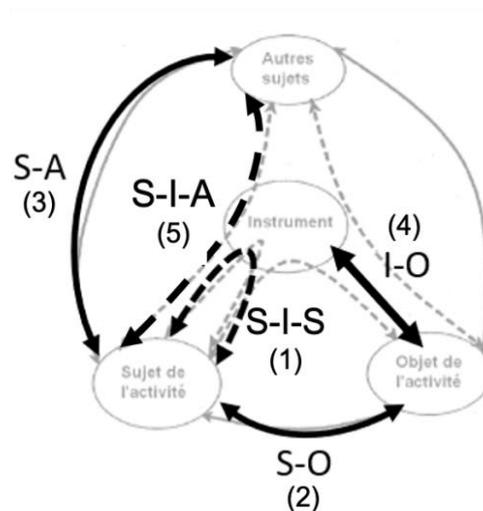


Figure 52 : Modèle SACI de la situation de circulation dense et chaotique avec insertions intempestives pour les conducteurs « lambda » novices (Catégorie 5).

Légende : les flèches noires représentent les relations qui concernent directement le sujet, les flèches pointillées sont les médiations du sujet via l'instrument, et les flèches grises sont les relations qui ne concernent pas directement le sujet.

- (1) Médiation réflexive Sujet – Instrument – Sujet : Le conducteur décide de laisser le véhicule automatisé gérer la situation.
- (2) Relation Sujet – Objet de l'activité : Le conducteur constate que son véhicule automatisé est très lent, presque à l'arrêt.
- (3) Relation Sujet – Autres sujets : Le conducteur voit une circulation dense avec beaucoup d'usagers s'insérant devant lui.
- (4) Relation Instrument – Objet de l'activité : Le véhicule automatisé ralentit à chaque insertion pour respecter la distance de sécurité avec le véhicule qui le précède.
- (5) Médiation épistémique Sujet – Instrument – Autres sujets : Le conducteur peut surveiller la circulation environnante via la SA View.

Seulement un quart des participants (N = 5) a expérimenté cette situation car elle est plutôt rare. Cependant, elle génère certaines émotions négatives chez ceux qui l'ont vécu, ce qui les pousse à adopter un comportement de surveillance accrue de la situation (S-A et S-O) pour tenter de comprendre le comportement du véhicule automatisé (I-O) :

« Donc c'est vrai qu'on a une sorte de stress qu'on regarde tout ce qui se passe. On essaie de comprendre ce système autonome. Dans ce trafic-là. C'est pour ça qu'on a plutôt tendance à scruter. » (Participant 4, session 1)

Ils disent que le véhicule automatisé gère bien les insertions grâce à son respect des distances de sécurité, ce qui est rassurant dans un sens, mais ils se demandent si un tel comportement est pertinent dans ce type de situation (I-O) :

« Et puis dans la circulation parisienne ça fait qu'on aura toujours des gens qui vont se réinsérer devant et puis... et donc on va freiner. C'est ce qui s'est passé d'ailleurs la voiture rouge elle allait s'insérer là. Et la voiture allait freiner. À chaque fois qu'il y a quelqu'un qui s'insère ben on va laisser 70 mètres et il y a un autre qui va s'insérer et ainsi de suite. » (Participant 13, sessions 1)

« La voiture elle a super bien géré l'insertion de la voiture. Mais elle a gardé vraiment cette distance de sécurité qui est quand même assez grande et plus que ce que parfois on a l'habitude de... de laisser. Alors c'est pas mauvais mais c'est vrai que du coup bah... » (Participant 19, session 1)

Comme pour les catégories 2 et 3, ils ont plutôt tendance à laisser le véhicule automatisé gérer la situation en raison de la présence du co-pilote et du superviseur (S-I-S). Un des participants a même utilisé son téléphone alors qu'il avait conscience du risque potentiel :

« Peut-être qu'on se dit qu'il y a quand même le copilote qui est là. Et qu'il récupèrera les choses quoi qu'il arrive et je sais que je me suis appuyé là-dessus pour le faire (ndla : prendre le téléphone). S'il n'était pas là et que je ne connaissais pas les risques potentiels de l'appareil, je ne sais pas si j'aurais fait dans un trafic aussi dense. » (Participant 4, session 1)

Contrairement à ce que nous avons observé chez les pilotes experts dans des situations similaires, ici les conducteurs novices ayant vécu cette situation n'ont pas décidé de reprendre la main. Néanmoins, ils sont conscients du risque potentiel car ils évoquent ressentir certaines émotions négatives et surveillent plus attentivement le déroulement de la situation. La situation est ambiguë pour eux car malgré ce sentiment, ils comprennent que le comportement du véhicule automatisé est lié au respect des règles de distance de sécurité. Du point de vue des conducteurs, ces situations sont donc similaires à celles de la Catégorie 3.

Enfin, pour la Catégorie 6 (situations pouvant gêner ou surprendre lors de la désactivation de la conduite automatisée, ou reprise en main du conducteur), deux situations sur quatre sont redondantes avec la première étude :

- Désactivation trop proche du véhicule précédent ou du véhicule suivant.
- Désactiver à hauteur d'une entrée ou d'une sortie d'autoroute.

Cette catégorie est illustrée par l'analyse clinique d'une situation de demande de reprise en main anticipée (60 secondes) avec un véhicule très proche derrière. Nous présentons d'abord les relations et médiations en jeu dans l'activité du sujet grâce à la Figure 53.

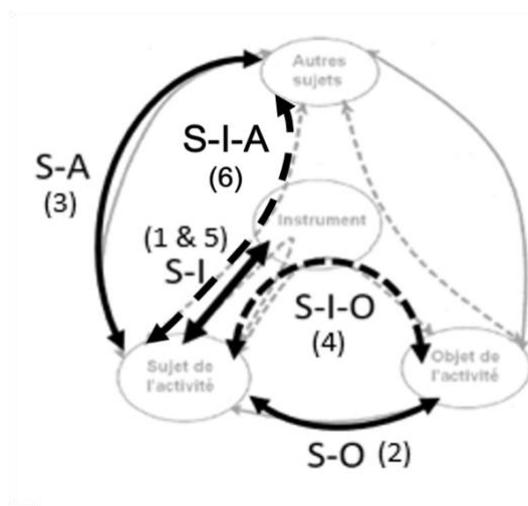


Figure 53 : Modèle SACI de la situation de reprise en main avec un véhicule proche derrière pour les conducteurs « lambda » novices (Catégorie 6).

Légende : les flèches noires représentent les relations qui concernent directement le sujet, les flèches pointillées sont les médiations du sujet via l'instrument, et les flèches grises sont les relations qui ne concernent pas directement le sujet.

- (1) Relation Instrument – Sujet : Les interfaces signalent au conducteur qu'il doit désactiver dans les 60 secondes.
- (2) Relation Sujet – Objet de l'activité : Le conducteur surveille l'état de la conduite pour se remettre dans la boucle.
- (3) Relation Sujet – Autres sujets : Le conducteur constate que le véhicule derrière lui est vraiment très proche.
- (4) Médiation pragmatique Sujet – Instrument – Objet de l'activité : Le conducteur désactive la conduite automatisée et reprend la main en accélérant.
- (5) Relation Sujet – Instrument : Le conducteur vérifie sur les interfaces que son action a bien été prise en compte et que la conduite automatisée est désactivée.
- (6) Médiation épistémique Sujet – Instrument – Autres sujets : Le conducteur peut surveiller l'état du trafic environnant via la SA View.

Trois quarts des participants (N = 15) disent avoir perçu les alertes de demande de reprise en main provenant des interfaces, mais seulement 11 d'entre eux rapportent les avoir bien comprises (I-S) :

« Il y a le signal sonore, ensuite il y a la voix qui nous dit à quel moment on est en fait et après vraiment si on n'est pas sur du délai on peut visuellement on a le compte à rebours sur l'écran et sur le coup c'est très très clair. » (Participant 10, session 1)

Plus d'un quart des participants (N = 6) indiquent avoir été plus attentif aux alertes sonores. Cependant, quatre conducteurs pensent que le volume de ces alertes n'est pas suffisant et aimeraient qu'il soit plus prégnant. Aussi, trois participants évoquent le compte à rebours et le qualifient de « stressant » ou perturbant (I-S) :

PARTIE 4 : Résultats de la Thèse

« Le bip ce n'est un peu pas stressant mais, je pense que volontairement ce décompte des 10 dernières secondes où vous avez quand même un bruit qui est un peu anxiogène quoi, ça réveille là, vous ressentez qu'il va se passer quelque chose si vous ne faites rien. » (Participant 3, session 1)

Concernant la vérification de la désactivation de la conduite automatisée (S-I), 60% des conducteurs novices se réfèrent au changement de couleur des interfaces du tableau de bord, et 30% d'entre eux indiquent un changement de sensation dans le volant :

« Les visuels, les changements de couleurs. C'est peut-être un peu plus inconscient parce qu'à ce moment-là je regarde la route, mais on a toujours une vision de changement de couleur. » (Participant 2, session 1)

« J'ai l'impression que le volant est plus ou moins, il y avait un retour de force [...] en tout cas c'est discret s'il y a un retour de force il est très discret et très agréable. » (Participant 6, session 1)

Près de la moitié des participants sont parvenus à conceptualiser le choix de la modalité de reprise en main en fonction du contexte, en élaborant des règles et en les généralisant à des classes de situations :

« Avant de reprendre en main, je me suis toujours posé la question : « Est-ce que je freine, j'accélère ou je mets la commande ? » Après, je ne sais pas comment cela peut se passer. Il y a trois options. Par exemple si je reprends la conduite sur un échangeur pour sortir de l'autoroute, s'il y a des véhicules devant, je ne vais pas utiliser l'accélérateur, je vais plutôt utiliser le frein. Il y a peut-être une gymnastique à acquérir une fois que l'on a le système. [...] Au départ, cela demande une réflexion mais je pense que cela peut devenir automatique, c'est de l'apprentissage aussi. Mais une fois que l'on maîtrise le système, c'est fluide : après, je ne réfléchissais pas. Sur une autoroute ou une côte, je garde le pied sur l'accélérateur. Je ne me vois pas freiner à ce moment-là pour désactiver la conduite. » (Participant 2, session 1)

La plupart des conducteurs novices ont attendu les dernières secondes pour désactiver la conduite automatisée lors des demandes de reprise en main anticipées. Trois raisons permettent d'expliquer ce choix : 1) la formation reçue en salle, 2) l'exploration du système, et 3) l'actualisation de la situation.

« Je voulais profiter du pilotage le plus possible pour voir jusqu'où allait ce pilotage automatique. Je me suis dit je vais attendre jusqu'au dernier moment. » (Participant 1, session 1)

« Ça se passe pareil très naturellement. Là pour le coup j'ai attendu que la voiture s'arrête pour la reprendre, parce qu'on est plus dans les bouchons. [...] Je jouais j'étais sur un jeu donc j'ai rangé mon téléphone le temps de voir, ça avance tranquille et pas besoin que je reprenne immédiatement, donc j'ai laissé avancer

PARTIE 4 : Résultats de la Thèse

jusqu'au moment on était à l'arrêt total et puis j'ai juste eu à reaccélérer et c'est bon. » (Participant 13, session 1)

En ce qui concerne l'application de la procédure de reprise en main, 13 participants ont bien compris la nécessité de ne pas se précipiter et de prendre connaissance de la situation de conduite avant de désactiver (S-O et S-A) :

« Je me laisse du temps parce que je n'ai pas nécessité de reprendre en main tout de suite. J'avais peut-être besoin de me reconcentrer un peu avant de reprendre le volant. C'est peut-être cela la difficulté : se concentrer pour reprendre le volant. [...] Je reprends un peu les marques, je regarde un peu à gauche, à droite. Je regardais la vitesse. J'essaye d'avoir une vision 360, de recontextualiser ma position dans le trafic. Il s'agit de reprendre un peu le contexte. Le contexte classique c'est reprendre un mode de conduite classique, regarder dans ses rétroviseurs, regarder devant, etc. » (Participant 2, session 1)

Plus d'un tiers des conducteurs « lambda » novices (N = 7) comprennent qu'ils doivent reprendre la main en douceur lorsqu'ils se sentent prêt, pour assurer un certain confort dans la transition des modes (S-I-O) :

« J'ai gardé mon pied sur l'accélérateur, j'ai accéléré légèrement parce que je savais que devant il n'y avait rien, je n'ai pas freiné surtout. Proposer le freinage dans une situation comme celle-là n'est pas approprié. [...] Je me concentre en me disant que je peux reprendre mon truc dans quinze, quatorze, treize, douze. Je sais que je peux reprendre en main, j'accélère. » (Participant 2, session 1)

Enfin, 40% des participants comparent la façon de gérer les reprises en main en conduite automatisée à la façon qu'ils ont de désactiver un régulateur de vitesse :

« De la même façon que ça se passe quand on est avec un régulateur de vitesse c'est-à-dire de faire une action sur les pédales, accélération freinage ou bouger le volant mais le fait qu'on reprenne la main c'est naturel [...] Pour quelqu'un qui a l'habitude du régulateur de vitesse c'est naturel, dès l'instant où on reprend on fait une action on reprend la main ça je trouve que c'est très positif. » (Participant 6, session 1)

Cette analyse clinique nous permet de constater que les conducteurs « lambda » novices ont bien moins de difficultés à gérer les situations de reprise en main. En effet, une majorité d'entre eux disent que la reprise en main est plus naturelle et qu'elle se rapproche de ce qu'ils font en conduite traditionnelle ou en utilisant des ADAS. Nous pensons donc qu'un processus d'assimilation de certains schèmes est en cours, à partir de schèmes de conduite traditionnelle relatifs à l'utilisation des pédales pour désactiver le régulateur de vitesse. Nos observations le confirment : nous ne constatons que très peu de ratés ou d'échecs lors des reprises en main. Au contraire, les participants comprennent et appliquent bien les procédures, et

élaborent des connaissances opérationnelles appropriées notamment en ce qui concerne le choix de la modalité de reprise en main en fonction du contexte.

9.2.1.2. Les nouvelles situations sensibles identifiées

Dans cette section, nous présentons les six nouvelles situations sensibles que nous avons répertoriées grâce au recueil de données mis en place dans l'étude des conducteurs novices en conduite automatisée.

Pour commencer, nous identifions deux nouvelles situations dans la **Catégorie 1** :

- Activer la conduite automatisée dans un virage.
- Activer la conduite automatisée à côté d'un poids-lourd.

Prenons l'exemple de l'analyse clinique d'une situation d'activation de la conduite automatisée dans un virage. En résumé, dans cette situation la difficulté est la même que pour les cas d'activation à hauteur d'une entrée d'autoroute, car la tâche est similaire. C'est-à-dire que sur les 75% des participants l'ayant expérimentée, tous ont compris qu'il était préférable d'activer la conduite automatisée avant ou après le virage, mais pas pendant :

« J'aurais pu le faire au premier truc mais ça m'aurait paru stressant. Parce que du coup, il faut quand même lâcher un peu les mains et pour maintenir la courbe du virage, sachant qu'en plus il y a plusieurs voies, enfin... il y a quand même pas mal de paramètres et de lever le pied aussi de l'accélérateur alors qu'on est dans un virage je trouve ça aussi un peu dangereux. Du coup j'ai préféré, moi, être dans la position où je serais le plus confortable pour le faire et que ça marche du premier coup parce que sinon en fait aussi le risque c'est de lâcher sans lâcher et du coup d'appuyer 15 fois et il ne se passe rien. » (Participant 19, session 1)

Ceux ayant tenté d'activer pendant le virage (45% des participants) ont systématiquement échoué, soit parce que le véhicule n'était pas bien centré dans sa voie, soit parce qu'ils ne lâchaient pas suffisamment le volant. On retrouve donc les mêmes difficultés liées à l'application de la procédure d'activation (S-I-O), mais aussi quelques difficultés de compréhension des interfaces (I-S et S-I) :

« J'ai dû appuyer plusieurs fois pour ...mais je vous ai dit le problème c'était : 1) que j'accélérais et donc le temps que je capte qu'il ne faut pas accélérer. Autrement l'interface ne se met pas en route. Et d'autres ou c'est parce que le centrage du véhicule faisait que, soit c'était dans un virage et ne pas toucher pratiquement au volant alors qu'il y a un léger virage fait que bien ce n'est pas simple parce que même si je cliquais et que je n'étais pas centré à cause du virage alors j'étais toujours en recherche d'être bien positionné, et c'est vrai que ça c'était une forte contrainte pour activer la conduite autonome. » (Participant 4, session 1)

PARTIE 4 : Résultats de la Thèse

« C'est vrai que j'ai essayé deux trois fois et c'est sûr que ça attire notre attention c'est pour ça que je pense que le plus sécurisant serait que la voiture ne le propose pas dans un virage. Enfin parce que forcément si on a envie de le mettre et qu'on pense qu'on peut le mettre forcément le cerveau il est plus à 100 % sur la route. Enfin C'est quand même une action qui n'est pas hyper naturel de penser à enlever le pied d'appuyer sur le bouton forcément. On est un tout petit peu moins concentré sur la route et je pense que ça peut être préjudiciable dans un virage. » (Participant 19, session 1)

Concernant la **Catégorie 2**, nous ne retrouvons qu'une seule nouvelle situation : Suivre un poids-lourd à basse vitesse sur la voie de droite. Cette situation est vécue comme les autres situations de la même catégorie par les participants. En effet, environ 60% d'entre eux rapportent que le comportement du véhicule dans cette situation est gênant voire incompréhensible car très différent de ce que ferait un conducteur humain (I-O) :

« La voiture ne suit pas assez les règles, les limitations de vitesse. Elle a tendance à être serrée avec le trafic des camions et cætera. Et donc c'est vrai qu'on a une sorte de stress qu'on regarde tout ce qui se passe. [...] Surtout quand on peut rouler à 110, je ne vois pas trop l'intérêt. Des fois j'aurais eu tendance à dire qu'elle devrait accélérer, par rapport à la vitesse autorisée, plus fort et doubler plus de chose. Elle a tendance à rester trop derrière les camions. Elle a tendance à rouler comme un grand père. C'est un peu ça et elle ne respecte pas les vitesses mais dans le sens très bas. Des fois on est à 80 au lieu de 110. C'est un peu bizarre et on se dit pourquoi t'accélère pas et double pas ce qui est devant. » (Participant 4, session 1)

Certains participants disent qu'ils aimeraient reprendre la main pour se dégager en changeant de voie et en accélérant pour dépasser le poids-lourd manuellement (S-I-O). Cependant, aucun ne l'a fait en raison de la présence du co-pilote et du superviseur (S-I-S). Un des participants généralise la relation de causalité entre le fait de rouler à basse vitesse et le fait de se retrouver constamment entouré de poids-lourd, provoquant une baisse de la sécurité :

« Quand on roule à basse vitesse on a aussi tendance à se trouver plutôt avec les camions, les camionnettes et cætera. Donc il y a une légère réduction de sécurité derrière ou on se sent plus à l'aise quand on est avec le mouvement des véhicules légers. » (Participant 4, session 1)

Enfin, plus de 30% des conducteurs novices rapportent avoir eu des difficultés avec la SA View, expliquant que les poids-lourds semblent instables sur les écrans (S-I-A) alors qu'ils ne le sont pas en vrai :

« Alors à un moment donné j'ai bien regardé devant moi et le camion il ne zigzaguait pas mais il faisait ça sur l'écran quoi sans arrêt [...] là je l'ai observé parce que ça m'a frappé parce qu'à un moment donné c'était vraiment le camion fou. » (Participant 3, session 1)

Nous retrouvons ensuite une nouvelle situation dans la **Catégorie 3** : Se faire dépasser par un poids-lourd. Expérimentée par plus de 60% des participants, cette situation n'est pas très différente de la situation inverse dans laquelle le véhicule automatisé dépasse lui-même un poids-lourd. Elle est également de même nature que la situation de la Catégorie 2. On retrouve donc les mêmes difficultés liées au comportement de conduite du véhicule automatisé qui est différent de ce qui serait attendu d'un conducteur humain (I-O) :

« C'est quand il y a eu un camion qui nous a doublé qui s'est mis sur la voie, là j'ai senti que la voiture elle n'avait pas réagi comme je l'aurais fait. Et donc là je me suis dit "hou". » (Participant 1, session 1)

En plus d'un sentiment d'insécurité, cette situation provoque un sentiment de frustration chez certains participants :

« J'ai trouvé que c'était un peu frustrant, se faire doubler par un 38 tonnes c'est jamais, vous sentez un déplacement d'air, ce n'est pas agréable en plus voilà le 38 tonnes met un certain temps à vous dépasser. » (Participant 3, session 1)

Pour terminer avec les nouvelles situations sensibles identifiées grâce à ce même recueil de données, nous recensons deux nouvelles situations dans la **Catégorie 6** :

- Désactiver la conduite automatisée dans un virage.
- Désactiver la conduite automatisée à côté d'un poids-lourd.

Nous choisissons de prendre l'exemple de la situation de désactivation de la conduite automatisée dans un virage pour résumer son analyse clinique. Nous observons cette situation dans seulement un quart des essais. Hormis les difficultés intrinsèques aux demandes de reprise en main comme la détection et la compréhension des interfaces, les participants n'ont pas éprouvé de difficultés particulières dans cette situation. En effet, à l'instar de la situation d'activation dans un virage, les participants ont bien compris qu'il était plus judicieux de désactiver la conduite automatisée avant ou après le virage :

« Là j'avais compris qu'il fallait reprendre. Je trouvais la courbe un peu tendue, je me suis dit 'je vais le reprendre avant'. Comme il restait moins de vingt secondes, j'allais me retrouver bloqué dans la courbe. J'étais plus en confiance de reprendre avant le tournant que de le laisser faire le tournant. » (Participant 5, session 1)

« Je me dis bon je prends la main dans la ligne droite, ça sert à rien de prendre dans le virage au cas où il y aura la courbe ou quoi que ce soit même si c'est très souple la reprise, même si c'est très bien. » (Participant 4, session 1)

9.2.1.3. Rappel des situations sensibles non confirmées par l'étude auprès des conducteurs lambda novices en conduite automatisée

Il nous semble important de relever les situations que nous ne retrouvons pas dans ce second recueil de données. Ces dernières peuvent être intéressantes pour expliquer des différences entre les pilotes experts et les conducteurs novices. Ci-dessous la liste de ces situations :

- Tenter d'activer dans un *lane-split* ou *lane-merge* (Catégorie 1).
- Véhicule précédent qui hésite à changer de voie ou « *shy* » (Catégorie 2).
- Passer sur un *lane-split* ou *lane-merge* en conduite automatisée (Catégorie 3).
- Passer à côté d'un véhicule arrêté sur la bande d'arrêt d'urgence (Catégorie 3).
- Lignes blanches effacées (Catégorie 4).
- Véhicule arrêté sur la bande d'arrêt d'urgence qui dépasse sur la voie ou autres obstacles sur la route gênant le passage du véhicule automatisé (Catégorie 5).
- Désactivation involontaire du conducteur (Catégorie 6).

Les difficultés vécues et comprises par les novices, à l'origine de leurs situations sensibles, ne sont pas les mêmes que celles des pilotes experts de la première étude. Par exemple, les conducteurs novices n'identifient pas certaines des situations sensibles des pilotes experts. Cela peut s'expliquer par deux raisons non exclusives l'une de l'autre : (1) l'expérience et la conceptualisation des experts, et (2) l'environnement non contrôlé rendant notre recueil non exhaustif. Par ailleurs, à la relecture, nous voyons apparaître dans les extraits d'entretien que nous avons présentés, quelques dimensions méta de l'activité des conducteurs novices, ainsi qu'une volonté de comprendre la relation I-O en l'observant et en surveillant le comportement du système en situation. Cela génère par moment des émotions assez fortes chez nos participants.

9.2.2. Quatre classes de situations sensibles en fonction de leurs caractéristiques communes

L'analyse des situations sensibles sur la base du modèle SACI nous a permis de dégager des caractéristiques communes entre certaines de nos catégories de situations. Ces caractéristiques communes concernent d'abord le but premier de la tâche, mais aussi les sous-buts via les relations et médiations impactées par la transformation des situations de conduite, et tout ce qui en découle. Autrement dit, les transformations ou inhibitions de schèmes requises pour surmonter les difficultés et être capable de gérer ces nouvelles situations de conduite. Les classes de situations ainsi identifiées sont constituées par les

sujets eux-mêmes, inconsciemment ou non, qui regroupent dans une même classe l'ensemble des situations pour lesquelles ils poursuivent le même but (Vidal-Gomel, 2001).

9.2.2.1. Classe A : Les situations d'activation de la conduite automatisée

Cette classe de situation contient toutes les situations de la Catégorie 1 : le conducteur peut être gêné ou surpris lors de l'activation de la conduite automatisée (N = 7), et éventuellement créer une situation à risque. Dans ces situations, nous retrouvons systématiquement le même pattern de modèle SACI (Figure 54) démontrant les mêmes modifications des relations et médiations en jeu pour les conducteurs. Elles nous permettent d'avancer dans la caractérisation de ce que devrait être la genèse instrumentale :

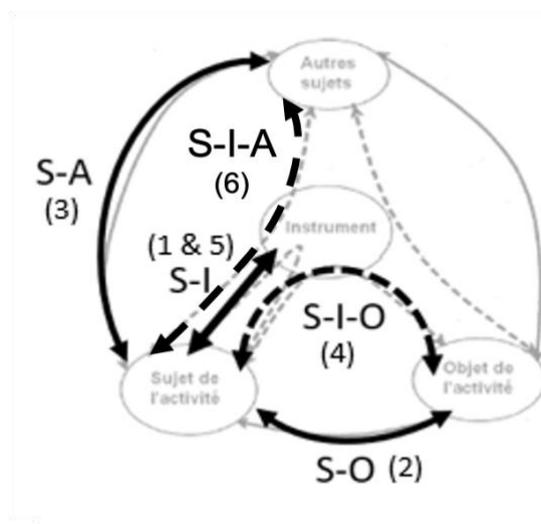


Figure 54 : Modèle SACI commun à toutes les situations de la Classe A.

Description des relations et médiations :

- 1) **I-S** : Les interfaces indiquent que le mode automatisé est disponible.
- 2) **S-O** : Le conducteur surveille l'état de la conduite (vitesse, voie, direction, etc.).
- 3) **S-A** : Le conducteur surveille l'état du trafic environnant (nombre et type de véhicules, leur comportement, clignotants, etc.).
- 4) **S-I-O** : Le conducteur applique la procédure d'activation au bon moment.
- 5) **S-I** : Le conducteur vérifie sur les interfaces que l'activation a été prise en compte.
- 6) **S-I-A** : Le conducteur surveille l'état du trafic environnant via la SA View (optionnel).

Le but premier étant d'activer la conduite automatisée, pour y parvenir le conducteur doit d'abord être en mesure d'identifier et de comprendre les interfaces de la conduite automatisée

(relation I-S). Cela présuppose qu'il doit avant tout comprendre les affichages des interfaces proposées sur son tableau de bord. Pour ce premier sous-but, nous identifions une instrumentalisation du tableau de bord : une nouvelle fonction doit lui être attribuée, celle de fournir l'information concernant l'état du mode automatisé (ici l'état étant « disponible »).

Il doit ensuite s'assurer d'être dans les bonnes conditions de sécurité et de confort avant de prendre la décision d'agir en surveillant le contexte de la conduite (2^{ème} sous-but). Pour cela, nous pensons qu'un processus d'assimilation d'un schème de surveillance de la circulation environnante (relation S-A) doit avoir lieu. En effet, le conducteur vérifie que les autres usagers de la route ne vont pas gêner l'activation. Nous identifions aussi l'assimilation d'un autre schème de la conduite traditionnelle pour surveiller l'état de la conduite (relation S-O) afin de maintenir ou d'amener le véhicule dans les bonnes conditions latérales (centré dans la bonne voie) et longitudinales (vitesse et distance de sécurité respectées) avant d'activer la conduite automatisée (médiation pragmatique S-I-O).

Une fois qu'il s'est assuré d'être dans les meilleures conditions, le conducteur peut décider d'activer la conduite automatisée (3^{ème} sous-but) en relâchant les commandes de conduite et en appuyant sur le bouton « R » situé sur la branche gauche du volant (médiation pragmatique S-I-O). Ici, la procédure d'activation requiert, pour les conducteurs ayant l'habitude du régulateur de vitesse, d'accommoder leur schème d'activation de ce dernier. En revanche, les autres conducteurs doivent potentiellement accommoder un autre schème plus éloigné (commandes mains-libres pour le multimédia, jeux-vidéo, ou autre). On pourra éventuellement parler d'instrumentalisation du volant dans le cas d'un conducteur n'ayant jamais utilisé de boutons situés sur son volant. De manière plus générale, le conducteur doit connaître au préalable la procédure d'activation de la conduite automatisée de son véhicule.

Après avoir activé la conduite automatisée, le conducteur doit vérifier que son action a bien été prise en compte par le système et que le véhicule a pris le relai sur la conduite (4^{ème} sous-but). Pour cela, il peut soit se référer aux interfaces qui lui indiquent que le mode automatisé est activé (relation S-I), soit ressentir la prise en main par le système via le durcissement du volant (médiation épistémique S-I-O). Dans le premier cas, nous identifions à nouveau l'instrumentalisation du tableau de bord concernant l'état du mode automatisé (ici l'état étant « activé »). Dans le second cas, nous pensons qu'il s'agit d'une instrumentalisation du volant pour confirmer la prise de relais par le véhicule.

Enfin, le 5^{ème} sous-but dans cette classe de situations est de se désengager physiquement de la conduite en retirant ses mains du volant et ses pieds des pédales. Le conducteur doit donc parvenir à être suffisamment en confiance pour inhiber des schèmes de la conduite

traditionnelle relatifs au contrôle latéral et longitudinal du véhicule afin de le laisser prendre totalement le relais (médiation réflexive S-I-S).

9.2.2.2. Classe B : Les situations gérées par la conduite automatisée

Cette classe de situations sensibles est la plus importante car elle regroupe les Catégories 2 (situations liées au fonctionnement nominal du système mais pouvant surprendre ou gêner le conducteur) et 3 (situations liées au fonctionnement nominal du système mais critiques pour le conducteur car perçues comme potentiellement dangereuses), pour un total de 15 situations sensibles. En effet, pour ces deux catégories, nous retrouvons systématiquement le même pattern concernant le modèle SACI (Figure 55) et les relations et médiations en jeu :

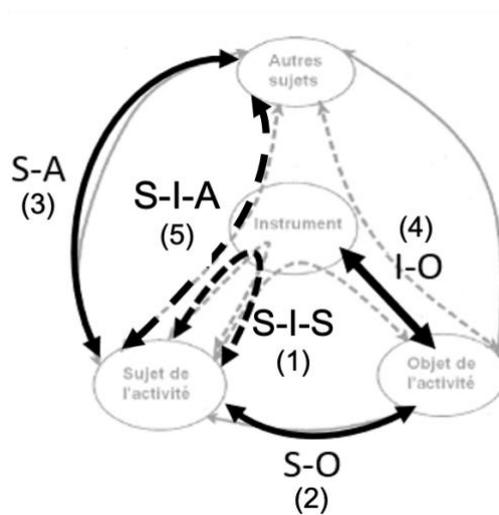


Figure 55 : Modèle SACI commun à toutes les situations de la Classe B.

Description des relations et médiations :

- 1) **S-I-S** : Le conducteur se rapproche des commandes mais inhibe son action.
- 2) **S-O** : Le conducteur surveille l'état de la conduite (vitesse, voie, direction, etc.).
- 3) **S-A** : Le conducteur surveille l'état du trafic environnant (nombre et type de véhicules, leur comportement, clignotants, etc.).
- 4) **I-O** : Le véhicule automatisé gère la situation différemment d'un conducteur humain.
- 5) **S-I-A** : Le conducteur vérifie sur la SA View que le système perçoit les mêmes informations que lui concernant le trafic environnant.

Nous considérons que le but premier du conducteur, dans cette classe de situations, est de laisser le véhicule automatisé gérer la situation, sans intervenir pour ne pas interférer avec le

système. Cependant, en fonction de son ressenti, le conducteur peut à tout moment décider de reprendre la main. Cela se produit plus souvent avec les situations relevant de la Catégorie 3 qu'avec celles de la Catégorie 2. Dans ce cas bien précis, la situation se rapportera alors à la Classe C, que nous présentons dans la section suivante.

Pour parvenir à laisser le véhicule gérer, le conducteur doit d'abord être conscient de la situation en cours et bien comprendre la relation I-O. Ce 1^{er} sous-but peut être atteint en surveillant l'état de la conduite (relation S-O) et l'état de la circulation environnante (relation S-A), comme il le ferait en conduite traditionnelle (assimilation d'un schème de surveillance). Le conducteur peut également surveiller la situation via la SA View (médiation épistémique S-I-A). Dans ce cas on parlera éventuellement de l'accommodation d'un schème de surveillance et de l'instrumentalisation du tableau de bord.

La principale difficulté se présente lorsque le conducteur ressent une incohérence entre ce qu'il perçoit de la situation, ses schèmes, et le comportement de conduite du véhicule automatisé. Les conducteurs évoquent généralement une différence entre ce que fait le véhicule et ce qu'un conducteur humain aurait fait dans la même situation. Le 2^{ème} sous-but du conducteur est donc de comprendre le style de conduite du véhicule automatisé en fonction du contexte (relation I-O). Autrement dit, il doit connaître au préalable les capacités et les limites du système qu'il utilise pour une catégorie de situations données.

Après avoir pris connaissance de la situation et compris le comportement du véhicule, le conducteur doit alors être suffisamment en confiance pour inhiber ses automatismes (schèmes très ancrés) de la conduite traditionnelle (3^{ème} sous-but). Il s'agit alors d'inhiber une action automatique sur les commandes de conduite, comme saisir le volant pour braquer ou appuyer sur le frein pour piler, dans des situations surprenantes ou perçues comme risquées (S-I-S). En revanche, le conducteur peut décider de se rapprocher des commandes volontairement, simplement pour se rassurer et se préparer à agir en cas de besoin. Rappelons que ces situations peuvent engendrer de fortes émotions.

9.2.2.3. Classe C : Les situations ambiguës de la conduite automatisée

Dans cette classe de situations nous retrouvons les trois situations de la Catégorie 5 (situations liées aux limites de la conduite automatisée non reconnues par le système et critiques pour le conducteur car perçues comme potentiellement dangereuses) et potentiellement quelques situations des catégories 2 et 3 selon les conducteurs. Pour l'ensemble de ces situations, nous retrouvons le même pattern de modèle SACI (Figure 56), ainsi que les mêmes modifications des relations et médiation en jeu :

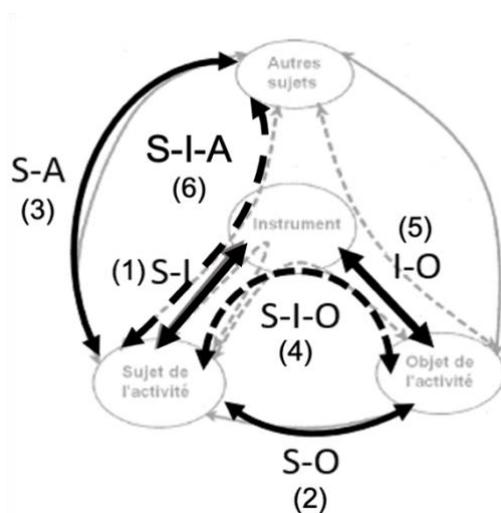


Figure 56 : Modèle SACI commun à toutes les situations de la Classe C

Description des relations et médiations :

- 1) **S-I** : Le conducteur vérifie sur les interfaces que la désactivation a été prise en compte.
- 2) **S-O** : Le conducteur surveille l'état de la conduite (vitesse, voie, direction, etc.).
- 3) **S-A** : Le conducteur surveille l'état du trafic environnant (nombre et type de véhicules, leur comportement, clignotants, etc.).
- 4) **S-I-O** : Le conducteur prend l'initiative de désactiver et reprend la main au bon moment.
- 5) **I-O** : Le véhicule automatisé gère la situation différemment d'un conducteur humain.
- 6) **S-I-A** : Le conducteur surveille l'état du trafic environnant via la SA View.

Comme nous l'avons précisé dans la section précédente, pour les conducteurs novices de notre étude, les situations de la Catégorie 5 sont équivalentes aux situations de la Catégorie 3. En effet, les participants n'ont jamais pris l'initiative de désactiver par eux-mêmes en raison du contexte sécuritaire de l'expérimentation. Néanmoins, nous continuons de faire la distinction entre ces deux catégories car la plupart d'entre eux précisent qu'ils auraient repris la main s'ils avaient été seuls. De plus, les pilotes experts de la première étude recommandent fortement de reprendre la main dans ces situations bloquantes pour le véhicule automatisé. Nous considérons donc que le but du conducteur consiste ici à prendre l'initiative de désactiver la conduite automatisée, sans être guidé par le système, pour gérer manuellement ces situations.

Pour atteindre ce but premier, le conducteur doit commencer par prendre connaissance et comprendre la situation de conduite. De la même manière que pour les situations de la Classe B, nous pensons que le conducteur assimile un schème de surveillance de la conduite traditionnelle en surveillant l'état de la conduite (relation S-O) et l'état de la circulation environnante (relation S-A). Là aussi, il peut potentiellement surveiller le déroulement de la situation en utilisant la SA View pour s'assurer que le système perçoit la même chose que lui (médiation épistémique S-I-A). On parlera alors d'accommodation d'un schème de surveillance et d'instrumentalisation du tableau de bord.

Ce 1^{er} sous-but permet au conducteur de comprendre qu'il doit agir pour gérer la situation lui-même manuellement. En plus de constater un comportement incohérent du véhicule automatisé vis-à-vis de la situation de conduite (relation I-O), le conducteur peut éventuellement repérer des indices pour identifier une situation comme étant ambiguë (2^{ème} sous-but). Cela présuppose qu'il doit au préalable connaître et apprendre à reconnaître les limites du système automatisé, ainsi que les situations de conduite qui requièrent son intervention, pour pouvoir les anticiper.

Le 3^{ème} sous-but implique que le conducteur prenne la décision d'agir en choisissant la modalité la plus pertinente en fonction du contexte, et le moment idéal pour désactiver la conduite automatisée de manière sécurisée et confortable. Pour cela, il s'appuie d'abord sur la compréhension de la situation, puis son expérience passée avec le régulateur de vitesse pour choisir la modalité (frein, accélérateur ou bouton) et le moment idéal pour désactiver (assimilation d'un schème de désactivation du régulateur de vitesse). Dans le cas où il choisirait le volant, on parlera alors d'une potentielle accommodation de schème. Dans tous les cas il s'agit d'une instrumentalisation des commandes de conduite pour désactiver le mode automatisé. Il est évident que le conducteur doit au préalable connaître les différentes modalités possibles pour désactiver, mais il doit aussi apprendre à reconnaître celle qu'il est préférable d'utiliser en fonction du contexte et les conditions requises pour une bonne reprise en main.

Le 4^{ème} sous-but du conducteur consiste donc à réaliser l'action sur la commande choisie pour désactiver la conduite automatisée (médiation pragmatique S-I-O) au bon moment. Deux possibilités s'offrent alors : soit il agit immédiatement par automatisme et désactive via la commande qu'il aurait utilisée en conduite traditionnelle (par exemple, freiner en voyant un objet quelconque sur la voie), soit il décide de prendre le temps de réfléchir et de choisir la modalité la plus adaptée (par exemple, tourner le volant pour changer de voie et laisser passer une ambulance en s'assurant que la voie d'à côté est libre), ce qui peut nécessiter d'inhiber des schèmes antérieurs. Dans le premier cas, cela peut s'avérer inapproprié si l'objet est un

simple sachet en plastique (par exemple) et/ou si un véhicule est très proche derrière à ce moment-là.

Après avoir utilisé la procédure de désactivation, le conducteur doit s'assurer que son action a bien été prise en compte par le système, que la conduite automatisée est désactivée et qu'il a à nouveau le contrôle de la conduite (5^{ème} sous-but). Comme pour la Classe A, le conducteur peut vérifier ces informations via les interfaces qui indiquent que le mode automatisé est désactivé (relation S-I). On identifie alors une instrumentalisation du tableau de bord pour obtenir de l'information sur l'état du mode automatisé (ici l'état étant « désactivé »). Le conducteur peut aussi utiliser les commandes pour, à la fois agir sur la conduite (médiation pragmatique S-I-O), mais également confirmer qu'il a bien récupéré le contrôle du véhicule (médiation épistémique S-I-O). Dans ce cas, nous émettons l'hypothèse d'une instrumentalisation des commandes de conduite pour vérifier qui a le contrôle.

9.2.2.4. Classe D : Les situations de désactivation de la conduite automatisée

La dernière classe de situations identifiée regroupe les Catégories 4 (situations liées aux limites de la conduite automatisée connues par le système, pouvant surprendre ou gêner le conducteur car entraînant une demande de reprise en main rapide) et 6 (situations pouvant gêner ou surprendre le conducteur lors de la désactivation de la conduite automatisée), pour un total de neuf situations sensibles. L'ensemble de ces situations répondant au même pattern de modèle SACI (Figure 57) et aux mêmes relations et médiations impactées par la transformation de l'activité du sujet :

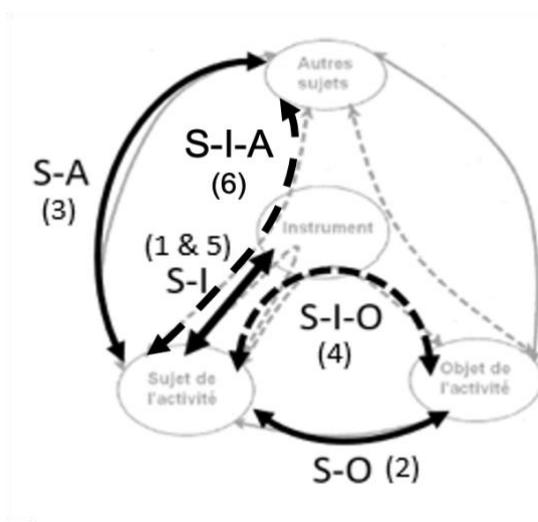


Figure 57 : Modèle SACI commun à toutes les situations de la Classe D.

Description des relations et médiations :

- 1) **I-S** : Les interfaces signalent au conducteur qu'il doit reprendre la main car le mode automatisé n'est bientôt plus disponible.
- 2) **S-O** : Le conducteur surveille l'état de la conduite (vitesse, voie, direction, etc.).
- 3) **S-A** : Le conducteur surveille l'état du trafic environnant (nombre et type de véhicules, leur comportement, clignotants, etc.).
- 4) **S-I-O** : Le conducteur décide de désactiver et reprend la main au bon moment.
- 5) **S-I** : Le conducteur vérifie sur les interfaces que la désactivation a été prise en compte.
- 6) **S-I-A** : Le conducteur surveille l'état du trafic environnant via la SA View.

Ici, le but premier est de désactiver la conduite automatisée et de reprendre la main, pour ce faire le conducteur doit avant tout détecter et comprendre l'alerte provenant des interfaces (relation I-S). Cela présuppose que le conducteur soit familier avec les différentes interfaces de la conduite automatisée. Comme précédemment, nous identifions ici une instrumentalisation du tableau de bord qui fournit l'information concernant l'état du mode automatisé (ici l'état étant « demande de reprise en main »).

Dans un second temps, le conducteur prend connaissance de la situation de conduite et tente de la comprendre en surveillant l'état de la conduite (relation S-O) et l'état du trafic environnant (relation S-A). Là aussi, nous pensons que le conducteur peut potentiellement assimiler des schèmes de surveillance provenant de la conduite traditionnelle. Il a également la possibilité d'accommoder ces schèmes en utilisant la SA View pour surveiller indirectement l'évolution de la circulation et s'assurer que le système perçoit les mêmes éléments que lui (médiation épistémique S-I-A). Nous émettons à nouveau l'hypothèse d'une instrumentalisation du tableau de bord.

Ces deux premiers sous-buts permettent au conducteur de comprendre qu'il doit agir pour désactiver la conduite automatisée et reprendre la main. Il doit donc connaître les limites du système automatisé, mais surtout les situations de conduite qui entraînent une demande de reprise en main, pour pouvoir les anticiper. Ensuite, le conducteur doit être capable de choisir la bonne modalité à utiliser en fonction du contexte et choisir le meilleur moment pour désactiver. Comme pour les situations de la Classe C, il peut s'appuyer sur le constat qu'il fait de la situation (2^{ème} sous-but) et sur son expérience passée avec le régulateur de vitesse. Mais contrairement à la Classe C, ici le système laisse suffisamment de temps au conducteur pour reprendre la main, il n'a donc pas besoin de se précipiter sur les commandes. Pour prendre sa décision, le conducteur doit donc au préalable connaître les différentes modalités

de reprise en main qui lui sont proposées, savoir laquelle choisir en fonction du contexte et connaître les conditions à réunir pour désactiver de manière sécurisée et confortable.

Lorsque le conducteur à décider de la modalité à utiliser et du moment idéal, il réalise alors l'action sur la commande choisie (médiation pragmatique S-I-O). L'utilisation d'une pédale ou du bouton pour désactiver s'apparentera alors à une assimilation d'un schème de désactivation du régulateur de vitesse. Alors que l'utilisation du volant sera considérée comme une accommodation de ce schème. Dans les deux cas nous parlerons d'une instrumentalisation des commandes de conduite pour désactiver le mode automatisé.

Le 5^{ème} et dernier sous-but consiste à vérifier que l'action réalisée pour reprendre la main a bien été prise en compte par le système et que la conduite automatisée est bien désactivée. Comme nous l'avons vu dans la section précédente, le conducteur peut vérifier ces informations grâce aux interfaces de la conduite automatisée (relation S-I). Il s'agit alors d'une instrumentalisation du tableau de bord qui sert à vérifier l'état du mode automatisé (ici l'état étant « désactivé »). Le conducteur a également la possibilité de confirmer cette information en agissant sur les commandes, d'une part pour diriger le véhicule (médiation pragmatique S-I-O), et d'autre part pour s'assurer qu'il a bien repris le contrôle de la conduite (médiation épistémique S-I-O). Nous identifions ici une potentielle instrumentalisation des commandes de conduite pour confirmer que le mode automatisé est bien désactivé.

9.3. Conclusion du chapitre

Ces études nous ont permis de mettre en évidence différentes situations sensibles pour les futurs conducteurs, soulevant les points clés suivants : l'activation, la désactivation, laisser faire le véhicule automatisé ou reprendre la main. Ces points suggèrent que le conducteur doit apprendre à faire confiance au système dans certaines situations, mais pas dans d'autres. Ainsi, les adaptations requises entraînent une multitude de transformations du couple schème-situations. D'autre part, les débuts de genèses instrumentales peuvent être compliqués : les conducteurs ont tendance à surveiller la relation I-O pour tenter de la comprendre mais n'y parviennent pas toujours, ce qui génère de fortes émotions négatives impactant les réglages du compromis cognitif (mis en évidence par les dimensions méta du discours des participants). Ces résultats nous ont conduit à identifier trois champs d'apprentissage à prendre en compte pour la conception de l'outil didactique embarqué.

9.3.1. Concevoir le didacticiel « AUTO-DIDACT' » : trois champs d'apprentissage nécessaires

Les deux études réalisées, d'une part auprès de pilotes experts et d'autre part auprès de conducteurs « lambda » novices en conduite automatisée, nous ont permis d'identifier trois champs d'apprentissage interdépendants nécessaires à la genèse instrumentale des conducteurs, et donc au bon usage du véhicule automatisé : (1) comprendre le fonctionnement du système et l'identifier en situation, (2) savoir et pouvoir réaliser les procédures d'activation et de désactivation de la conduite automatisée, et (3) savoir et pouvoir gérer des situations sensibles de la conduite automatisée. Notons que ces connaissances doivent être opérationnelles pour pouvoir être mobilisées en situation. Ces trois champs rappellent bien évidemment les deux premiers niveaux de la matrice GDE (Siegrist, 1999 ; Boccara, 2011) évoqués dans la PARTIE 1 : Contexte et Problématiques ce document (Tableau 1). En effet, la compréhension du fonctionnement du véhicule automatisé (1) et la réalisation des procédures d'activation et de désactivation (2) relèvent du niveau 1 (opérationnel) de cette matrice, à savoir la maîtrise du véhicule. Quant à la gestion des situations sensibles de la conduite automatisée (3), nous y voyons un parallèle évident avec le niveau 2 (tactique) de la matrice GDE : la maîtrise des situations de conduite.

L'identification de ces trois champs d'apprentissage est le fruit de l'analyse des conseils et recommandations des pilotes experts de la première étude, et des adaptations opérées face aux difficultés qu'ils ont rencontrées lors de la prise en main des prototypes de véhicules automatisés. Nous considérons ces acquis comme des savoirs de référence du domaine, ou représentations mentales stabilisées, pouvant être issues de connaissances explicites, de l'intériorisation de procédures efficaces (schèmes d'action), ou des instruments cognitifs (Rogalski, 2004). Les pilotes experts ont élaboré ces savoirs au fil de leur expérience, puis les ont pérennisés et mis en commun lors de l'étape finale de la démarche de recherche que nous avons engagée avec eux, à savoir l'entretien d'allo-confrontation collectif.

Ces trois champs d'apprentissage sont aussi issus de l'analyse des difficultés rencontrées par les conducteurs novices de notre seconde étude, et des amorces de transformations de schèmes requises pour gérer les situations sensibles de la conduite automatisée. Nous avons également pris en compte les généralisations de connaissances opérationnelles, issues de l'identification d'invariants dans le comportement du véhicule automatisé dans certaines situations. Néanmoins, étant donné le manque d'expérience des conducteurs novices, dans certains cas ces représentations mentales issues d'interprétations subjectives pouvaient être erronées et aboutir à des erreurs, des ratés, et des échecs. Nous ne les avons donc pas retenues comme tel pour élaborer le contenu pédagogique de notre outil didactique.

Cette section permet de synthétiser et mettre en commun les résultats de nos deux études (experts et novices) afin d'envisager l'élaboration d'un contenu pédagogique adapté destiné aux futurs utilisateurs de véhicules automatisés (voir schéma de la Figure 58).

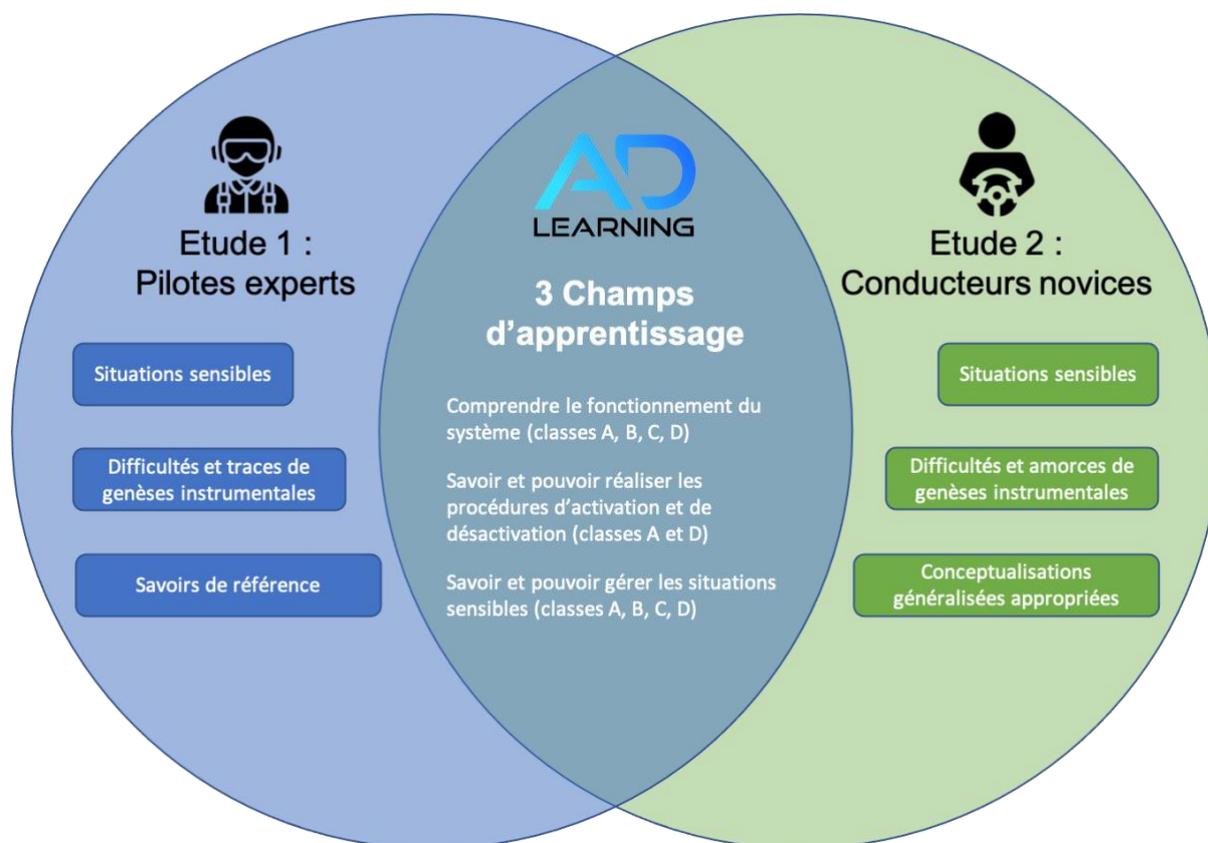


Figure 58 : Des domaines d'apprentissage pour la conception du didacticiel « AUTO-DIDACT' ».

9.3.1.1. Comprendre le fonctionnement du véhicule automatisé

Comprendre le fonctionnement du véhicule automatisé implique dans un premier temps de connaître le fonctionnement du système (technologies, interactivité, interfaces), son domaine d'usage (conditions de disponibilité du mode automatisé), ses capacités (style de conduite respectant le Code de la route) et ses limites (techniques, style de conduite différent de l'humain). Il s'agit ensuite d'intégrer suffisamment ces connaissances pour être capable de déléguer entièrement la conduite au système, et de se désengager physiquement, et éventuellement mentalement, de l'activité de conduite. Ce désengagement de l'activité suppose également que le conducteur soit capable d'inhiber des schèmes existants de conduite traditionnelle, mais aussi qu'il sache identifier les comportements du système nécessitant son intervention. Autrement dit, la compréhension du système que nous visons est une compréhension en fonction de catégories de situations.

Ce champ d'apprentissage n'est pas sans rappeler le mode d'exposition des connaissances que Richard (1983) appelle « logique de fonctionnement », qui permet à l'apprenant d'élaborer une représentation technique du système. Selon cet auteur, les descriptions du système, des commandes et des changements d'état induits par ces dernières doivent permettre à l'apprenant de comprendre les règles de fonctionnement du système.

Toutes les classes de situations sensibles que nous avons présentées précédemment sont concernées par ce champ d'apprentissage. Le Tableau 20 reprend les conseils et recommandations que nous avons retenus pour être intégrés dans le contenu pédagogique concernant la compréhension du fonctionnement du véhicule automatisé.

Catégories	Études	Conseils et recommandations
A : Avant la conduite automatisée	1	Apprendre à connaître son véhicule en mode manuel avant de commencer à utiliser le mode automatisé.
	1	Connaître les capacités et les limites du véhicule automatisé.
	1 & 2	Connaître les interfaces de la conduite automatisée (état du mode et SA View, sons, etc.).
B : Bien activer la conduite automatisée	1 & 2	Connaître les conditions de disponibilité de la conduite automatisée (conditions « macro »).
C : Attitude à adopter en conduite automatisée	1	Éviter d'entrer en sur-confiance vis-à-vis du véhicule automatisé (ne pas sur-interpréter ses capacités et réduire ses limites).
	1 & 2	Surveiller la conduite lors des premiers usages pour se familiariser avec le style de conduite du véhicule.
	1	Être réceptif au comportement du véhicule automatisé et à ses interfaces.
D : Bien désactiver la conduite automatisée	1 & 2	Connaître les conditions d'indisponibilité de la conduite automatisée (conditions « macro »).
	1 & 2	Connaître les différentes modalités de reprise en main et connaître la plus adaptée pour chaque situation.

Tableau 20 : Conseils et recommandations retenus pour bien comprendre le fonctionnement du véhicule automatisé.

Légende : Étude 1 : Analyse d'activité et recueil des connaissances de pilotes experts en conduite automatisée ; Étude 2 : Analyse d'activité et recueil des besoins de conducteurs « lambda » novices en conduite automatisée.

9.3.1.2. Savoir et pouvoir réaliser les procédures d'activation et de désactivation de la conduite automatisée

Savoir et pouvoir réaliser les procédures d'activation et de désactivation de la conduite automatisée suppose de connaître les organes d'interaction qui le permettent, de connaître également les conditions sous-jacentes à une bonne activation ou désactivation, et les étapes de ces procédures. Nous pouvons ajouter à cela la connaissance des conditions de disponibilité et d'indisponibilité du mode automatisé. Le conducteur doit ensuite être capable de solliciter ces connaissances en situation (notamment dans les situations sensibles des classes A et D) pour pouvoir réaliser ces procédures de façon confortable et sécurisée. Pour

cela, il doit transformer ces schèmes, soit par l'accommodation de schèmes de la conduite traditionnelle, soit par l'assimilation d'éventuels schèmes d'usage du régulateur de vitesse. En effet, savoir et pouvoir se rencontrent dans la genèse instrumentale, qui s'appuie sur des connaissances pertinentes et situées.

Le Tableau 21 présente les 12 conseils et recommandations retenus pour intégrer le contenu pédagogique, dont huit concernant la bonne réalisation de la procédure d'activation et quatre concernant la bonne réalisation des procédures de désactivation.

Catégories	Études	Conseils et recommandations
B : Bien activer la conduite automatisée	1 & 2	Connaître les conditions d'une activation réussie en fonction du contexte (conditions « micro »).
	1	Tester la procédure d'activation plusieurs fois dans un environnement sécurisé.
	1	Se ranger dans la voie correspondant à sa destination.
	1 & 2	Se centrer dans la voie
	1 & 2	Respecter les distances de sécurité avant et arrière.
	1 & 2	Relâcher les commandes au moment de l'activation pour ne pas interférer avec le système.
	1	Vérifier que la conduite automatisée est bien activée sur les interfaces.
	1	Se désengager de la conduite progressivement
D : Bien désactiver la conduite automatisée	1	Tester les procédures de désactivation plusieurs fois dans un environnement sécurisé.
	1 & 2	Ne pas se précipiter et contrôler l'environnement pour se remettre dans la boucle de conduite.
	1 & 2	Connaître les différentes modalités de reprise en main et connaître la plus adaptée pour chaque situation.
	1 & 2	Éviter d'être brusque sur les commandes de conduite et reprendre la conduite en douceur.

Tableau 21 : Conseils et recommandations retenus pour une bonne réalisation des procédures d'activation et de désactivation de la conduite automatisée.

Légende : Étude 1 : Analyse d'activité et recueil des connaissances de pilotes experts en conduite automatisée ; Étude 2 : Analyse d'activité et recueil des besoins de conducteurs lambda novices en conduite automatisée.

9.3.1.3. Savoir et pouvoir gérer les situations sensibles de la conduite automatisée

Pour rappel, nous utilisons l'adjectif « sensible » pour définir ces situations car elles sont perçues comme surprenantes, gênantes ou bien comme potentiellement risquées (ou dangereuses) par les participants de nos deux études. Le premier recueil auprès des pilotes experts nous a permis d'identifier 28 de ces situations. Dans un second temps, l'étude auprès des conducteurs « lambda » novices a permis d'identifier 27 situations dont 21 redondantes avec la première étude et six nouvelles situations. Au total, nous avons donc identifié 34 situations sensibles spécifiques à l'activité de conduite automatisée (Tableau 22). Afin de mieux les comprendre nous les avons d'abord catégorisées en prenant en compte à la fois le fonctionnement du système, et le ressenti des conducteurs. Puis grâce aux analyses cliniques

réalisées sur chacune de ces situations, nous les avons organisées par classes en fonction de la nature des transformations impactant l'activité des conducteurs.

Classes	Cat.	Études	N°	Situations
A	1	1 & 2	1	Tenter d'activer en étant décentré ou en chevauchant une ligne.
			2	Tenter d'activer hors zone de disponibilité.
			3	Activer trop proche du véhicule précédent ou du véhicule suivant.
			4	Activer à hauteur d'une entrée ou d'une sortie d'autoroute.
		1	5	Tenter d'activer dans un <i>lane-split</i> ou <i>lane-merge</i> .
		2	6	Activer dans un virage.
			7	Activer à côté d'un poids-lourd.
B	2	1 & 2	8	« Ping-pong » à l'activation.
			9	Circulation dense et embouteillage.
			10	Changement de voie automatisé.
			11	Véhicule automatisé qui se décentre dans sa voie ou qui cherche à se centrer.
			12	Motards qui remontent l'inter-file.
			13	Ralenti automatisé fort et soudain.
			14	Brouillard léger ou pluie légère.
		1	15	Véhicule précédent qui hésite à changer de voie ou « shy ».
	2	16	Suivre un poids-lourd à basse vitesse sur la voie de droite.	
	3	1 & 2	17	Passer à hauteur d'une entrée ou sortie d'autoroute.
			18	Dépassement automatisé d'un poids-lourd.
			19	<i>Cut-in</i> (queue de poisson) et <i>short cut-in</i> (queue de poisson serrée).
		1	20	Passer sur un <i>lane-split</i> ou <i>lane-merge</i> en conduite automatisée.
		2	21	Passer à côté d'un véhicule arrêté sur la bande d'arrêt d'urgence.
22			Se faire dépasser par un poids-lourd.	
C	5	1 & 2	23	Circulation dense et chaotique avec insertions intempestives devant le véhicule automatisé.
			24	Véhicule d'intervention (police, pompiers, ambulance, etc.) qui souhaite passer.
		1	25	Véhicule arrêté sur la bande d'arrêt d'urgence qui dépasse sur la voie ou obstacles sur la route gênant le passage du véhicule automatisé.
D	4	1 & 2	26	Météo défavorable (fort brouillard, forte pluie, neige, grêle, etc.).
			27	Zone de travaux.
			28	Éblouissement ou défaillance d'un capteur ou d'une caméra.
		1	29	Lignes blanches effacées.
	6	1 & 2	30	Désactiver proche du véhicule précédent ou du véhicule suivant.
			31	Désactiver à hauteur d'une entrée ou d'une sortie d'autoroute.
		1	32	Désactiver involontairement la conduite automatisée.
		2	33	Désactiver la conduite automatisée dans un virage.
34	Désactiver la conduite automatisée à côté d'un poids-lourd.			

Tableau 22 : Liste complète des situations sensibles spécifiques à la conduite automatisée identifiées lors des études réalisées auprès des pilotes experts et des conducteurs « lambda » novices en conduite automatisée.

Légende :

- Classe A : situations d'activation de la conduite automatisée ; Classe B : situations gérées par la conduite automatisée ; Classe C : situations ambiguës de la conduite automatisée ; Classe D : situations de désactivation de la conduite automatisée.
- Catégorie 1 : situations pouvant gêner ou surprendre le conducteur lors de l'activation de la conduite automatisée ; Catégorie 2 : situations liées au fonctionnement nominal du système mais pouvant surprendre ou gêner le conducteur ; Catégorie 3 : situations liées au fonctionnement nominal du système mais critiques pour le conducteur car perçues comme potentiellement dangereuses ; Catégorie 4 : situations liées aux limites de la conduite automatisée connues par le système, pouvant surprendre ou gêner le conducteur car entraînant une demande de reprise en main rapide ; Catégorie 5 : situations liées aux limites de la conduite automatisée non reconnues par le système et critiques pour le conducteur car perçues comme potentiellement dangereuses ; Catégorie 6 : situations pouvant gêner ou surprendre le conducteur lors de la désactivation de la conduite automatisée.
- Étude 1 : Analyse d'activité et recueil des connaissances de pilotes experts en conduite automatisée ; Étude 2 : Analyse d'activité et recueil des besoins de conducteurs « lambda » novices en conduite automatisée.

Les analyses cliniques que nous avons réalisées ont révélé les transformations requises dans l'activité du sujet pour s'adapter à chacune des situations. Ces résultats ont été la base de la classification que nous avons effectuée. Nous avons ensuite mis en évidence des patterns correspondant : 1) aux adaptations potentiellement opérées par les pilotes experts au cours de leur expérience en conduite automatisée, et 2) aux adaptations potentiellement en cours chez les conducteurs novices dans cette nouvelle activité. Pour les pilotes experts, nous avons identifié des traces d'instrumentations passées des sujets (par assimilation, accommodation ou inhibition de schèmes de la conduite traditionnelle), ainsi que des instrumentations d'artefacts présents dans le véhicule (tableau de bord, bouton, pédales et volant). Pour les conducteurs novices, ce sont plutôt des erreurs, des ratés et des échecs, indicateurs de genèses instrumentales en courts (par exemple, un raté peut être le résultat d'un processus d'assimilation qui échoue), qui nous ont permis d'émettre l'hypothèse d'une amorce d'instrumentation des sujets et d'instrumentalisation de certains artefacts. Bien que des différences existent, nos deux populations nous conduisent à identifier les mêmes catégories de situations sensibles et des stratégies d'adaptation similaires. Ci-dessous, nous présentons des matrices qui résument les caractéristiques communes identifiées dans la tâche réelle recomposée et l'activité de nos deux populations pour chaque classe de situations sensibles de la conduite automatisée.

Pour la **Classe A** : Figure 59

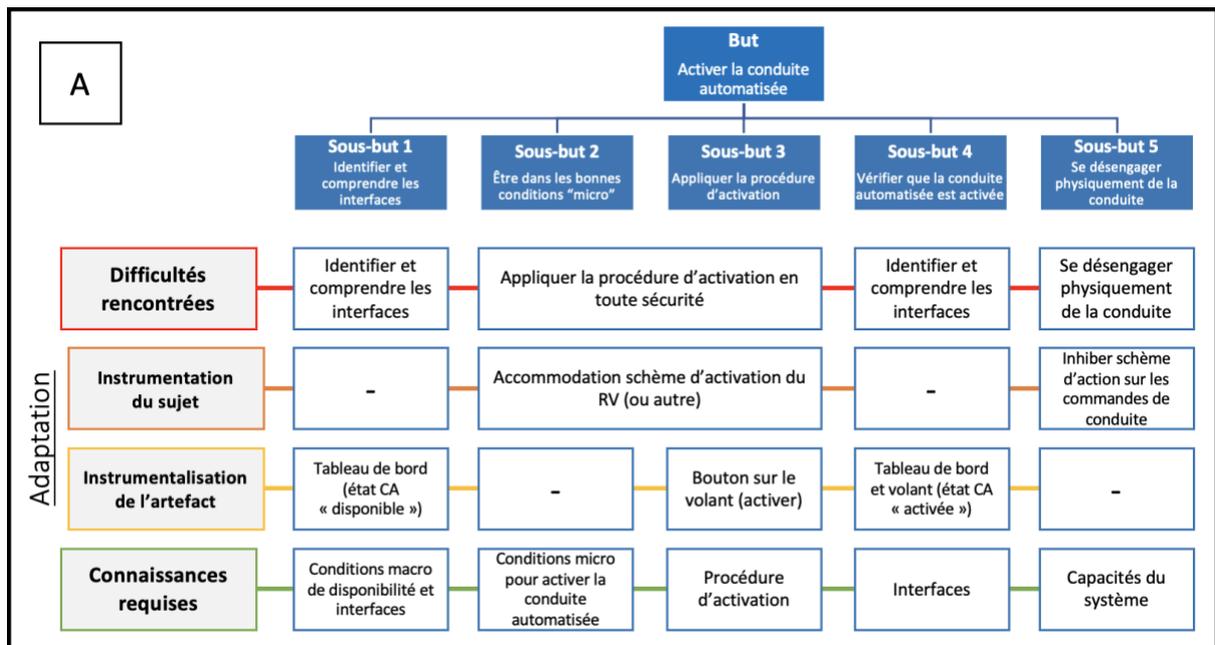


Figure 59 : Matrice des caractéristiques communes aux situations de la Classe A.

Pour la **Classe B** : Figure 60

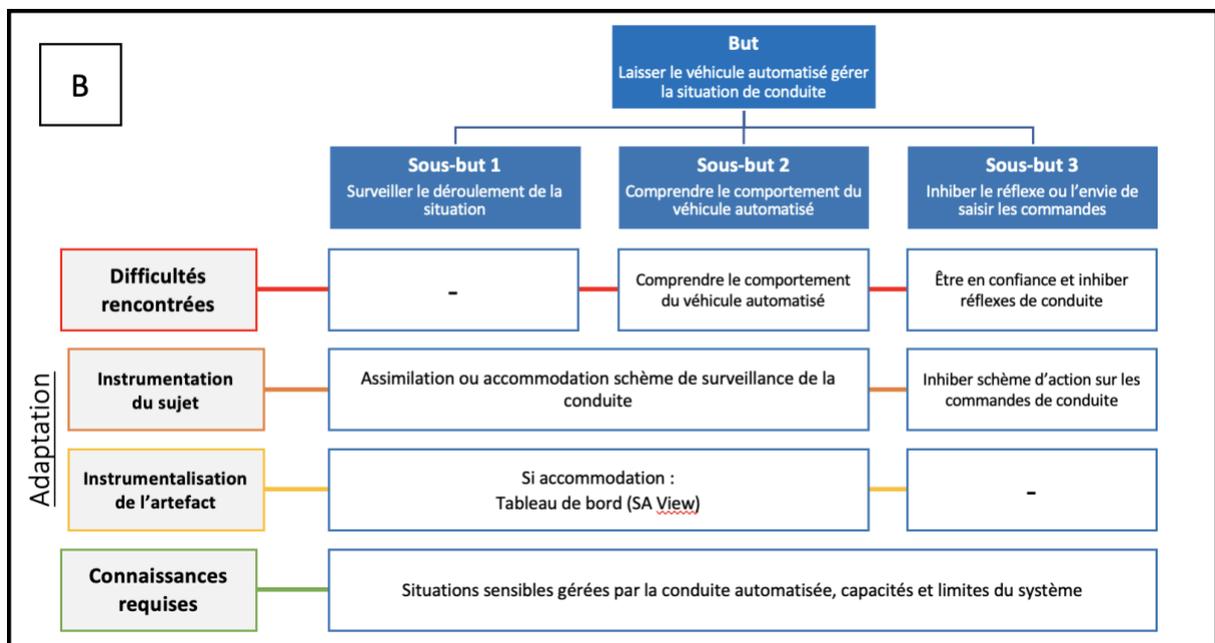


Figure 60 : Matrice des caractéristiques communes aux situations de la Classe B.

Pour la **Classe C** : Figure 61

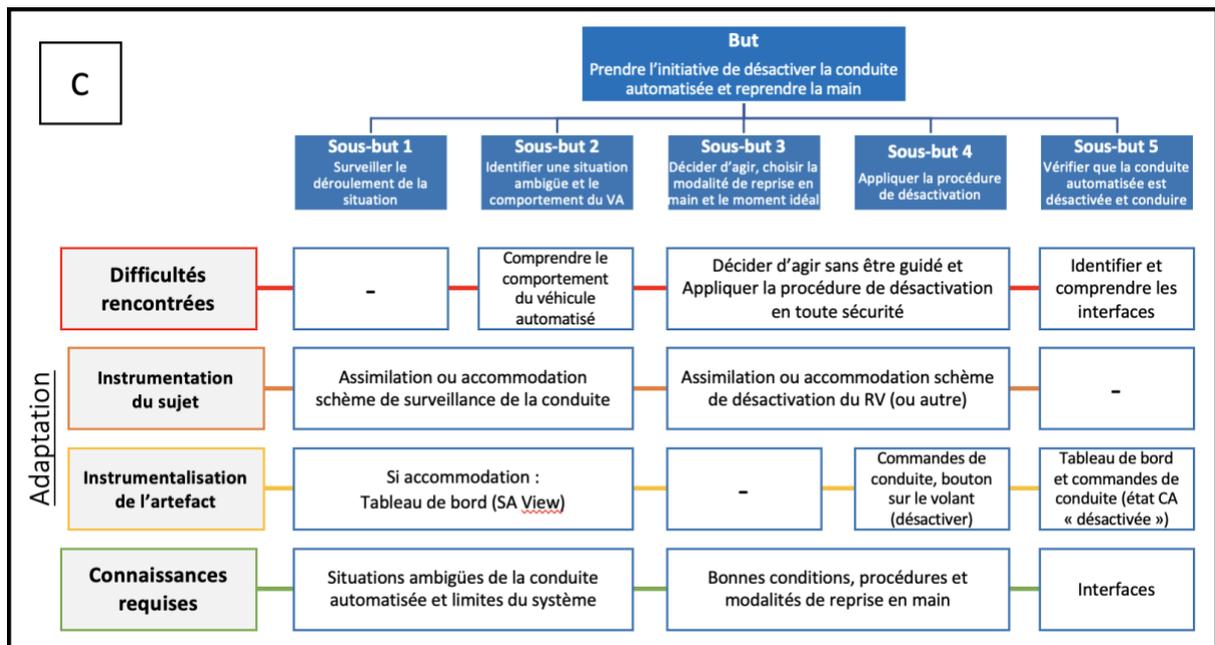


Figure 61 : Matrice des caractéristiques communes aux situations de la Classe C.

Et pour la **Classe D** : Figure 62

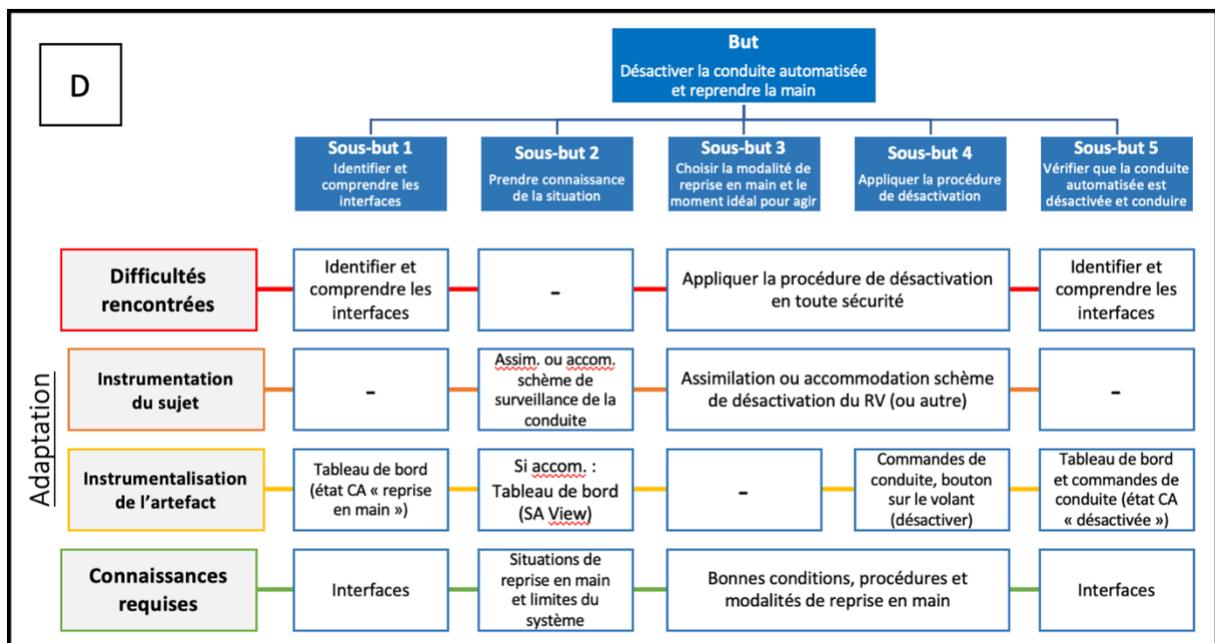


Figure 62 : Matrice de caractéristiques communes aux situations de la Classe D.

Ces résultats sont complétés par quatre conseils et recommandations que nous avons retenus pour intégrer le contenu pédagogique concernant la gestion des situations sensibles de la conduite automatisée (Tableau 23).

Catégories	Études	Conseils et recommandations
A : Avant la conduite automatisée	1	Connaître les situations sensibles de la conduite automatisée.
C : Attitude à adopter en conduite automatisée	1	Porter son attention vers l'avant à basse vitesse et vers l'arrière à haute vitesse.
D : Bien désactiver la conduite automatisée	1	Connaître les situations de conduite provoquant des demandes de reprise en main rapide (10 secondes).
	1 & 2	Connaître les différentes modalités de reprise en main et connaître la plus adaptée pour chaque situation.

Tableau 23 : Conseils et recommandations retenus pour une bonne gestion des situations sensibles de la conduite automatisée.

Légende : Étude 1 : Analyse d'activité et recueil des connaissances de pilotes experts en conduite automatisée ; Étude 2 : Analyse d'activité et recueil des besoins de conducteurs « lambda » novices en conduite automatisée.

Nous pensons qu'il est pertinent d'utiliser ces résultats comme sources de connaissances sur les situations sensibles à transmettre aux futurs conducteurs de véhicules automatisés. Le contenu pédagogique concernant ce champ d'apprentissage devrait se baser sur les caractéristiques communes de chacune de ces classes de situations afin d'aider les futurs utilisateurs de ces systèmes à élaborer des connaissances opérationnelles et développer des schèmes réutilisables pour l'ensemble des situations d'une même classe. Ainsi, nous pensons pouvoir contribuer à faciliter la prise en main du véhicule automatisé. Dans l'outil didactique que nous avons conçu, nous avons par exemple été attentif à ne présenter que quelques exemples de situations sensibles par classe. L'objectif étant ainsi d'éviter à l'apprenant de devoir prendre connaissance de la liste complète des situations sensibles spécifiques à la conduite automatisée.

Chapitre 10 : « AUTO-DIDACT' », un didacticiel embarqué pour accompagner l'apprentissage de la conduite automatisée

« AUTO-DIDACT' » est un didacticiel destiné à être utilisé par les futurs conducteurs de véhicules automatisés lorsqu'ils seront assis au volant de leur véhicule, avant ou pendant les premiers trajets. Nous avons identifié trois situations potentielles d'usage :

- Au moment de la récupération du véhicule en concession, « AUTO-DIDACT' » pourrait être une aide pour le « metteur en main » qui a pour mission de fournir un minimum d'informations au conducteur.
- Avant les premiers trajets, à l'arrêt sur un parking ou dans un garage, le conducteur pourrait se préparer à utiliser le véhicule automatisé en consultant le didacticiel et en s'entraînant dans un environnement sécurisé.
- Pendant les premiers trajets lorsque la conduite automatisée sera activée, mais également après les premiers trajets, le conducteur pourra réutiliser le didacticiel pour approfondir son apprentissage en situation.

Dans ce chapitre nous présentons le résultat de la conception du didacticiel embarqué « AUTO-DIDACT' », qui a été conçu en deux phases. La première a concerné l'élaboration du contenu pédagogique à transmettre aux futurs conducteurs à partir de l'identification des besoins en apprentissage de ces derniers ; il s'agit des résultats de la conception du sous-système d'artefacts secondaires. La deuxième phase a porté sur la conception du dispositif en tant qu'environnement informatique pour l'apprentissage humain (EIAH), constitué de systèmes d'artefacts à plusieurs niveaux, orchestrés de manière à favoriser la genèse instrumentale des conducteurs de véhicules automatisés en présentant le contenu pédagogique de différentes façons. Il s'agit des résultats de la conception du sous-système (a priori) pivot d'artefacts didactiques (le didacticiel « AUTO-DIDACT' » à proprement parler). La Figure 63 rappelle le modèle de conception sur lequel nous nous sommes appuyés et que nous avons élaboré spécifiquement pour les besoins propres à la conception de ce didacticiel embarqué.

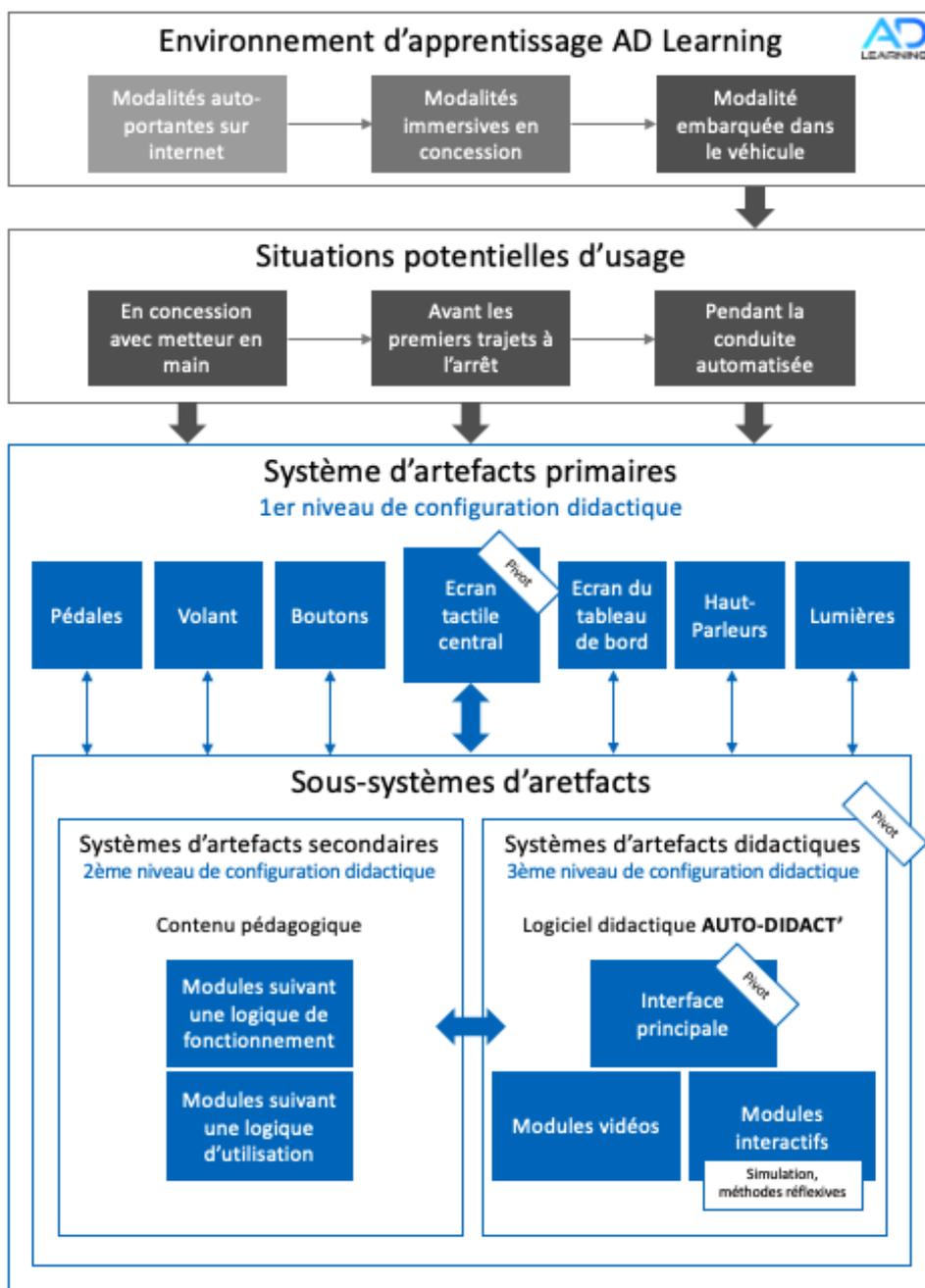


Figure 63 : Rappel du modèle de conception pour l'apprentissage médiatisé en situation élaboré dans cette thèse.

10.1. Définition du contenu pédagogique à intégrer dans le didacticiel et configuration didactique de 2^{ème} niveau

Les sections suivantes présentent le contenu pédagogique que nous avons intégré dans le didacticiel en fonction des trois champs d'apprentissage interconnectés que nous avons identifiés dans le chapitre précédent : (1) expliquer le fonctionnement du véhicule automatisé, (2) initier aux procédures d'activation et de désactivation de la conduite automatisée, et (3)

guider la gestion des situations sensibles de la conduite automatisée. La logique de présentation du contenu pédagogique de chacun de ces champs d'apprentissage est soit de type « logique de fonctionnement », soit de type « logique d'utilisation ». La première pourrait guider l'instrumentalisation de l'artefact en aidant l'apprenant à lui attribuer de nouvelles fonctions (registre épistémique), alors que la deuxième tendrait à guider l'instrumentation de l'apprenant en favorisant la transformation de ses schèmes (registre pragmatique).

Pour chaque item du contenu pédagogique présenté dans les sections suivantes, nous précisons sa localisation dans le didacticiel, en faisant référence aux modules présentés dans la section 10.2. Présentation du didacticiel embarqué « AUTO-DIDACT' » de ce chapitre.

10.1.1. Expliquer le fonctionnement du véhicule automatisé

Cette partie du contenu pédagogique suit une logique de fonctionnement (Richard, 1983), c'est-à-dire que les connaissances partagées sont décorrélées de l'usage de l'artefact et permettent l'élaboration d'une représentation technique de ce dernier. Il s'agit alors de décrire le système en tant qu'objet technique, ses conditions d'utilisation (ou domaine d'usage), et l'effet des commandes ainsi que des éventuels changements d'état. Les connaissances partagées font le lien entre ces descriptions pour permettre à l'apprenant d'élaborer une représentation du fonctionnement de l'artefact. De cette façon, nous pensons pouvoir guider l'apprenant à lui attribuer de nouvelles fonctions. Ce champ d'apprentissage concerne toutes les classes de situations de la conduite automatisée (A, B, C et D).

Sur la base des conseils et recommandations retenus pour ce champ d'apprentissage (Tableau 20), dans cette section nous présentons dans un premier temps le contenu pédagogique associé à la description du système de conduite automatisée et aux conditions d'utilisation de ce dernier. Dans un second temps, nous présentons les commandes permettant au conducteur d'agir, ainsi que son rôle, en fonction des différents états du système.

10.1.1.1. Description du système et conditions d'utilisation

Le contenu pédagogique inhérent à la description du système et à ses conditions d'utilisation se décompose en quatre grands thèmes :

Thème 1 : Définition de ce qu'est un véhicule automatisé

- Véhicule équipé d'un système de pilotage automatique qui gère la conduite sans intervention humaine selon certaines conditions (Guide interactif).

- Système de niveau 3 SAE (Présentation générale, Guide interactif).
- Comparaison du niveau 3 SAE avec les niveaux 1 et 2 SAE (Guide interactif).

Thème 2 : Technologies régissant le fonctionnement du véhicule automatisé

- Capteurs laser (lidar), radars et caméras pour modéliser l'environnement de conduite en trois dimensions et identifier les éléments qui le composent (Guide interactif).
- GPS pour se guider tout en respectant les règles de circulation : limitations, anticipation des zones de disponibilité et d'indisponibilité (Guide interactif).
- Traitement de l'information par un programme d'intelligence artificielle qui décide des manœuvres à effectuer en agissant sur des servocommandes contrôlant les principales fonctions du véhicule : direction, freinage, accélération, clignotants, etc. (Guide interactif).

Thème 3 : Conditions d'utilisation (domaine d'usage)

- Conditions de disponibilité de la conduite automatisée : autoroute, météo convenable, chaussée en bon état (Présentation générale, Guide interactif).
- Conditions d'indisponibilité de la conduite automatisée : fin de zone compatible, zone de travaux, météo défavorable, chaussée en mauvaise état (Présentation générale, Guide interactif) :
 - Fin d'autoroute, péages, échangeurs (Guide interactif).
 - Infrastructures dégradées, caméra et/ou capteur défaillant (Guide interactif).

Thème 4 : Style de conduite du véhicule automatisé (capacités et limites du système)

- Le véhicule automatisé adapte sa vitesse en fonction du trafic et des limitations, il reste toujours centré dans sa voie mais peut effectuer des changements de voie automatisés (Présentation générale, Guide interactif).
- Le véhicule automatisé régule sa vitesse en fonction du véhicule précédent, de la limitation réglementaire, et il respecte scrupuleusement les distances de sécurité (Présentation générale, Guide interactif) :
 - Dans un virage trop serré le véhicule peut potentiellement perdre sa cible (Guide interactif).
 - La vitesse de la conduite automatisée est bridée à 110km/h (Guide interactif).
 - Le véhicule respecte un intervalle de deux secondes avec le véhicule précédent pour garder la distance de sécurité (Guide interactif).
- Le véhicule automatisé garde systématiquement une position centrale dans la voie (Présentation générale).

- Le véhicule automatisé détecte un véhicule au moment où il franchit la ligne, il n'anticipe pas les véhicules arrivant des voies d'à côté (Présentation générale, Guide interactif).
- Le véhicule automatisé détecte uniquement le freinage du véhicule précédent, il n'anticipe pas le freinage des véhicules plus loin (Présentation générale, Guide interactif).

10.1.1.2. États du système, commandes et rôle du conducteur

Dans cette sous-section nous présentons le contenu pédagogique relatif aux quatre états possibles du système, auxquels nous avons associé les différents rôles du conducteur, ainsi que les commandes lui permettant d'interagir avec le système selon ces états.

État 1 : Conduite automatisée désactivée

- Conduite manuelle : le conducteur est responsable de la conduite et maître du véhicule (Guide interactif).
- Présentation des interfaces du véhicule lorsque la conduite automatisée est désactivée (Guide interactif).

État 2 : Conduite automatisée disponible

- Le conducteur a la possibilité d'activer ou non la conduite automatisée (Guide interactif, Situations types).
- Le conducteur doit appuyer simultanément sur les deux boutons situés sur le volant pour activer la conduite automatisée (Présentation générale, Guide interactif, Situations types).
- Présentation des interfaces du véhicule lorsque la conduite automatisée est disponible (Présentation générale, Guide interactif).
- Les interfaces, le ressenti dans le volant et la dynamique du véhicule changent à l'activation de la conduite automatisée (Guide interactif).

État 3 : Conduite automatisée activée

- Le conducteur a la possibilité de vaquer à d'autres occupations tout en restant réceptif aux alertes et apte à intervenir (Guide interactif).
- Le conducteur a la possibilité de se désengager de la conduite dès lors que le mode automatisé est activé (Guide interactif).
- Le conducteur a la possibilité de désactiver la conduite automatisée et de reprendre la main à tout moment (Présentation générale, Guide interactif, Situations types).
- Le conducteur ne doit pas dormir (Présentation générale, Guide interactif).
- Le conducteur ne doit pas obstruer sa vue (Présentation générale, Guide interactif).

- Le conducteur ne doit pas obstruer son ouïe (Présentation générale, Guide interactif).
- Le conducteur ne doit pas porter d'objets encombrant (Présentation générale, Guide interactif).
- Le conducteur doit garder une posture compatible avec la conduite et être en mesure d'atteindre les commandes à tout moment (Présentation générale, Guide interactif).
- Le conducteur doit rester à la place du conducteur (Présentation générale, Guide interactif).
- Le conducteur doit garder sa ceinture de sécurité (Présentation générale, Guide interactif).
- Le conducteur reste responsable et maître de son véhicule en toutes circonstances (Guide interactif).
- Présentation des interfaces du véhicule lorsque la conduite automatisée est activée (Présentation générale, Guide interactif).

État 4 : Reprise en main (à l'initiative du véhicule ou du conducteur)

- Demande de reprise en main dite anticipée en 60 secondes (Présentation générale, Guide interactif) :
 - Exemples de cas de reprise en main anticipée : fin d'autoroute, péages, échangeurs (Guide interactif).
 - Présentation des interfaces du véhicule lors d'une demande de reprise en main anticipée (Présentation générale, Guide interactif).
- Demande de reprise en main rapide en 10 secondes (Présentation générale, Guide interactif) :
 - Infrastructures dégradées, zone de travaux, météo défavorable, caméra et/ou capteur défaillant (Guide interactif).
 - Présentation des interfaces du véhicule lors d'une demande de reprise en main rapide (Présentation générale, Guide interactif).
- Manœuvre de refuge automatique en cas de non désactivation lors d'une demande de reprise en main (Présentation générale, Guide interactif, Situations types) :
 - Ce que c'est : le véhicule change de voie jusqu'à la bande d'arrêt d'urgence si possible, il ralentit et s'arrête (Guide interactif, Situations types).
 - Comment se passe cette manœuvre : le véhicule active les *warnings* et alerte le conducteur via les interfaces (Situations types).
 - Comment le sait-on : présentation des interfaces du véhicule lors d'une manœuvre de refuge automatique (Guide interactif).
- Présentation de la procédure de désactivation de la conduite automatisée dans le temps imparti (Guide interactif) : le conducteur doit soit appuyer simultanément sur les deux

boutons situés sur le volant, soit appuyer sur l'accélérateur, soit appuyer sur le frein, soit tourner le volant pour désactiver la conduite automatisée (Présentation générale, Guide interactif, Situations types).

- Feedbacks de la désactivation de la conduite automatisée : les interfaces, le ressenti dans le volant et la dynamique du véhicule changent à la désactivation de la conduite automatisée (Guide interactif).

Autres :

- Le conducteur ne doit pas utiliser le véhicule automatisé sous l'emprise de substances pouvant altérer son état de conscience (Guide interactif).

10.1.2. Initier aux procédures d'activation et de désactivation de la conduite automatisée

A l'inverse de ce qui a été présenté dans la section précédente, ici le contenu pédagogique suit une logique d'utilisation (Richard, 1983). Ces connaissances visent à permettre à l'apprenant de se projeter dans l'usage de l'artefact et d'élaborer une représentation de ses interactions avec ce dernier. Autrement dit, l'élaboration d'une représentation de façon d'utiliser l'artefact devrait aider à transformer ses schèmes. Ici, nous parlons des schèmes permettant au conducteur d'activer ou de désactiver la fonction automatisée du véhicule en fonction des situations. Il ne s'agit pas seulement d'appuyer sur un bouton, mais d'être capable de réaliser une procédure spécifique permettant l'activation ou la désactivation de la conduite automatisée, dans des conditions de confort et de sécurité optimales, et qui soient adaptées aux caractéristiques de la situation de conduite. En effet, connaître l'ordre ou l'effet des commandes ne suffit pas à envisager le résultat d'une action qui soit équivalente à un sous-but dans l'activité du sujet. Afin de bien faire comprendre cela aux usagers, nous avons choisi d'intégrer dans le contenu pédagogique des exemples précis de situations relatives à l'activation et à la désactivation de la conduite automatisée (classes A et D), accompagnés des procédures à effectuer pour réaliser l'objet de l'activité.

A partir des conseils et recommandations des experts que nous avons retenus pour ce champ d'apprentissage (Tableau 21), nous avons construit le contenu pédagogique relatif à la procédure d'activation de la conduite automatisée (Annexe 14), ainsi que le contenu pédagogique relatif à la procédure de désactivation de la conduite automatisée (Annexe 15).

10.1.3. Guider la gestion des situations sensibles de la conduite automatisée

Toujours dans une logique d'utilisation, il s'agit maintenant de présenter les possibilités d'usage de l'artefact en fonction des situations d'usage de ce dernier, et des sous-buts à atteindre. Pour cela, nous avons d'abord dû définir les situations sensibles inhérentes à l'activité de conduite automatisée (Tableau 22). Pour chacune de ces situations sensibles, nous avons identifié les possibilités d'action, ainsi que les actions les plus pertinentes. Les relations et médiation en jeu ont ensuite permis d'identifier les buts et les sous-buts de ces actions chez les conducteurs, révélant ainsi des patterns d'invariants nous menant à quatre classification de situations : les situations d'activation de la conduite automatisée (Classe A), les situations gérées par la conduite automatisée (Classe B), les situations ambiguës de la conduite automatisée (Classe C), et les situations de désactivation de la conduite automatisée (Classe D).

Nous avons donc proposé des exemples de situations sensibles de la conduite automatisée pour chaque classe de situation, combinés avec des procédures pour atteindre le but de la tâche dans ces situations. Cette classification, faite à partir des invariants de l'activité des conducteurs de nos deux premières études, nous a permis d'émettre l'hypothèse que la présentation de quelques exemples seulement pour une classe de situations donnée, est suffisante pour permettre aux apprenants de généraliser les règles d'utilisation à l'ensemble des situations de cette même classe. Selon Meunier (2016a, p.3), « *L'apprentissage d'un dispositif doit donc s'appuyer sur une logique d'utilisation, mais à un niveau suffisamment général pour permettre l'adaptation à la variété de situations rencontrées et pas trop pour être encore applicable* ».

Sur la base de la liste des situations sensibles identifiées dans le chapitre précédent (Tableau 22), et des matrices des caractéristiques communes aux situations de chaque classe (Figure 59, Figure 60, Figure 61, et Figure 62), nous présentons dans cette section l'échantillon de situations sensibles retenues en exemples prototypiques de chaque classe de situations pour alimenter le contenu pédagogique.

10.1.3.1. Situations d'activation de la conduite automatisée (Classe A)

Les situations sensibles de la Classe A mentionnées dans le didacticiel sont les suivantes :

- **Activation nominale (exemple présenté dans le didacticiel)** : lorsque le véhicule informe de la disponibilité de la conduite automatisée le conducteur peut l'activer en appuyant simultanément sur les deux boutons situés sur le volant au moment le plus opportun selon son jugement (Situations types).

- **Activation dans un virage (exemple présenté dans le didacticiel) :** le conducteur doit attendre pour activer dans de meilleures conditions, sinon le véhicule peut effectuer un « ping-pong » en cherchant à se recentrer dans la voie, créant un inconfort ou un risque pour le conducteur et les passagers (Situations types).
- Activation à hauteur d'une voie d'insertion ou d'une sortie : le conducteur doit attendre pour activer dans de meilleures conditions, sinon cela peut créer un inconfort ou un risque pour lui et les passagers (situations types).
- Activation lors d'un ralentissement fort et soudain : le conducteur doit attendre pour activer dans de meilleures conditions, sinon cela peut créer un inconfort ou un risque pour lui et les passagers (Situations types).

10.1.3.2. Situations gérées par la conduite automatisée (Classe B)

Les situations sensibles mentionnées dans le didacticiel pour la Classe B sont les suivantes :

- **Embouteillage : exemple présenté dans le didacticiel** (Situations types).
- **Changement de voie automatisé : exemple présenté dans le didacticiel** (Situations types).
- **Dépassement automatisé d'un poids-lourd : exemple présenté dans le didacticiel** (Situations types).
- Passage à côté d'un poids-lourd (Guide interactif).
- Accélération (Situations types).
- Ralentissement (Situations types).
- Queue de poisson (Situations types).
- Passage à hauteur d'une voie d'insertion ou sortie (Situations types).

Nous présentons le détail de ces situations en Annexe 16 de ce document.

10.1.3.3. Situations ambiguës de la conduite automatisée (Classe C)

Pour les situations de la Classe C, une seule situation a été prise en exemple, les deux autres étant tout de même mentionnées dans le didacticiel :

- **Circulation chaotique (exemple présenté dans le didacticiel) :** le conducteur doit reprendre la main même si le véhicule ne le demande pas, sinon cela peut créer un risque de blocage de la circulation et d'inconfort du conducteur et des passagers (Situations types).

- Véhicule d'intervention : le conducteur doit reprendre la main même si le véhicule ne le demande pas, sinon cela peut créer un risque de blocage de la circulation et d'inconfort du conducteur et des passagers (Situations types).
- Obstacle bloquant la route : le conducteur doit reprendre la main même si le véhicule ne le demande pas, sinon cela peut créer un risque de blocage de la circulation et d'inconfort du conducteur et des passagers (Situations types).

10.1.3.4. Situations de désactivation de la conduite automatisée (Classe D)

Enfin, les situations mentionnées dans le didacticiel concernant la Classe D sont les suivantes :

- **Désactivation avec un véhicule proche derrière : exemple présenté dans le didacticiel** (Guide interactif, Situations types).
- **Désactivation pour cause de travaux : exemple présenté dans le didacticiel** (Situations types).
- Désactivation avec un véhicule proche devant ou lors d'un ralentissement du trafic (Guide interactif).
- Désactivation pour changer de voie ou éviter un obstacle (Guide interactif).
- Désactivation dans un virage (Guide interactif).
- Désactivation à hauteur d'une entrée ou d'une sortie d'autoroute (Guide interactif).
- **Manœuvre de refuge automatique : exemple présenté dans le didacticiel** (Situations types).

Nous présentons le détail de ces situations en Annexe 17 de ce document.

10.2. Présentation du didacticiel embarqué « AUTO-DIDACT' » et configuration didactique de 3^{ème} niveau

Le contenu pédagogique présenté dans les sections précédentes a été intégré dans le didacticiel sous différents formats. Ces formats correspondent à des modules que l'on peut qualifier d'artefacts pour l'apprentissage, et qui composent un ensemble cohérent et équilibré en termes de complémentarité et de redondance de fonctions. Dans cette section nous présentons chacun des modules constituant le didacticiel, ainsi que leurs rôles, ou intentions didactiques, dans la configuration didactique de 3^{ème} niveau de notre système d'artefacts.

10.2.1. L'interface principale : la page d'accueil (artefact pivot)

L'interface principale du didacticiel (Figure 64) constitue l'artefact pivot à partir duquel s'organisent tous les niveaux de systèmes d'artefacts que nous avons élaborés.

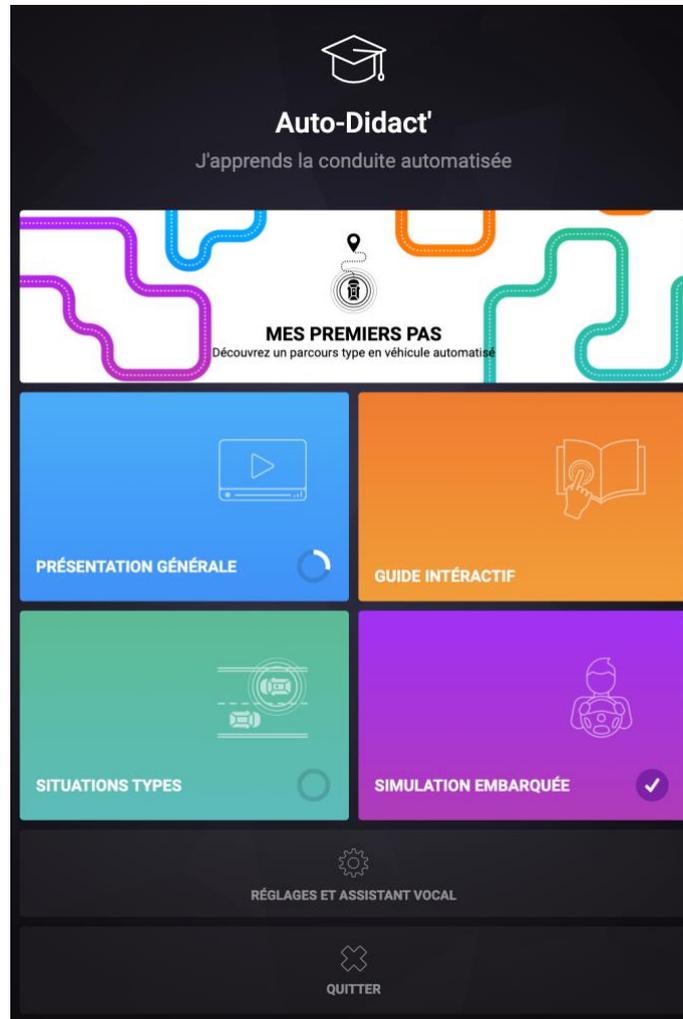


Figure 64 : Capture d'écran de la page d'accueil (interface principale) du didacticiel AUTO-DIDACT'.

Cette interface principale ou page d'accueil propose à l'apprenant l'accès aux différents modules dans un ordre logique (Tableau 24), tout en garantissant une certaine flexibilité et souplesse dans l'hypothèse que cela permettrait une meilleure appropriation du système. En effet, la maquette du logiciel a été conçue de telle façon que l'apprenant n'est pas obligé de suivre la logique de présentation pour explorer les différents modules, mais peut le faire dans l'ordre qu'il souhaite.

	Formats de présentation (Intention didactique)	
Logique d'exposition des connaissances	Modules vidéo (Apprenant spectateur)	Modules interactifs (Apprenant (pro)actif)
Logique de fonctionnement (majoritairement) Logique d'utilisation (secondaire)	« Présentation générale »	« Guide interactif »
Logique d'utilisation (uniquement)	« Situations types »	« Simulation embarquée »

Tableau 24 : Configuration didactique des modules composant le didacticiel AUTO-DIDACT'.

Dans ce tableau nous retrouvons les quatre modules, ou artefacts didactiques, proposant du contenu pédagogique. Les modules « Présentation générale » et « Guide interactif » exposent ce contenu principalement en suivant une logique de fonctionnement, fournissant un modèle de fonctionnement du véhicule automatisé, à partir duquel le conducteur peut élaborer sa représentation du fonctionnement. Certains items de connaissance de ces deux modules vont plus loin en exposant une logique d'utilisation permettant au conducteur d'élaborer des schèmes d'utilisation adaptés. C'est notamment le cas pour la présentation et l'explication des procédures d'activation et de désactivation de la conduite automatisée en tant qu'artefacts.

Les modules « Situations types » et « Simulation embarquée », quant à eux, exposent du contenu pédagogique uniquement selon une logique d'utilisation, en présentant des exemples concrets de situations d'usage du véhicule automatisé. Le module « Situations types » explique notamment comment identifier ces situations, quelles décisions prendre en fonction des variables du contexte, et quelles actions effectuer pour réaliser l'objet de l'activité dans ces situations. Le module « Simulation embarquée » permet au conducteur de s'entraîner à la gestion de ces situations en reproduisant les gestes exacts de la conduite et en interagissant avec les commandes du véhicule (à l'arrêt) selon un scénario de conduite projeté dans le tableau de bord. En apportant des feedbacks, ou rétroactions immédiates (par exemple un message expliquant que le conducteur n'a pas repris la main dans le temps imparti et les conséquences que cela peut avoir), ce module de simulation embarquée permet a priori au conducteur de comprendre ses erreurs, de les corriger, et de développer ses méta-connaissances.

Les modules « Présentation générale » et « Situations types » proposent des vidéos pédagogiques pour présenter le contenu de connaissances. Le conducteur est donc spectateur et la communication médiatisée ne se fait que dans un sens, du didacticiel vers l'apprenant qui reste engagé cognitivement dans l'apprentissage. Les modules « Guide

interactif » et « Simulation embarquée » sont, quant à eux, interactifs et permettent à l'apprenant d'être engagé à la fois cognitivement et physiquement, favorisant ainsi l'apprentissage. La communication médiatisée est à double sens entre le didacticiel et le conducteur. Ces deux modules proposent également des méthodes réflexives d'auto-analyse aidant le conducteur à développer ses méta-connaissances (par exemple un quizz permettant de tester ses connaissances avec des explications concernant les réponses). De plus, chacun de ces modules comporte une jauge permettant à l'apprenant de suivre sa progression dans l'exploration du didacticiel (Figure 64, cercle en bas à droite du module « Présentation générale »). Lorsque que le conducteur a visualisé tout le contenu pédagogique d'un module, cette jauge se transforme en une « coche » de validation, comme nous pouvons le voir pour le module « Simulation embarqué » dans la Figure 64.

En plus des quatre modules présentés ci-dessus, l'interface de la page d'accueil comprend un cinquième module appelé « Mes premiers pas » (Figure 64, pavé blanc en haut), qui ne présente pas directement du contenu pédagogique, mais qui sert d'artefact pivot secondaire pour guider l'apprenant dans l'exploration du didacticiel.

Enfin, une section « Réglages et assistant vocal » (Figure 64, tout en bas) permettait aux utilisateurs de modifier les paramètres de leur profil, de remettre les jauges à zéro (dans le cas d'un changement de conducteur par exemple), et de régler les paramètres d'un assistant vocal que nous souhaitions développer initialement, mais qui était trop ambitieux à réaliser en plus des objectifs de recherche de la thèse.

10.2.2. Le module « Mes premiers pas »

Le module « Mes premiers pas » (Figure 65) peut être considéré comme un artefact pivot secondaire car il permet de guider l'apprenant dans son exploration du contenu pédagogique présent dans les autres modules du didacticiel. Son interface comprend une infographie interactive représentant un parcours d'utilisation type en véhicule automatisé, mettant l'accent sur des situations ou des événements que le conducteur doit absolument connaître et savoir gérer. L'utilisateur peut cliquer sur ces situations ou événements pour accéder à des raccourcis (un raccourci par module) menant directement au contenu pédagogique associé dans les autres modules.

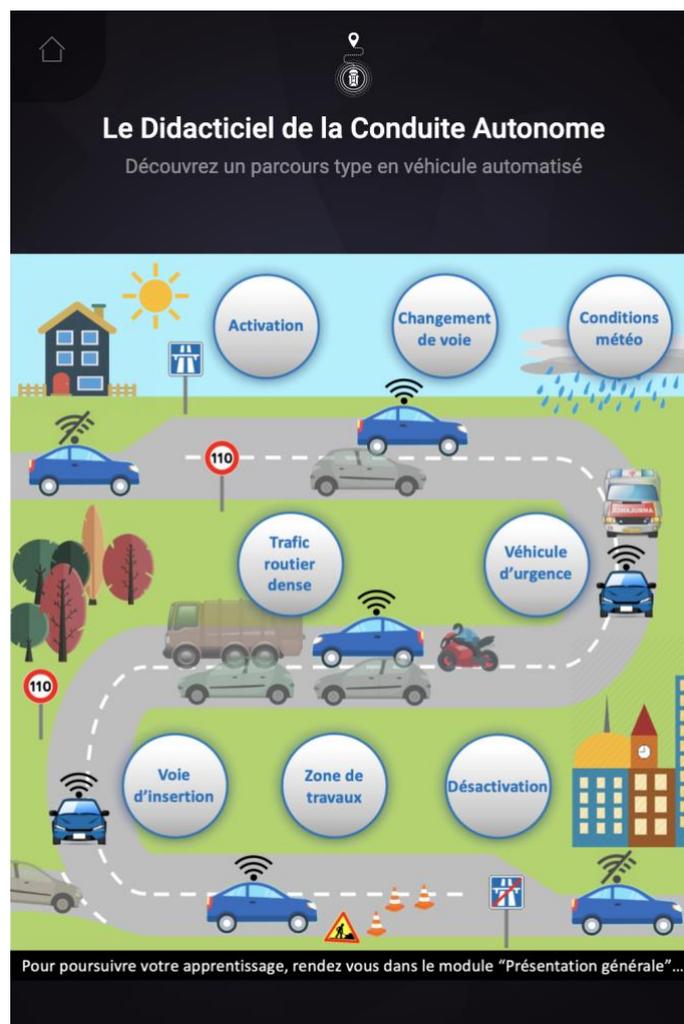


Figure 65 : Capture d'écran du module "Mes premiers pas" du didacticiel AUTO-DIDACT'.

10.2.3. Le module vidéo « Présentation générale »

Le module « Présentation générale » (Figure 66) est une vidéo pédagogique augmentée car elle interagit avec certains éléments de l'habitacle comme les lumières et les boutons d'activation / désactivation de la conduite automatisée. Cette vidéo dure 3 minutes et 35 secondes, et elle est découpée en six parties dont une séquence d'introduction (15 secondes) présentant le plan de la vidéo, et cinq chapitres présentant des items de connaissances différents :

- Chapitre 1 : Description générale du système (20 secondes).
- Chapitre 2 : Activer la conduite automatisée (30 secondes).
- Chapitre 3 : Désactiver la conduite automatisée (1 minute 15 secondes).
- Chapitre 4 : Le style de conduite du véhicule automatisé (55 secondes).
- Chapitre 5 : Sécurité et réglementation (20 secondes).

Des « coches » permettent à l'apprenant de suivre sa progression dans le visionnage de la vidéo.

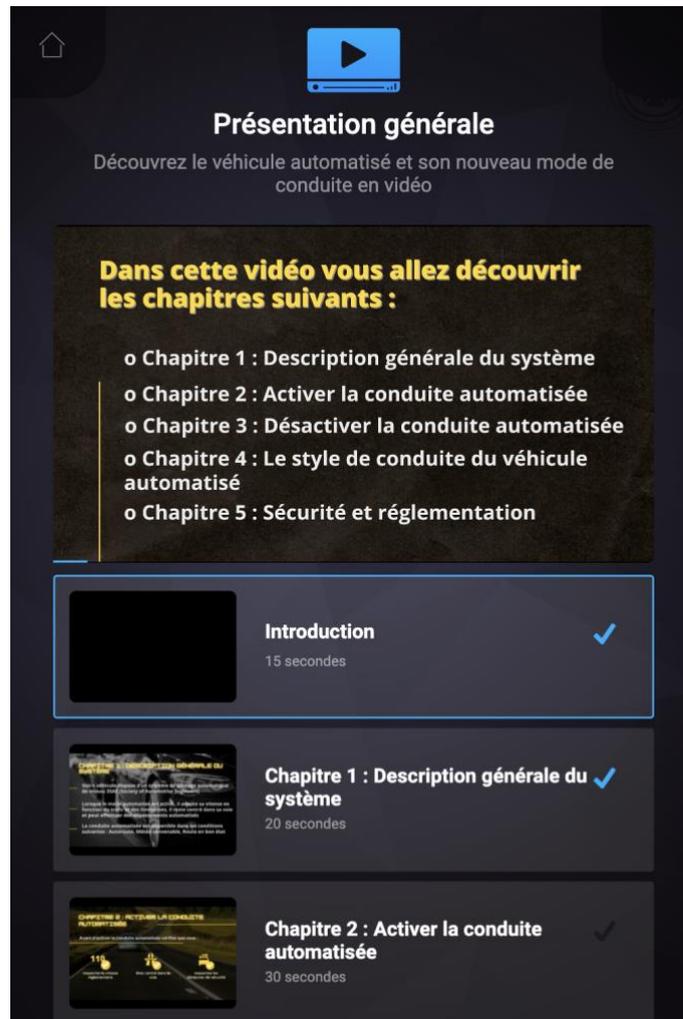


Figure 66 : Capture d'écran du module "Présentation générale" du didacticiel AUTO-DIDACT'.

Ce module permet des interactions audiovisuelles (vidéo) et tactiles (navigation) en mobilisant l'écran central pour afficher l'interface et la vidéo, l'écran du tableau de bord pour afficher la vidéo directement en face du conducteur, les lumières de l'habitacle pour montrer leurs comportements en fonction du contexte et pour montrer les boutons d'activation / désactivation, et les haut-parleurs pour diffuser le son de la vidéo.

10.2.4. Le module « Guide interactif »

Le module « Guide interactif » (Figure 67) comporte un ensemble d'infographies interactives réparties en six chapitres et un « Mini-quizz ». Dans ces infographies, l'apprenant est incité à cliquer sur des éléments pour accéder à des informations détaillées. Chaque chapitre est

consacré à un thème, faisant écho aux chapitres du module « Présentation générale ». Les titres des différents chapitres sont les suivants :

- Chapitre 1 : Description générale du système (une page).
- Chapitre 2 : Activer la conduite automatisée (une page).
- Chapitre 3 : Désactiver la conduite automatisée (une page).
- Chapitre 4 : Les interfaces de la conduite automatisée (six pages).
- Chapitre 5 : Le style de conduite du véhicule automatisé (une page).
- Chapitre 6 : Sécurité et réglementation (deux pages).
- Mini-quizz (trois pages).

Le chapitre 4 (Figure 67) de ce module est particulier en ce sens qu'il représente l'habitacle du véhicule automatisé et permet à l'apprenant d'interagir avec les commandes virtuelles de celui-ci pour en constater les transformations sur les différents états du système et leurs interfaces (conduite manuelle, conduite automatisée disponible, conduite automatisée activée, demande de reprise en main anticipée, demande de reprise en main rapide, et manœuvre de refuge automatique). On peut donc le considérer comme une simulation très minimaliste reproduisant les interactions possibles du conducteur en fonction de l'état du système.



Figure 67 : Capture d'écran de la page 2 du chapitre 4 du module "Guide interactif" du didacticiel AUTO-DIDACT'.

Enfin, le Mini-quizz (Figure 68) est constitué de trois questionnaires de difficulté croissante présentés sur trois pages différentes. Chaque page propose à l'apprenant cinq questions à choix multiple avec quatre ou cinq propositions de réponse pour chaque question. Lorsque l'utilisateur clique sur une réponse, si elle est juste, alors un message s'affiche félicitant l'apprenant et lui proposant d'approfondir ses connaissances sur le thème concerné par la question, en lui indiquant dans quel(s) module(s) et dans quel(s) chapitre(s) retrouver ces informations. Si la réponse est fautive, un message indique à l'apprenant qu'il s'est trompé, en lui indiquant où est-ce qu'il peut chercher l'information lui permettant de trouver la bonne réponse.



Figure 68 : Capture d'écran de la page 2 du Mini-quiz du module "Guide interactif" du didacticiel AUTO-DIDACT'.

Ce module permet des interactions visuelles et tactiles en mobilisant l'écran central pour afficher l'interface et les infographies interactives.

10.2.5. Le module vidéo « Situations types »

Le module « Situations types » (Figure 69) propose au conducteur quatre vidéos correspondant aux quatre classes de situations identifiées dans nos études :

- Classe A : Les situations d'activation de la conduite automatisée (1 minute 52 secondes).
- Classe B : Les situations gérées par la conduite automatisée (2 minutes 10 secondes).
- Classe C : Les situations ambiguës de la conduite automatisée (1 minute 10 secondes).
- Classe D : Les situations de désactivation de la conduite automatisée (2 minutes 29 secondes).

Pour chaque classe de situations, la vidéo présente deux exemples de situations gérées par un conducteur, de façons différentes. L'objectif est de permettre à l'apprenant de comprendre qu'il existe plusieurs façons de faire, en visionnant des exemples de possibilités d'action dans ces situations, et ainsi de mieux comprendre l'objet de l'activité. Comme pour la vidéo du module « Présentation générale », un système de coches permet à l'apprenant de suivre la progression du visionnage de chaque vidéo de ce module.

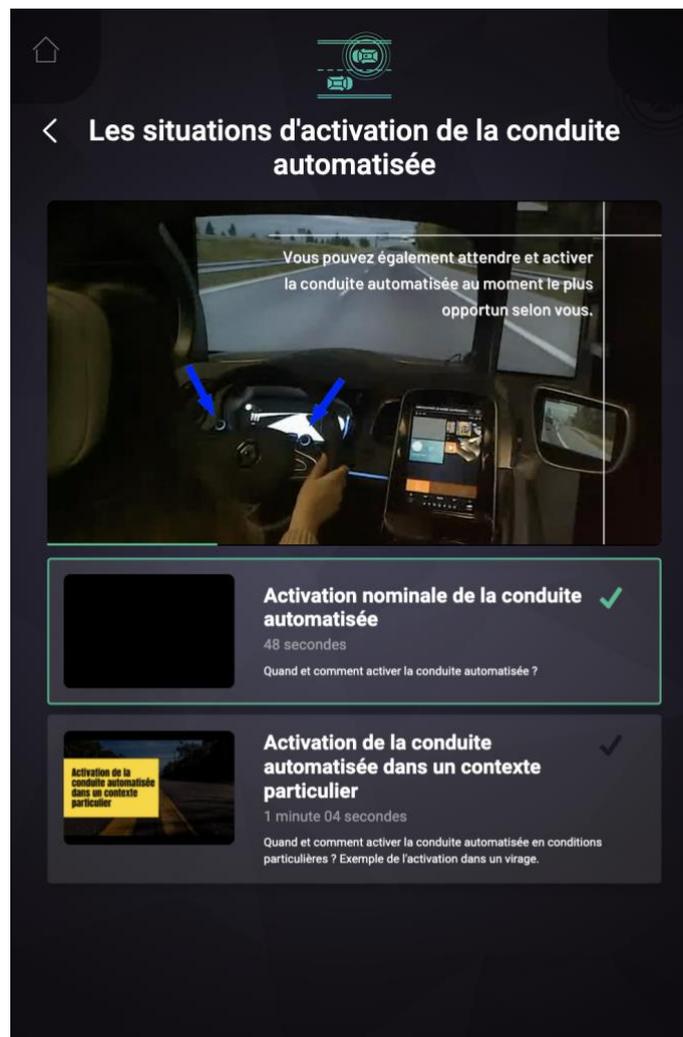


Figure 69 : Capture d'écran du module "Situations types" (Classe A) du didacticiel AUTO-DIDACT'.

Ce module permet des interactions audiovisuelles (vidéos) et tactiles (navigation) en mobilisant l'écran central pour afficher l'interface et les vidéos, l'écran du tableau de bord pour afficher les vidéos directement en face du conducteur, et les haut-parleurs pour diffuser le son des vidéos.

10.2.6. Le module « Simulation embarquée »

Le module simulation embarquée propose quatre scénarios de conduite automatisée de difficulté croissante. Chaque scénario est composé de plusieurs situations sensibles que l'on a transposées de façon à rendre compte des buts et sous-butts du conducteur, ainsi que des difficultés pour les atteindre :

- **Scénario 1 (débutant)** : le début du scénario est en mode manuel, puis le mode automatisé est disponible dans un virage, et enfin le conducteur doit faire face à une situation de « *lane-split* » (division de la voie) en conduite automatisée.
- **Scénario 2 (intermédiaire)** : le début du scénario est en mode manuel, puis le mode automatisé est disponible à hauteur d'une voie d'insertion. Pendant la conduite automatisée, des motards remontent la file, et enfin le conducteur doit faire face à une demande de reprise en main rapide pour cause de travaux, avec une réactivation possible après les travaux.
- **Scénario 3 (confirmé)** : le début du scénario est en conduite automatisée, puis le conducteur doit faire face à un ralentissement fort et soudain du trafic, ainsi qu'à un changement de voie automatisé accompagné d'un dépassement de poids-lourds. Enfin, le conducteur doit répondre à une demande de reprise en main rapide pour cause de travaux, avec une réactivation possible après les travaux.
- **Scénario 4 (confirmé)** : le début du scénario est en conduite automatisée, puis le conducteur doit faire face à un « cut-in » (queue de poisson) d'un véhicule venant d'une voie d'insertion. Enfin, le conducteur doit répondre à une demande de reprise en main anticipée avec un véhicule proche devant et un véhicule proche derrière.

Pour réaliser les scénarios de simulation, le conducteur doit être à l'arrêt dans un environnement sécurisé, et il doit utiliser les commandes réelles de son véhicule automatisé pour contrôler le véhicule simulé. La scène de conduite s'affiche sur l'écran du tableau de bord (Figure 70) en se fondant dans les interfaces de conduite automatisée réelles (SA View). Ce module permet donc à l'apprenant de s'entraîner en appliquant les connaissances qu'il a acquises via les autres modules du didacticiel. L'intention didactique est d'amorcer la transformation ou l'inhibition des schèmes de la conduite traditionnelle avant de se retrouver en situations réelles d'activité, dans lesquelles cette adaptation est plus compliquée (voire impossible) à opérer. De plus, à la fin de chaque scénario, un message explique à l'apprenant ses erreurs, ses réussites, et d'autres informations lui permettant de mieux gérer les situations qu'il a rencontré en simulation. Ces feedbacks sont nécessaires pour que l'apprenant

développe des méta-connaissances permettant d'identifier des points d'amélioration (manque de connaissances, défaut d'inhibition, etc.).

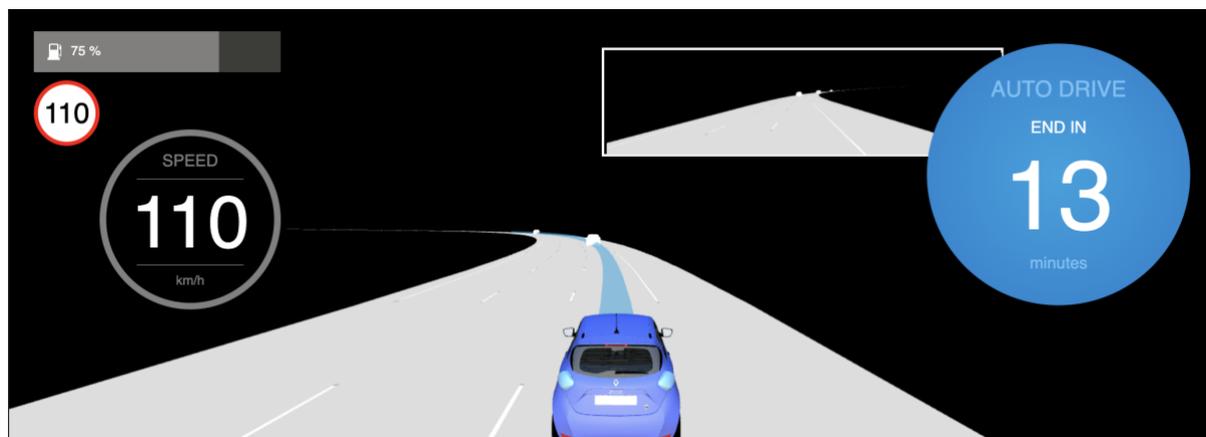


Figure 70 : Capture d'écran du tableau de bord affichant la simulation de conduite du module "Simulation embarquée" du didacticiel AUTO-DIDACT'.

Ce module permet des interactions audiovisuelles, tactiles et physiques, en mobilisant l'écran central pour afficher l'interface, l'écran du tableau de bord pour afficher la scène de conduite dans la SA View, les lumières de l'habitacle pour montrer leurs comportements en fonction du contexte, les haut-parleurs pour diffuser les interfaces sonores de la conduite automatisée, les boutons pour activer et désactiver la conduite automatisée, et les commandes de conduite (volant et pédales) pour gérer la conduite manuelle et pour désactiver la conduite automatisée.

10.3. Conclusion du chapitre : un didacticiel embarqué pivot d'une orchestration artefactuelles pour l'apprentissage d'une activité instrumentée

Pour concevoir notre dispositif d'apprentissage de la conduite automatisée, nous avons orchestré plusieurs niveaux de systèmes d'artefacts. Le sous-système d'artefacts a priori pivot correspond au logiciel didactique « AUTO-DIDACT' » qui sollicite, organise et mobilise un système d'artefacts primaires (1^{er} niveau de configuration didactique) composé de l'ensemble d'artefacts disponibles dans l'environnement d'apprentissage (habitacle du véhicule automatisé). Le sous-système d'artefacts pivot mobilise également un autre sous-système composé d'artefacts (les modules du didacticiel) spécifiquement conçus pour le développement des apprenants (3^{ème} niveau de configuration didactique), dans lesquelles sont organisés les connaissances à transmettre (2^{ème} niveau de configuration didactique).

Le contenu pédagogique est ainsi présenté selon une logique de fonctionnement (dans les modules « Présentation générale » et « Guide interactif ») ou selon une logique d'utilisation (principalement dans les modules « Situations types » et « Simulation embarquée »). Un

parallèle a été fait avec le modèle GDE (Boccaro, 2011), afin de s'assurer d'intervenir a minima sur les deux premiers niveaux : la maîtrise du véhicule et la maîtrise des situations. Nous avons également prévu des simulations et des méthodes réflexives d'auto-analyse (module « Simulation embarquée » et « Guide interactif ») permettant a priori le développement des méta-connaissances de l'apprenant.

Notre dispositif didactique est donc un système entièrement pensé et conçu pour l'apprentissage en situation d'activité avec instrument, proposant trois situations potentielles d'usage : à la mise en main en concession, avant les premiers trajets à l'arrêt, et pendant la conduite automatisée. Il permet à l'utilisateur d'apprendre le fonctionnement de l'artefact, le système de contrôle-commande, et les procédures en tant qu'artefacts permettant d'interagir avec les différents états du système. Il permet aussi de préparer à l'utilisation du système en prenant en compte les objets de l'activité, ainsi que les buts et les sous-buts, à partir des situations sensibles de la conduite automatisée. L'objectif de ce processus de conception était d'accompagner le conducteur dans ses genèses instrumentales avec le véhicule automatisé : dans un premier temps en l'aidant à attribuer de nouvelles fonctions aux artefacts constituant le véhicule automatisé (instrumentalisation), puis en l'aidant à amorcer la transformation ou l'inhibition de ses schèmes avant l'utilisation en situation réelle (instrumentation).

Chapitre 11 : Résultats de l'évaluation du didacticiel embarqué « AUTO-DIDACT' »

Une fois le didacticiel « AUTO-DIDACT' » conçu, nous avons mené une phase d'évaluation visant à étudier les effets de l'usage de celui-ci sur l'activité de conduite automatisée. Pour rappel, nous avons mis en place une étude longitudinale et comparative visant à expérimenter la conduite automatisée sur simulateur à deux groupes de participants. Les deux populations ont pu réaliser deux sessions de conduite selon un intervalle d'un à trois jours. L'objectif était de comparer les performances de conduite des deux groupes sachant que le premier avait accès au didacticiel avant de conduire, alors que le second n'avait droit qu'à une très courte mise en main orale de la part de l'expérimentateur, contenant le strict nécessaire pour pouvoir réaliser les scénarios. Différents modes de recueil des données ont été utilisés : questionnaires, enregistrements audio et vidéo, grilles d'observation, verbalisations. Après avoir détaillé l'ensemble de la méthodologie d'évaluation dans le Chapitre 8, ce chapitre présente les résultats de cette phase d'évaluation.

11.1. Avant-propos : résultats de la conception des deux scénarios de simulation de conduite automatisée pour évaluer l'impact du didacticiel

La question de la représentativité de chacune de nos quatre classes de situations sensibles (voir section 9.2.2.) ayant constitué le fil rouge du processus de conception des scénarios, il est nécessaire de rappeler leurs définitions :

- **Classe A** : Les situations d'activation de la conduite automatisée. Elle comprend les situations pouvant gêner ou surprendre le conducteur lors de l'activation de la conduite automatisée (Catégorie 1).
- **Classe B** : Les situations gérées par la conduite automatisée. Elle regroupe les situations liées au fonctionnement nominal du système mais pouvant surprendre ou gêner le conducteur (Catégorie 2), et les situations liées au fonctionnement nominal du système mais critiques pour le conducteur car perçues comme potentiellement dangereuses (Catégorie 3).
- **Classe C** : Les situations ambiguës de la conduite automatisée. On y retrouve les situations liées aux limites de la conduite automatisée non reconnues par le système et critiques pour le conducteur car perçues comme potentiellement dangereuses (Catégorie 5), et éventuellement quelques situations des catégories 2 et 3 selon les conducteurs.

- **Classe D** : Les situations de désactivation de la conduite automatisée. Elle comprend les situations liées aux limites de la conduite automatisée connues par le système, pouvant surprendre ou gêner le conducteur car entraînant une demande de reprise en main rapide (Catégorie 4), et les situations pouvant gêner ou surprendre le conducteur lors de la désactivation de la conduite automatisée (Catégorie 6).

Afin de constituer deux scénarios de conduite, nous avons donc sélectionné des situations sensibles à représenter selon trois critères. Cette section présente d'abord les résultats de cette sélection, puis détaille le résultat final de ce processus, à savoir les deux scénarios de simulation de conduite automatisée qui ont finalement été conçus.

11.1.1. Situations sensibles sélectionnées pour intégrer les scénarios

11.1.1.1. 1^{er} critère : situations sensibles communes aux experts et aux novices en conduite automatisée

Comme nous l'avons vu dans le Chapitre 9 (section 9.2.1.1.), nous avons identifié 21 situations sensibles présentes à la fois dans l'étude auprès des pilotes experts et dans l'étude auprès des conducteurs novices en conduite automatisée (voir Tableau 19). Ces 21 situations sensibles ont directement été sélectionnées pour être intégrées à nos deux scénarios de conduite simulée.

11.1.1.2. 2^{ème} critère : Évaluation de la criticité des situations

Pour rappel, la criticité de 22 situations sensibles a été évaluée par les pilotes experts en conduite automatisée de notre première étude. Les notes de chacun des trois paramètres sont sur 10, et le calcul du score de criticité subjectif constitue le produit de ces trois notes (le score maximum étant 1000), soit :

$$C \text{ (Criticité)} = F \text{ (Fréquence)} \times G \text{ (Gravité)} \times T \text{ (Temporalité)}$$

Nous avons fait la moyenne des notes des six participants pour chaque paramètre évalué, puis nous avons calculé le score de criticité à partir de ces moyennes. Le Tableau 25 présente les résultats de ce questionnaire.

N°	Situations	Fréquence	Gravité	Temporalité	Criticité
3	Activer trop proche du véhicule précédent ou du véhicule suivant.	7,6	6,8	8,4	434,1
4	Activer à hauteur d'une entrée ou d'une sortie d'autoroute.	4,8	6	6,4	184,3

PARTIE 4 : Résultats de la Thèse

6	Activer la conduite automatisée dans un virage.	6	6,4	6,8	261,1
7	Activer la conduite automatisée à côté d'un poids-lourd.	5,6	5,6	6,8	213,3
8, 11	« Ping-pong » à l'activation. Centrage / décentrage dans la voie	6,8	8,4	7,2	411,3
9	Circulation dense et embouteillage.	7,6	3,6	4	109,4
10	Changement de voie automatisé.	8	4,8	4,8	184,3
12	Motards qui remontent l'inter-file.	6,4	5,6	6,4	229,4
13	Ralentissement automatisé fort et soudain.	5,2	6,4	8,4	279,6
17	Passer à hauteur d'une entrée ou sortie d'autoroute.	6,4	6,8	6,8	295,9
18, 22	Dépassement automatisé d'un poids-lourd ou se faire dépasser par un poids-lourd.	7,2	5,2	4,8	179,7
19	<i>Cut-in</i> (queue de poisson) et <i>short cut-in</i> (queue de poisson serrée).	8	6,8	7,2	391,7
20	Passer sur un <i>lane-split</i> ou <i>lane-merge</i> en conduite automatisée.	6	7,2	6	259,2
23	Circulation dense et chaotique avec insertions intempestives devant le véhicule automatisé	6	6,4	7,2	276,5
24	Véhicule d'intervention (police, pompiers, ambulance, etc.) qui souhaite passer.	4,2	6,8	8,4	239,9
14, 26	Météo défavorable (fort brouillard, forte pluie, neige, grêle, etc.).	5,2	8,4	6,4	279,6
27	Zone de travaux.	4,8	8,4	7,6	306,4
28	Éblouissement ou défaillance d'un capteur ou d'une caméra.	5,2	8,8	7,6	347,8
29	Lignes blanches effacées / infrastructures dégradées.	6,4	8,4	7,6	408,6
30	Désactiver trop proche du véhicule précédent ou du véhicule suivant.	6,8	4,8	6,8	222
31	Désactiver à hauteur d'une entrée ou d'une sortie d'autoroute	4,4	4,8	7,2	152,1
33	Désactiver la conduite automatisée dans un virage.	2,6	6,4	8,4	146,4

Tableau 25 : Résultats du questionnaire d'évaluation subjective de la criticité des situations sensibles spécifiques à la conduite automatisée.

Légende :

- Notes supérieures à 7 sur 10 (**gras**)
- Criticité faible : de 0 à 200 (**vert**)
- Criticité moyenne : de 201 à 400 (**jaune**)
- Criticité forte : de 401 à 600 (**orange**)

Le Tableau 25 montre que nos participants considèrent que six de ces situations ont une criticité faible, 13 situations ont une criticité moyenne et seulement trois situations ont une

criticité forte. Néanmoins, nous gardons en tête que cette évaluation subjective faite par des pilotes experts en conduite automatisée a des limites. Pour la fréquence, la note des pilotes experts reflète leur propre expérience et peut donc potentiellement être sous-estimée pour des situations qu'ils n'ont pas, ou que très peu rencontrées, ou qui ne leur pose plus aucun problème mais qui pourraient être redondantes pour des conducteurs novices (par exemple la désactivation dans un virage). En ce qui concerne le critère de gravité, le point de vue professionnel (Goodwin, 1994) de nos participants experts influence nécessairement leur évaluation lorsqu'ils attribuent des notes élevées aux situations liées aux limites techniques du prototype (par exemple les situations provoquant une demande de reprise en main rapide). Enfin, concernant le critère de temporalité, l'analyse des résultats indique que les notes attribuées par les pilotes experts correspondent tantôt à la vitesse de déroulement de la situation, tantôt au temps de réaction nécessaire pour agir. Nous l'identifions en comparant les notes de la situation de circulation dense et embouteillage (n°9) et de la situation de circulation dense et chaotique (n°23). Les deux situations ont objectivement une temporalité similaire ; cependant, la note moyenne de la première est de 4 alors que celle de la deuxième est de 7,2. Nous pensons que dans le premier cas les participants ont bien évalué la vitesse de déroulement de la situation, alors que dans le deuxième cas ils ont plutôt évalué le temps de réaction pour gérer cette situation, d'où une note moyenne nettement plus élevée²⁶. Finalement, ce critère nous a permis de prioriser nos choix de sélection des situations sensibles à intégrer dans les scénarios, et d'organiser les séquences d'enchaînement des situations, en évitant l'enchaînement de deux situations ayant une criticité élevée.

11.1.1.3. 3^{ème} critère : situations sensibles « sources » et situations sensibles « résultantes »

Le troisième critère de sélection nous a amené à identifier des situations dites « sources » qui, de par leurs caractéristiques, contiennent ou engendrent d'autres situations dites « résultantes ». Nous avons donc réparti l'ensemble des situations sensibles identifiées en fonction de leur probabilité d'apparition dans les situations « sources » suivantes : Trafic fluide, Trafic dense et embouteillage, et Passage à côté d'une entrée ou d'une sortie d'autoroute. Le Tableau 26 présente ces résultats.

Cat.	N°	Situations	Trafic fluide	Trafic dense	Entrée / sortie d'autoroute
1	1	Tenter d'activer en étant décentré ou en chevauchant une ligne.	1	2	3

²⁶ Dans la perspective d'une poursuite de ce projet ou pour tenter d'améliorer cette méthodologie, nous pensons qu'il serait intéressant d'effectuer la même démarche auprès de conducteurs « lambda » novices de ces systèmes. Cela permettrait de comparer les résultats et d'obtenir des scores de criticité plus proches de ce que les futurs conducteurs pourraient expérimenter.

PARTIE 4 : Résultats de la Thèse

	2	Tenter d'activer hors zone de disponibilité.	1	2	3
	3	Activer trop proche du véhicule précédent ou du véhicule suivant.	3	1	2
	4	Activer à hauteur d'une entrée ou d'une sortie d'autoroute.	3	2	1
	5	Tenter d'activer dans un <i>lane-split</i> ou <i>lane-merge</i> .	1	2	-
	6	Activer la conduite automatisée dans un virage.	1	2	3
	7	Activer la conduite automatisée à côté d'un poids-lourd.	3	1	2
	2	8	« Ping-pong » à l'activation.	1	2
9		Circulation dense et embouteillage.	-	1	2
10		Changement de voie automatisé.	2	1	3
11		Véhicule automatisé qui se décentre dans sa voie ou qui cherche à se centrer.	1	3	2
12		Motards qui remontent l'inter-file.	3	1	2
13		Ralentissement automatisé fort et soudain.	-	1	2
14		Brouillard léger ou pluie légère.	1	3	2
15		Véhicule précédent qui hésite à changer de voie ou « shy ».	3	2	1
3	16	Suivre un poids-lourd à basse vitesse sur la voie de droite.	3	1	2
	17	Passer à hauteur d'une entrée ou sortie d'autoroute.	3	2	1
	18	Dépassement automatisé d'un poids-lourd.	2	1	3
	19	<i>Cut-in</i> (queue de poisson) et <i>short cut-in</i> (queue de poisson serrée).	3	2	1
	20	Passer sur un <i>lane-split</i> ou <i>lane-merge</i> en conduite automatisée.	1	2	3
	21	Passer à côté d'un véhicule arrêté sur la bande d'arrêt d'urgence.	2	1	3
5	22	Se faire dépasser par un poids-lourd.	3	1	2
	23	Circulation dense et chaotique avec insertions intempestives devant le véhicule automatisé	-	1	2
	24	Véhicule d'intervention (police, pompiers, ambulance, etc.) qui souhaite passer.	2	1	3
4	25	Véhicule arrêté sur la bande d'arrêt d'urgence qui dépasse sur la chaussée ou obstacles sur la route gênant le passage du véhicule automatisé.	2	1	3
	26	Météo défavorable (fort brouillard, forte pluie, neige, grêle, etc.).	1	3	2
	27	Zone de travaux.	3	1	2
	28	Éblouissement ou défaillance d'un capteur ou d'une caméra.	1	3	2
6	29	Lignes blanches effacées.	1	3	2
6	30	Désactiver trop proche du véhicule précédent ou du véhicule suivant.	3	1	2

31	Désactiver à hauteur d'une entrée ou d'une sortie d'autoroute	3	2	1
32	Désactiver involontaire du conducteur.	1	3	2
33	Désactiver la conduite automatisée dans un virage.	1	3	2
34	Désactiver la conduite automatisée à côté d'un poids-lourd.	3	1	2

Tableau 26 : Répartition des situations sensibles en fonction de leur probabilité d'apparition dans les situations "sources".

Légende :

- Catégorie 1 : situations pouvant gêner ou surprendre le conducteur lors de l'activation de la conduite automatisée ; Catégorie 2 : situations liées au fonctionnement nominal du système mais pouvant surprendre ou gêner le conducteur ; Catégorie 3 : situations liées au fonctionnement nominal du système mais critiques pour le conducteur car perçues comme potentiellement dangereuses ; Catégorie 4 : situations liées aux limites de la conduite automatisée connues par le système, pouvant surprendre ou gêner le conducteur car entraînant une demande de reprise en main rapide ; Catégorie 5 : situations liées aux limites de la conduite automatisée non reconnues par le système et critiques pour le conducteur car perçues comme potentiellement dangereuses ; Catégorie 6 : situations pouvant gêner ou surprendre le conducteur lors de la désactivation de la conduite automatisée.
- Probabilité d'apparition dans la situation « source » : (1) très probable, (2) probable, (3) peu probable, et (-) improbable.

Pour expliquer ce tableau, prenons l'exemple typique d'une situation dans laquelle le véhicule automatisé se fait dépasser par un poids-lourd (situation n°22). Cette situation est beaucoup plus probable lorsque le trafic est dense et que la circulation est suffisamment lente pour que le poids lourd tente un dépassement (1 = trafic dense). Dans une moindre mesure, elle peut également survenir à proximité d'une voie d'insertion ou d'une sortie d'autoroute car dans ces situations, la circulation a tendance à ralentir sur la voie de droite (2 = entrée / sortie d'autoroute). Enfin, il est très peu probable qu'un poids-lourd entreprenne un dépassement lorsque le trafic est fluide et que les véhicules circulent en moyenne plus rapidement que ce dernier (3 = trafic fluide).

Ainsi, la situation « macro » de trafic fluide peut contenir de manière très probable 13 situations sensibles, de manière probable 5 situations sensibles, et de manière peu probable 13 autres situations sensibles. La situation « macro » de trafic dense et embouteillage peut contenir ou engendrer 16 situations sensibles de manière très probable, 11 situations sensibles de manière probable, et 7 situations sensibles de manière peu probable. Enfin, la situation « macro » de passage à hauteur d'une entrée ou d'une sortie d'autoroute peut entraîner très probablement 5 situations sensibles, probablement 18 situations sensibles, et peu probablement 10 autres situations sensibles. Cette répartition a permis d'implémenter les relations entre les différentes situations sélectionnées pour construire les deux scénarios.

11.1.1.4. Situations sensibles sélectionnées et répartition dans les deux scénarios

Les résultats de la sélection des situations sensibles sur la base des trois critères présentés ci-dessus nous amènent à retenir 25 des 34 situations que nous avons identifiées. Cette sélection a contribué à assurer la représentativité et donc la validité écologique des deux scénarios à construire. Nous avons ensuite choisi de répartir ces 25 situations de manière équilibrée entre les deux scénarios sur la base des scores de criticité, de la répartition entre situations « sources » et situations « résultantes », et de la classification issue des résultats de nos études préliminaires. Le Tableau 27 reprend les critères de sélection, et présente la répartition des situations sensibles sélectionnées, entre le scénario A et le scénario B.

Classes	N°	Situations sensibles
Scénario A		
A	3	Activer trop proche du véhicule précédent ou du véhicule suivant.
	6	Activer la conduite automatisée dans un virage.
B	8	« Ping-pong » à l'activation.
	9	Circulation dense et embouteillage.
	10	Changement de voie automatisé.
	11	Véhicule automatisé qui se décentre dans sa voie ou qui cherche à se centrer.
	13	Ralentissement automatisé fort et soudain.
	17	Passer à hauteur d'une entrée ou sortie d'autoroute.
	18	Dépassement automatisé d'un poids-lourd.
C	19	<i>Cut-in</i> (queue de poisson) et <i>short cut-in</i> (queue de poisson serrée).
	23	Circulation dense et chaotique avec insertions intempestives devant le véhicule automatisé.
D	27	Zone de travaux.
	28	Éblouissement ou défaillance d'un capteur ou d'une caméra.
	30	Désactiver trop proche du véhicule précédent ou du véhicule suivant.
	31	Désactiver à hauteur d'une entrée ou d'une sortie d'autoroute. *
Scénario B		
A	3	Activer trop proche du véhicule précédent ou du véhicule suivant.
	4	Activer à hauteur d'une entrée ou d'une sortie d'autoroute.
	7	Activer la conduite automatisée à côté d'un poids-lourd. *
B	9	Circulation dense et embouteillage.
	10	Changement de voie automatisé.
	12	Motards qui remontent l'inter-file.
	13	Ralentissement automatisé fort et soudain.
	14	Brouillard léger ou pluie légère.
	16	Suivre un poids-lourd à basse vitesse sur la voie de droite. *
	17	Passer à hauteur d'une entrée ou sortie d'autoroute.
20	Passer sur un <i>lane-split</i> ou <i>lane-merge</i> en conduite automatisée.	
C	22	Se faire dépasser par un poids-lourd.
	24	Véhicule d'intervention (police, pompiers, ambulance, etc.) qui souhaite passer.
D	26	Météo défavorable (fort brouillard, forte pluie, neige, grêle, etc.).
	33	Désactiver la conduite automatisée dans un virage.

Tableau 27 : Répartition des situations sensibles sélectionnées entre les deux scénarios de simulation de conduite automatisée.

Légende : * Situations qui n'ont finalement pas pu être expérimentées par les participants.

Nous retrouvons donc 15 situations sensibles par scénario, dont cinq situations se trouvant à la fois dans le scénario A et dans le scénario B. Les trois situations « sources » sont présentes dans les deux scénarios, et certaines situations « résultantes » peuvent être présentes plusieurs fois dans un même scénario (par exemple la situation n°26 dans le scénario B) comme nous le verrons dans la section suivante.

11.1.2. Présentation des deux scénarios de simulation de conduite automatisée

Dans cette section nous présentons les résultats de la conception des deux scénarios de simulation d'une expérience de conduite automatisée.

11.1.2.1. Scénario A : des travaux sur la route !

Le scénario A (Annexe 18) se décompose en cinq zones (Figure 71), dans l'ordre chronologique : deux zones de trafic fluide (zones 1 et 2), une zone de trafic dense (zone 3), une zone de trafic dense avec une voie d'insertion (zone 4), et à nouveau une zone de trafic fluide (zone 5). Les temps indiqués sur le schéma sont approximatifs car ils dépendent fortement du comportement de chaque conducteur (par exemple une conduite lente augmentera les temps entre chaque évènement ainsi que la durée globale du scénario).

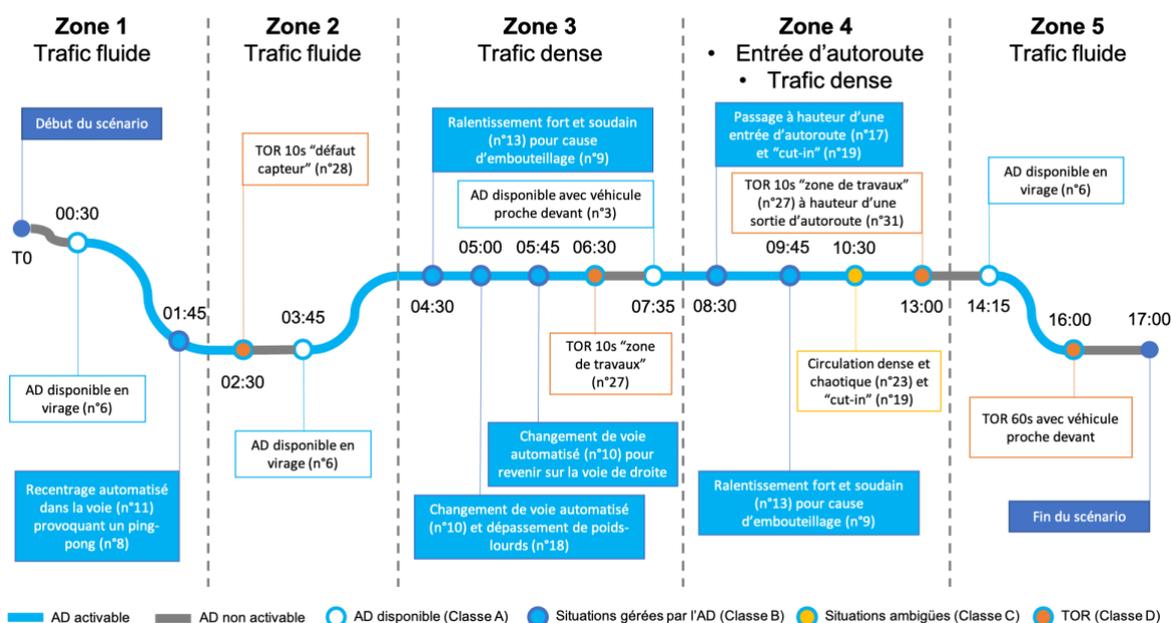


Figure 71 : Schéma du Scénario A de simulation de conduite automatisée.

Dans ce scénario nous retrouvons quatre phases de conduite automatisée entrecoupées de demandes de reprises en main rapide, dont une pour cause de capteur défaillant, deux pour cause de travaux sur la route, et une demande de reprise en main anticipée en fin de scénario. Durant les phases de conduite automatisée, le conducteur doit faire face à différentes situations sensibles tels qu'un recentrage automatisé dans la voie, des ralentissements forts et soudains, et des changements de voie automatisés.

11.1.2.2. Scénario B : mauvais temps...

Le scénario B (Annexe 19) se décompose également en cinq zones (Figure 72), dans l'ordre chronologique : une zone de trafic dense avec une sortie d'autoroute (zone 1), une zone de trafic dense (zone 2), à nouveau une zone de trafic dense avec une sortie d'autoroute (zone 3), et deux zones de trafic fluide (zones 4 et 5). Encore une fois, les temps indiqués sur le schéma sont approximatifs car ils dépendent du comportement du conducteur et de son style de conduite.

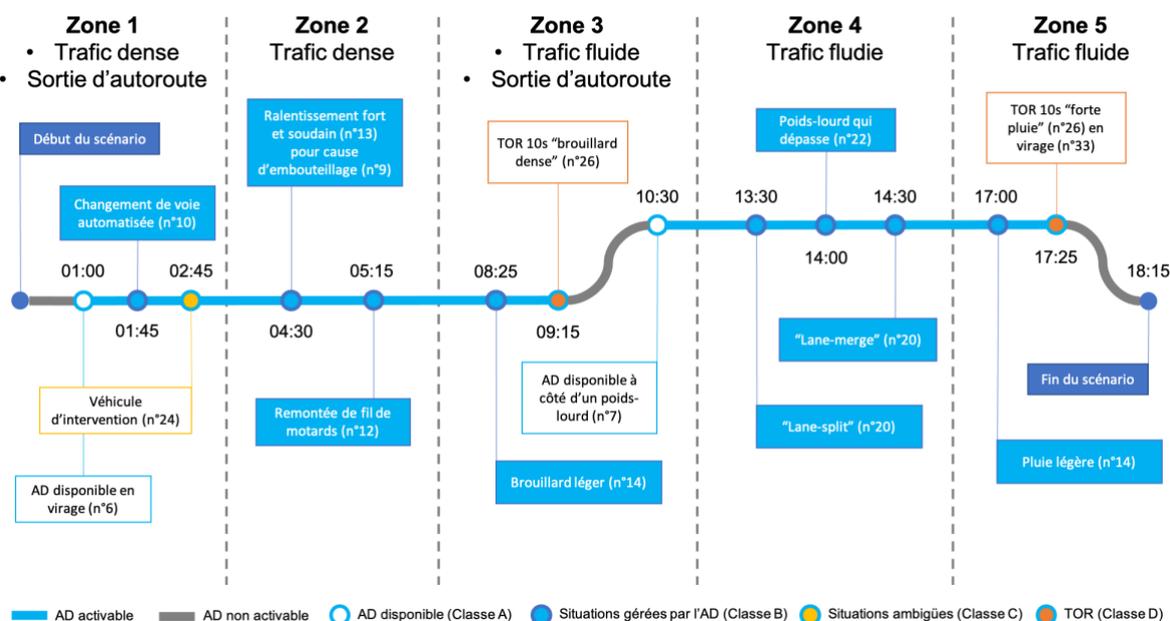


Figure 72 : Schéma du Scénario B de simulation de conduite automatisée.

Ce scénario ne propose que deux phases de conduite automatisée, qui se terminent chacune par une demande de reprise en main rapide pour cause de météo défavorable (d'abord un brouillard dense, puis une forte pluie). Pendant les phases de conduite automatisée le conducteur doit faire face à des situations sensibles beaucoup plus variées que dans le scénario A « des travaux sur la route ! ».

11.2. Élaboration du schème d'activation de la conduite automatisée dans des situations sensibles de la Classe A

Cette section présente les résultats qui portent sur l'évolution des schèmes des sujets pour l'activation de la conduite automatisée dans les situations de la Classe A. Dans un premier temps nous reprenons les résultats des questionnaires : il s'agit donc moins de schèmes que de la connaissance des procédures. Elle peut être comprise comme relevant de dimensions sociales (partageables) et verbalisables de l'utilisation d'un artefact, qui ne signifie pas que le sujet est en mesure de la mettre en œuvre en situation.

11.2.1. La connaissance des conditions de disponibilité de la conduite automatisée

La question était la suivante : « Selon vous, dans quelles conditions la conduite automatisée est-elle disponible ? ». Pour cette question à choix multiple, 10 affirmations ont été présentées dont seulement trois étaient vraies :

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Sur les routes de campagne → Faux• Sur la neige → Faux• Sur autoroute et voie rapide → Vrai• Lorsque les lignes blanches sont effacées → Faux• Sous une forte pluie → Faux | <ul style="list-style-type: none">• Lorsque la route est en bon état → Vrai• Par temps très nuageux → Vrai• En ville → Faux• Dans les sorties d'autoroute ou les échangeurs → Faux• Dans les zones en travaux → Faux |
|--|--|

Le graphique suivant (Figure 73) présente l'évolution des scores des participants pour cette question sur les conditions de disponibilité du mode automatisé. Le détail des scores est disponible en Annexe 28.

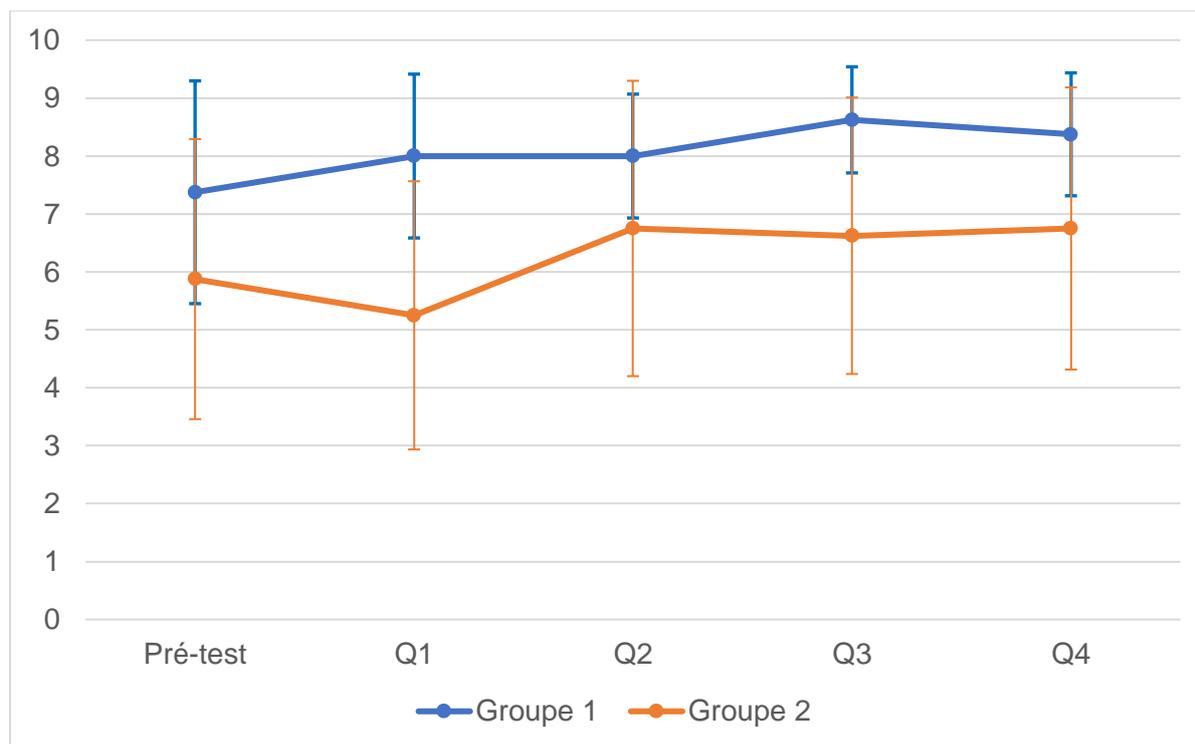


Figure 73 : L'évolution des scores moyens des Groupes 1 « didacticiel » et 2 « sans didacticiel » pour la connaissance des conditions de disponibilité de la conduite automatisée.

La courbe obtenue pour le Groupe 1 « didacticiel » ne semble pas beaucoup évoluer au cours de l'expérimentation, même si on peut constater une légère augmentation des moyennes des scores. Concernant le Groupe 2 « sans didacticiel », nous constatons une baisse de la moyenne lors du questionnaire Q1, puis une augmentation au questionnaire Q2, avec des moyennes qui se stabilisent jusqu'à la fin de l'expérimentation, mais qui restent inférieures à celles du Groupe « didacticiel ». Ces tendances semblent indiquer que les deux groupes ont légèrement renforcé leurs connaissances générales sur les conditions de disponibilité de la conduite automatisée. Cela pourrait être dû à la réalisation des scénarios de simulation.

Nous avons souhaité comparer les résultats intra-groupes, pour tester la significativité des différences entre les moyennes des scores obtenus tout au long de l'expérimentation, pour la question sur les conditions de disponibilité de la conduite automatisée.

Les hypothèses sont les suivantes :

- **H0** : Aucune différence significative existe entre les moyennes des scores obtenus par un groupe à chaque étape pour la question sur les conditions de disponibilité de la conduite automatisée.
- **H1** : Une évolution significative des moyennes des scores obtenus par un groupe existe pour la question sur les conditions de disponibilité de la conduite automatisée.

Les résultats (Annexe 29) ne montrent aucune différence significative, ni pour le Groupe 1 « didacticiel », ni pour le Groupe 2 « sans didacticiel ». Malgré les tendances, nous ne pouvons pas infirmer l'hypothèse H0, ni confirmer l'hypothèse H1, quel que soit le groupe. A priori, ni le didacticiel, ni le briefing, ni la réalisation des scénarios de simulation n'ont permis aux participants de renforcer significativement leurs connaissances nécessaires pour répondre à cette question.

Afin de vérifier si des différences significatives existent entre les deux groupes, nous avons comparé les moyennes des scores obtenus à chaque étape pour la question sur les conditions de disponibilité de la conduite automatisée.

Ici, les hypothèses sont les suivantes :

- **H0** : Pour chaque étape, à la question sur les conditions de disponibilité de la conduite automatisée, la différence entre la moyenne des scores du Groupe 1 et la moyenne des scores du Groupe 2 est nulle.
- **H1** : Une différence significative existe entre la moyenne des scores du Groupe 1 et la moyenne des scores de Groupe 2, à la question sur les conditions de disponibilité de la conduite automatisée, pour au moins une étape.

Les résultats (Annexe 30) des tests sont significatifs pour les moyennes des scores obtenus aux questionnaires Q1 ($p = 0,03$) et Q3 ($p = 0,06$). Nous pouvons donc infirmer l'hypothèse nulle et confirmer l'hypothèse H1. Nous rappelons que ces deux questionnaires ont été soumis aux participants après les phases d'exploration du didacticiel pour le Groupe 1, et après les briefings pour le Groupe 2. Cela signifie que le didacticiel a potentiellement eu un effet positif pour le Groupe 1 par rapport au Groupe 2 pour cette question. Cependant, la moyenne du Groupe 1 étant déjà supérieure à celle du Groupe 2 lors du questionnaire pré-test (même si cette différence n'est pas significative), nous restons prudents concernant le rôle du didacticiel dans l'acquisition des connaissances liées aux conditions de disponibilité de la conduite automatisée.

11.2.2. La connaissance de la procédure d'activation de la conduite automatisée : Résultats des questionnaires

Afin d'évaluer la connaissance de la procédure d'activation de la conduite automatisée, nous avons posé la question ouverte suivante : « Selon vous, comment active-t-on le mode automatisé dans ce type de véhicule ? ». Cette question a été posée à cinq reprises : une fois avant l'expérimentation (questionnaire pré-test), après les phases de formation des sessions

1 et 2 (questionnaire Q1), et après les phases de conduite des sessions 1 et 2 (questionnaire Q2). Cela nous a permis d'évaluer l'évolution des connaissances des participants à ce sujet tout au long de l'étude.

Une réponse juste et complète à cette question doit contenir la mention des deux boutons, leur localisation sur le volant, l'appui simultané, et au moins une information supplémentaire sur les « micro » conditions (centrage, respect des distances de sécurité et de la limitation de vitesse, etc.). Le calcul des scores se fait donc de la façon suivante :

- « Appuyer sur deux boutons » = 2 points (réponse incomplète = 1 point).
- « Sur le volant » = 1 point.
- « Simultanément » = 1 point.
- Autre information pertinente = 1 point.

Le score à cette question se situe donc entre 0 et 5 points maximum. Le graphique (Figure 74) ci-dessous présentent l'évolution des scores des participants des deux groupes pour cette question concernant l'activation de la conduite automatisée. Le détail des scores est disponible en Annexe 20.

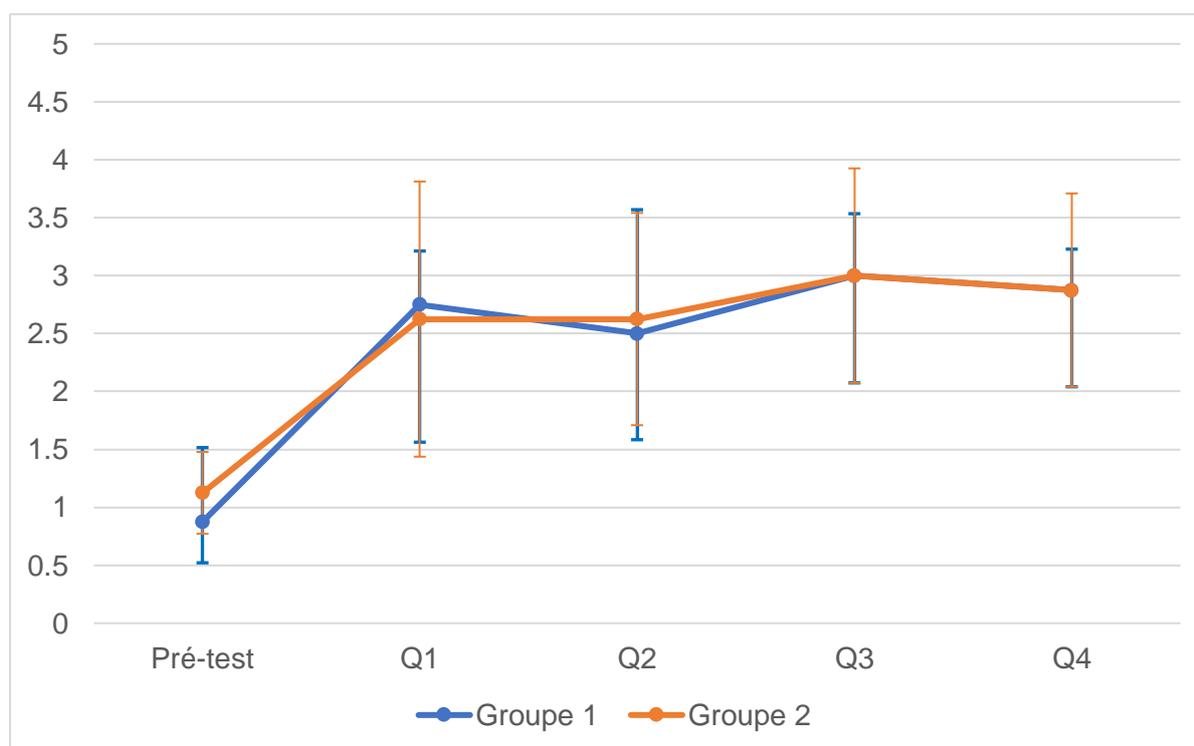


Figure 74 : L'évolution des scores moyens des Groupes 1 « didacticiel » et 2 « sans didacticiel » pour la connaissance de la procédure d'activation de la conduite automatisée.

Les courbes des deux groupes sont quasi similaires (Figure 74). Une forte croissance est constatée après l'exploration du didacticiel pour le Groupe « didacticiel », ou après le briefing

pour le Groupe « sans didacticiel ». Après quoi, les courbes se stabilisent jusqu'à la fin de l'expérimentation.

Pour mener une analyse statistique, nous avons posé les deux hypothèses suivantes :

- **H0** : Aucune différence significative existe entre les moyennes des scores obtenus par un groupe à chaque étape pour la question sur l'activation de la conduite automatisée.
- **H1** : Une évolution significative des moyennes des scores obtenus par un groupe existe pour la question sur l'activation de la conduite automatisée.

Nous avons effectué des comparaisons statistiques des moyennes intra-groupes, afin de vérifier la significativité de l'évolution des scores au cours de l'expérimentation. Les résultats (Annexe 21) permettent d'infirmer l'hypothèse H0 pour les deux groupes, à la fois pour la différence entre le questionnaire pré-test et le questionnaire Q1 (G1 : $p = 0,01$; G2 : $p = 0,03$), et pour la différence entre le questionnaire pré-test et le questionnaire Q4 (G1 : $p = 0,01$; G2 : $p = 0,01$). Nous pouvons par ailleurs confirmer l'hypothèse H1 pour les deux groupes (G1 : $p < 0,01$; G2 : $p < 0,01$). Autrement dit, les deux groupes ont pu renforcer leurs connaissances sur l'activation de la conduite automatisée lors de la première phase de « formation » (exploration du didacticiel pour le Groupe « didacticiel », et briefing pour le Groupe « sans didacticiel »). Nous pouvons également dire que ces connaissances se sont stabilisées tout au long de l'expérimentation puisqu'aucune baisse significative n'est constatée après le questionnaire Q1.

Ensuite, nous avons effectué des comparaisons statistiques entre les moyennes des scores des deux groupes à chaque étape de l'expérimentation. Nous avons souhaité vérifier si une différence significative existait pour la question sur l'activation de la conduite automatisée, au cours d'une étape au moins. Cela pourrait éventuellement traduire un effet du didacticiel sur l'acquisition ou la stabilisation de ces connaissances pour le Groupe « didacticiel ».

Ici, les hypothèses sont :

- **H0** : Pour chaque étape, à la question sur l'activation de la conduite automatisée, la différence entre la moyenne des scores du Groupe 1 et la moyenne des scores du Groupe 2 est nulle.
- **H1** : Une différence significative existe entre la moyenne des scores du Groupe 1 et la moyenne des scores de Groupe 2, à la question sur l'activation de la conduite automatisée, pour au moins une étape.

Les résultats obtenus (Annexe 22) ne montrent aucune différence significative. Ainsi, nous ne pouvons pas infirmer l'hypothèse H0, ni confirmer l'hypothèse H1. Ces résultats ne nous permettent pas d'identifier un apprentissage plus important du Groupe « didacticiel » concernant la connaissance consciente et verbalisable de la procédure d'activation de la conduite automatisée. Nous avons donc procédé à des analyses cliniques plus fines des situations d'activation grâce à nos observations instrumentées, afin de creuser ce qui n'est pas conscient et verbalisable par les participants.

11.2.3. Activité de gestion des situations d'activation de la Classe A en situation

Pour rappel, les situations de la Classe A présentes dans les scénarios de simulation sont :

- Activer trop proche du véhicule précédent ou du véhicule suivant (n°3).
- Activer à hauteur d'une entrée ou d'une sortie d'autoroute (n°4).
- Activer la conduite automatisée dans un virage (n°6).

11.2.3.1. Les conducteurs du Groupe 1 « didacticiel » parviennent-ils à activer la conduite automatisée dans de bonnes conditions ?

Les situations de la Classe A vécues par les participants du Groupe 1 « didacticiel » sont : l'activabilité dans un virage et l'activabilité à hauteur d'une sortie d'autoroute avec un véhicule proche devant et un autre proche derrière. Des situations d'activation sans difficultés particulières ont également été expérimentées, nous les appellerons « situations d'activation nominales ».

Au total, l'ensemble du Groupe 1 « didacticiel » a vécu 24 situations d'activation en Session 1, dont huit en conditions nominales, 12 en virage, et quatre à hauteur d'une sortie d'autoroute. Nous recensons 15 activations parfaitement réussies en toute sécurité (62,5%), six activations réussies dans des conditions imparfaites ou non sécurisées (25%), et trois activations ratées (12,5%). Sur les 15 activations parfaitement réussies, six concernent des situations nominales, sept concernent des situations d'activabilité en virage, et deux concernent des situations d'activabilité à hauteur d'une sortie d'autoroute avec des véhicules proches devant et derrière. Sur les six activations réussies dans des conditions imparfaites nous retrouvons cinq activations décentrées (deux en situations nominales, deux en virage, et une à hauteur d'une sortie d'autoroute), et une activation trop proche d'un poids-lourd dans un virage. Enfin, sur les trois activations ratées, deux concernent des tentatives d'activation avant disponibilité du mode automatisé, et une concerne un raté lors de l'appui sur les boutons.

Lors de la Session 2, le Groupe 1 « didacticiel » a pu expérimenter 22 situations d'activation, dont six en conditions nominales, 12 en virage, et quatre à hauteur d'une sortie d'autoroute. Nous recensons ici 13 activations parfaitement réussies en toute sécurité (59,1%), sept activations réussies dans des conditions imparfaites ou non sécurisées (31,8%), et deux activations ratées (9,1%). Sur les 13 activations parfaitement réussies, cinq concernent des situations nominales, quatre concernent des situations d'activabilité en virage, et quatre concernent des situations d'activabilité à hauteur d'une sortie d'autoroute avec des véhicules proches devant et derrière. Sur les sept activations réussies dans des conditions imparfaites nous constatons six activations décentrées en virage, et une activation entre deux voies dans une situation nominale. Enfin, les deux activations ratées concernent des tentatives d'activation avant que le mode automatisé ne soit disponible.

Le Tableau 28 ci-dessous résume les résultats des deux paragraphes précédents afin d'avoir une vue d'ensemble et de comparer les deux sessions pour le Groupe 1 « didacticiel ».

Situations de la Classe A	Session 1				Session 2			
	Activat° sécur.	Activat° insécur.	Activat° ratée	Total	Activat° sécur.	Activat° insécur.	Activat° ratée	Total
Nominale	6	2	0	8	5	1	0	6
En virage	7	3	2	12	4	6	2	12
Sortie + véhicules proches	2	1	1	4	4	0	0	4
Total	15 (62,5%)	6 (25%)	3 (12,5%)	24 (100%)	13 (59,1%)	7 (31,8%)	2 (9,1%)	22 (100%)

Tableau 28 : Résultats du Groupe 1 « didacticiel » concernant la gestion des situations sensibles de la Classe A lors des sessions 1 et 2.

Pour aller plus loin, nous avons dans un premier temps souhaité identifier les relations et médiations ayant été sources de difficultés pour les participants du Groupe 1 lors des deux sessions. La Figure 75 rappelle les relations et médiations en jeu dans les situations de la Classe A, à l'aide du modèle SACI de Rabardel (1995). Le Tableau 29 qui suit permet de catégoriser les difficultés identifiées en fonction de ces relations et médiations.

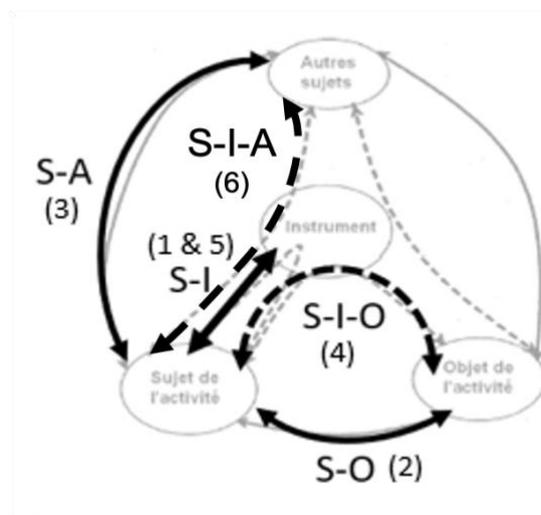


Figure 75 : Rappel du modèle SACI des situations sensibles de la Classe A.

Légende : les flèches noires représentent les relations qui concernent directement le sujet, les flèches pointillées sont les médiations du sujet via l'instrument, et les flèches grises sont les relations qui ne concernent pas directement le sujet.

Relations	Descriptions	Difficultés en S1	Difficultés en S2
1) I-S	Les interfaces indiquent que le mode automatisé est disponible.	Tentative avant disponibilité (P1x2)	Tentative avant disponibilité (P2x2)
2) S-O	Le conducteur surveille l'état de la conduite (vitesse, voie, direction, etc.).	Activation décentrée (P1x3, P2x2)	Activation décentrée (P2, P4x2, P8x3) Activation entre deux voies (P4)
3) S-A	Le conducteur surveille l'état du trafic environnant (nombre et type de véhicules, leur comportement, clignotants, etc.).	Activation proche d'un poids-lourd (P7)	N/A
4) S-I-O	Le conducteur applique la procédure d'activation au bon moment.	Appui boutons raté (P3)	N/A
5) S-I	Le conducteur vérifie sur les interfaces que l'activation a été prise en compte.	Pense que c'est activé alors que non (P1, P3)	Pense qu'il y a un délai volontaire (P2)
6) S-I-A	Le conducteur surveille l'état du trafic environnant via la SA View (optionnel)	N/A	N/A

Tableau 29 : Difficultés identifiées chez les participants du Groupe 1 « didacticiel » en fonction des relations et médiations en jeu dans les situations de la Classe A.

Légende : S = Session, P = Participant

- I-S : relation Instrument – Sujet
- S-O : relation Sujet – Objet de l'activité
- S-A : relation Sujet – Autres sujets
- S-I-O : médiation Sujet – Instrument – Objet de l'activité

- S-I : relation Sujet – Instrument
- S-I-A : médiation Sujet – Instrument – Autres sujets

Le Tableau 29 nous permet de constater que toutes les relations et médiations (exceptée la médiation S-I-A qui reste optionnelle dans cette situation) sont sources de difficultés pour les participants du Groupe 1. La relation I-S (1) ne cause pas beaucoup de difficultés puisque seulement un participant par session tente d'activer alors que les interfaces n'indiquent pas que le mode automatisé est disponible. La majorité des participants a donc acquis les connaissances opérationnelles permettant de comprendre quand ils peuvent, ou non, activer la conduite automatisée (diagnostic et pronostic des situations). En revanche, la relation S-O (2) semble plus compliquée à gérer, notamment lors de la seconde session où la moitié des participants a eu du mal à maintenir le cap tout en activant la conduite automatisée. Cela traduit des difficultés dans l'exécution de la procédure d'activation pour garantir des conditions de sécurité optimales. Concernant la relation S-A (3), seulement un participant a montré une difficulté en Session 1 en activant trop proche d'un poids-lourd (acquisition des connaissances opérationnelles permettant le diagnostic et le pronostic de la situation). De même, concernant la médiation S-I-O (4) pour laquelle un seul participant a mal appuyé sur les boutons d'activation lors de la Session 1 également. Cela montre une réussite dans l'exécution de l'action d'activer via les boutons, traduisant l'acquisition d'un schème d'usage des boutons d'activation. Pour finir, seulement deux participants en Session 1 et un seul en Session 2 ont eu des difficultés avec la relation S-I (5), démontrant une incompréhension de l'état du mode automatisé après une tentative d'activation infructueuse (contrôle de l'exécution de l'action). Finalement, malgré les résultats mitigés aux questionnaires, nous constatons une amorce d'élaboration d'un schème d'activation chez les participants du Groupe « didacticiel ». Cependant, ce schème mériterait d'être consolidé, notamment en ce qui concerne l'exécution de l'action : être capable de maîtriser la conduite manuelle tout en préparant l'activation de la conduite automatisée dans les meilleures conditions.

Le schème d'activation de la conduite automatisée pour les situations de la Classe A peut être décrit à partir d'un ensemble de sous-buts à réaliser pouvant être source de difficultés (Annexe 23) :

- Sous-but 1 : identifier et comprendre les interfaces
Deux participants cherchent à activer la conduite automatisée dans des situations où elle n'est pas disponible. La relation I-S est en jeu, et les participants ne semblent pas encore avoir identifié les indications données par le tableau de bord : P1 en tire une inférence erronée : « *Là j'ai vu que ça pouvait pas se démarrer donc j'en conclus que c'est parce qu'il y avait un contre-bas. Je pense que la route doit être plate* ». P2 a plutôt une difficulté

de temporalité « *Je pensais que je pouvais appuyer et que je pouvais le mettre. En fin de compte c'est pas immédiat* ». Dans les deux cas le schème d'usage de lecture de l'interface n'est pas encore constitué.

- **Sous-but 2 : être dans les bonnes conditions « micro »**
Cinq participants ont activé la conduite automatisée dans des conditions de sécurité discutables (décentrés, dans un virage, proche d'un poids-lourd). La caractéristique commune à tous ces participants est qu'ils ne semblent pas avoir identifié le risque encouru. En effet, nous n'avons observé aucune réaction (physique ou verbale) de leur part dans ces situations, ni même lors des entretiens. En plus d'un manque de connaissance concernant les conditions idéales d'activation, deux schèmes d'utilisation semble être en conflit dans ces situations: la gestion de la conduite manuelle et l'activation de la conduite automatisée. Ce compromis cognitifs ne semble pas être encore bien réglé chez ces participants.
- **Sous-but 3 : appliquer la procédure d'activation**
Un seul participant s'est raté lors de l'appui simultané sur les deux boutons pour activer la conduite automatisée. Cependant, le participant s'en est vite rendu compte et a su corriger ce raté en reprenant le contrôle du véhicule, alors qu'une situation à risque était en court : « *Une fois cependant, je pensais avoir activé et je n'avais pas activé. Donc ça, c'est embêtant. J'ai vu que le véhicule allait tout droit dans le tournant, donc j'ai retourné, quoi. J'ai repris la bonne trajectoire et puis je pense que j'ai réactivé* ». Cela suggère que les participants du Groupe « didacticiel » ont su élaborer un schème d'usage des boutons d'activation de la conduite automatisée.
- **Sous-but 4 : vérifier l'activation de la conduite automatisée**
Trois participants ont rencontré des difficultés dans le contrôle de l'exécution de l'action d'activation. En effet, ces derniers se sont désengager de la conduite sans vérifier que le véhicule avait bien pris le contrôle. Cela a entraîné des situations à risque élevé. P1 en tire encore une fois une inférence erronée en pensant que le système avait un problème : « *Là je reprends la main, j'ai vu qu'il a du mal à...* ». P2 a de nouveau montré une difficulté de temporalité montrant un manque de connaissance sur le fonctionnement du système : « *Ah je comprends, en fait je lui demande et c'est lui qui me répond dans les 60 secondes* ». Enfin, P3 conceptualise le comportement à adopter dans ces situations : « *Il faut toujours une présence d'esprit, quoi. Ce n'est pas si tranquille que ça. Il faut toujours être alerte, très alerte* ». Cela montre que ces participants n'ont pas su identifier les bons

indicateurs sur l'interface du tableau de bord, ce qui est cohérent avec la non constitution du schème d'usage de lecture de l'interface, identifiée pour le sous-but 1.

- Sous-but 5 : se désengager physiquement de la conduite

Quatre participants ne se sont pas désengagés complètement de la conduite après avoir activé le mode automatisé. En effet, P3 et P6 ont gardé le pied droit au-dessus des pédales pendant plusieurs minutes. P2, P6 et P8 ont également gardé les mains sur le volant plusieurs minutes. Ces comportements peuvent engendrer des situations à risque car elles peuvent entraîner des désactivations involontaires (et donc surprenantes) du système. Par exemple, P6 a eu une réaction de surprise et d'incompréhension lors de l'activation « *Oh my god, j'ai peur ! Pourquoi il tourne comme ça ? c'est hyper dangereux !* ». P2 voulait explorer les capacités du système : « *Je voulais voir si ça prenait les virages* ». Cela suggère un manque de connaissances des capacités du système entraînant un manque de confiance rendant difficile l'inhibition de schèmes automatisés de la conduite traditionnelle.

A l'échelle individuelle, très peu de participants reproduisent les mêmes difficultés d'une session à l'autre. Cela montre qu'un apprentissage a lieu entre les deux sessions. Pour l'activation de la conduite automatisée, la difficulté la plus répandue chez les participants du Groupe « didacticiel », toutes sessions confondues, concerne le fait d'activer en étant bien centré dans la voie.

11.2.3.2. Les conducteurs du Groupe 2 « sans didacticiel » parviennent-ils à activer la conduite automatisée dans de bonnes conditions ?

Parmi les situations d'activation expérimentées par le Groupe 2 « sans didacticiel » nous retrouvons : l'activabilité dans un virage, l'activabilité à hauteur d'une sortie d'autoroute avec des véhicules proches devant et derrière, et des situations d'activation sans difficultés particulières que nous appelons « situations d'activation nominales ».

Les participants de ce groupe ont expérimenté 24 situations d'activation en Session 1, dont huit en conditions nominales, 12 en virage, et quatre à hauteur d'une sortie d'autoroute. Nous observons 13 activations parfaitement réussies en toute sécurité (54,2%), huit activations réussies dans des conditions imparfaites ou non sécurisées (33,3%), et trois activations ratées (12,5%). Parmi les 13 activations parfaitement réussies, sept concernent des situations nominales, quatre concernent des situations d'activabilité en virage, et deux concernent des situations d'activabilité à hauteur d'une sortie d'autoroute avec des véhicules proches devant et derrière. Concernant les huit activations réussies dans des conditions imparfaites nous identifions sept activations décentrées (cinq en virage, et deux à hauteur d'une sortie

d'autoroute), et une activation entre deux voies dans un virage. Enfin, sur les trois activations ratées, nous remarquons une tentative d'activation avant disponibilité du mode automatisé, un raté lors de l'appui sur les boutons, et une confusion concernant la procédure d'activation (le participant oublie que c'est à lui d'appuyer sur les boutons pour activer la conduite automatisée).

En Session 2, le Groupe 2 « sans didacticiel » a aussi vécu 24 situations d'activation, dont huit en conditions nominales, 12 en virage, et quatre à hauteur d'une sortie d'autoroute. Parmi elles, nous identifions 11 activations parfaitement réussies en toute sécurité (45,8%), huit activations réussies dans des conditions imparfaites ou non sécurisées (33,3%), et cinq activations ratées (20,8%). Concernant les 11 activations parfaitement réussies, six concernent des situations nominales, et cinq concernent des situations d'activabilité en virage. Sur les huit activations réussies dans des conditions imparfaites nous observons cinq activations décentrées (quatre en virage et une en conditions nominales), deux participants qui activent et freinent en même temps à hauteur d'une sortie d'autoroute provoquant une désactivation immédiate les obligeant à réactiver. Dans la même situation, un autre participant a failli percuter le véhicule précédent au moment de l'activation car il était trop concentré sur le tableau de bord. En ce qui concerne les cinq activations ratées, nous recensons trois ratés lors de l'appui sur les boutons, une tentative d'activation avant que le mode automatisé ne soit disponible, et une confusion concernant la procédure d'activation (le participant oublie que c'est à lui d'appuyer sur les boutons pour activer la conduite automatisée).

Ci-dessous, le Tableau 30 résume les résultats du Groupe 2 « sans didacticiel » concernant les situations de la Classe A, et donne une vue d'ensemble des deux sessions afin de les comparer.

Situations de la Classe A	Session 1				Session 2			
	Activat° sécur.	Activat° insécur.	Activat° ratée	Total	Activat° sécur.	Activat° insécur.	Activat° ratée	Total
Nominale	7	0	1	8	6	1	1	8
En virage	4	6	2	12	5	4	3	12
Sortie + véhicules proches	2	2	0	4	0	3	1	4
Total	13 (54,2%)	8 (33,3%)	3 (12,5%)	24 (100%)	11 (59,1%)	8 (31,8%)	5 (9,1%)	24 (100%)

Tableau 30 : Résultats du Groupe 2 « sans didacticiel » concernant la gestion des situations sensibles de la Classe A lors des sessions 1 et 2.

Comme pour le Groupe 1 « didacticiel », nous avons souhaité mettre en relation les difficultés identifiées chez le Groupe 2 « sans didacticiel » dans les deux sessions, avec les relations et

médiations en jeu dans les situations de la Classe A. Ainsi, le Tableau 31 présente la catégorisation de ces difficultés en fonction de ces relations et médiations.

Relations	Descriptions	Difficultés en S1	Difficultés en S2
1) I-S	Les interfaces indiquent que le mode automatisé est disponible.	Trop concentré sur le tableau de bord (P1) Tentative avant disponibilité (P3)	Trop concentré sur le tableau de bord (P1) Tentative avant disponibilité (P4)
2) S-O	Le conducteur surveille l'état de la conduite (vitesse, voie, direction, etc.).	Activation décentrée (P1x2, P2, P5, P6, P7x2) Activation entre deux voies (P7)	Activation décentrée (P4, P6, P8x3)
3) S-A	Le conducteur surveille l'état du trafic environnant (nombre et type de véhicules, comportement, clignotants, etc.).	N/A	Manque de percuter le véhicule précédent car ne surveille pas la route au moment d'activer (P1)
4) S-I-O	Le conducteur applique la procédure d'activation au bon moment.	Appui boutons raté (P3) Lâche les commandes car pense que le véhicule prend la main tout seul (P3)	Appui boutons raté (P2, P4, P6) Lâche les commandes car pense que le véhicule prend la main tout seul (P7) Active et freine en même temps provoquant une désactivation immédiate après l'activation (P3, P5)
5) S-I	Le conducteur vérifie sur les interfaces que l'activation a été prise en compte.	Pense avoir activé alors que non (P3)	Pense avoir activé alors que non (P4, P6)
6) S-I-A	Le conducteur surveille l'état du trafic environnant via la SA View (optionnel)	N/A	N/A

Tableau 31 : Difficultés identifiées chez les participants du Groupe 2 « sans didacticiel » en fonction des relations et médiations en jeu dans les situations de la Classe A.

Légende : S = Session, P = Participant

- I-S : relation Instrument – Sujet
- S-O : relation Sujet – Objet de l'activité
- S-A : relation Sujet – Autres sujets
- S-I-O : médiation Sujet – Instrument – Objet de l'activité
- S-I : relation Sujet – Instrument
- S-I-A : médiation Sujet – Instrument – Autres sujets

Ce tableau nous permet de remarquer qu'en Session 1, quatre relations et médiations sur six sont concernées par les difficultés rencontrées par les participants du Groupe « sans didacticiel ». En Session 2, cela monte à cinq relations et médiations sur six.

Tout d'abord, la relation I-S (1) est liée à deux difficultés différentes. La première de ces difficultés concerne un participant qui ne parvient pas à régler le compromis cognitif entre la recherche d'information sur l'interface du tableau de bord et la gestion effective de la situation. Cela entraîne des difficultés en lien avec d'autres relations ou médiations. La seconde difficulté relative à la relation I-S (1) concerne deux participants qui ont cherché à activer la conduite automatisée avant qu'elle ne soit disponible. Cela signifie que cinq des huit participants de ce groupe n'ont pas rencontré de difficultés, signifiant qu'ils ont potentiellement acquis les connaissances opérationnelles requises pour comprendre quand ils peuvent, ou non, activer la conduite automatisée (diagnostic et pronostic des situations). Pour la relation S-O (2), nous retrouvons des difficultés relatives au centrage dans la voie pour activer la conduite automatisée en toute sécurité. En tout, ce sont sept participants sur les huit du Groupe « sans didacticiel » qui sont concernés. Cela traduit des difficultés dans l'exécution de la procédure d'activation pour garantir des conditions de sécurité optimales. Concernant la relation S-A (3), nous n'avons identifié qu'une seule difficulté rencontrée par un participant. Ce participant n'a pas surveillé correctement l'environnement de conduite au moment où il allait activer, et a donc failli percuter le véhicule précédent. Tous les autres participants n'ont pas rencontré de difficultés à ce niveau, suggérant qu'ils ont potentiellement élaboré un schème de surveillance de l'environnement de conduite pour les situations d'activation. Pour la médiation S-I-O nous observons trois difficultés réparties chez cinq participants. Elles concernent un raté lors de l'appui sur les boutons d'activation, une confusion dans le partage des rôles entre le conducteur et le véhicule pour activer la conduite automatisée, et une indécision dans l'action à mener au moment d'activer alors que le véhicule précédent freinait. Cela montre que la majorité des participants du Groupe « sans didacticiel » a un manque de connaissances relatives à l'utilisation du système, et qu'ils ne parviennent pas à exécuter correctement l'action requise pour activer la conduite automatisée. Enfin, concernant la relation S-I (5), nous ne constatons qu'une seule difficulté, mais qui est présente chez trois participants différents. Il s'agit d'une confusion quant à l'état d'activation du mode automatisé. En effet, ces participants ont lâché les commandes pensant que la conduite automatisée était activée alors qu'elle ne l'était pas. Pour ce Groupe nous constatons que plusieurs composantes du schème d'activation de la conduite automatisée ne sont pas encore acquises. En effet, les principales difficultés des participants concernent la relation S-O et la médiation S-I-O. Cela concerne l'exécution de l'action requise dans ces situations dans les deux dimensions suivantes : (1) être capable de maîtriser la conduite manuelle tout en préparant l'activation de la conduite automatisée dans les meilleures conditions, et (2) savoir appuyer sur les boutons au bon moment.

Comme pour le Groupe « didacticiel », le schème d'activation de la conduite automatisée pour les situations de la Classe A peut être décrit à partir d'un ensemble de sous-buts à réaliser pouvant être source de difficultés (Annexe 24) :

- Sous-but 1 : identifier et comprendre les interfaces

Trois participants ont rencontré des difficultés concernant l'identification et la compréhension des affichages du tableau de bord. P3 et P4 ont cherché à activer alors que la conduite automatisée n'était pas disponible. Cependant P3 indique avoir appris par l'expérience à reconnaître les éléments de l'interface indiquant la disponibilité du mode : « *Je n'ai pas réussi à savoir et après, c'est par la suite que j'ai vu que c'était bleu quand c'était automatique* ». P4 aussi comprend rapidement son erreur en voyant le comportement du véhicule (relation S-O) : « *Je pensais que ça avait été pris, après j'ai vu que la voiture était partie donc que ça n'avait pas été pris* ». En revanche, P1 a bien identifié les indicateurs du tableau de bord, mais n'a pas su allouer équitablement son attention, restant concentré sur le tableau de bord : « *J'avais un décompte de secondes avant de passer en mode automatique, donc je l'ai suivi. J'ai bien regardé. En fait, on fait deux choses à la fois. On regarde quand on va passer en mode automatique...* ». Dans les deux cas le schème d'usage de lecture de l'interface n'est pas encore constitué.

- Sous-but 2 : être dans les bonnes conditions « micro »

Sept participants ont activé la conduite automatisée en étant décentré dans la voie. Un seul d'entre eux semble avoir identifié le risque encouru dans ce cas de figure, en constatant qu'une fois la conduite automatisée activée le véhicule cherchait à se recentrer : « *J'ai un peu attendu, parce que justement, j'avais l'impression que la voiture... Comment dire ? Elle n'était pas clean sur la route, elle zigzagait légèrement, donc je ne savais pas si le mode automatisé était activé. Cette information-là m'a manquée. J'ai testé, en fait. J'ai testé pour voir si la voiture était bien entre les lignes blanches, correctement positionnée* ». Au moment de l'activation, un des participants a perçu au dernier moment que le véhicule précédent freinait, causant une situation à risque : « *J'ai eu un coup de freinage du véhicule qui me précédait donc j'ai repris les commandes du volant. C'était assez limite. C'était très court le passage en mode automatique et le véhicule qui freine devant moi* ». Ces analyses révèlent un manque de connaissance liées aux conditions idéales pour activer la conduite automatisée, et que le compromis cognitif dans ces situations n'est pas réglé. En effet, deux schèmes d'utilisation semblent être en conflit : la gestion de la conduite manuelle et l'activation de la conduite automatisée.

- Sous-but 3 : appliquer la procédure d'activation

Six participants n'ont pas su appliquer la procédure d'activation de la conduite automatisée correctement. En effet, quatre d'entre eux se sont ratés lors de l'appui sur les boutons d'activation. P4 a su corriger ce raté : « *Je pense que c'est parce que j'ai mal appuyé sur les deux en même temps. [...] C'est certainement que je n'ai pas appuyé correctement. Donc quand j'ai reappuyé, ça s'est remis comme il faut* » ; alors que P6 accepte la non activation en comparant cette situation à une situation d'usage du limiteur de vitesse : « *J'ai essayé d'activer, et ça ne s'est pas activé. Je me suis dit : "bon, ce ne doit pas être le moment". Je dirais, un peu comme le limiteur de vitesse qui, à 45 kilomètres/heure, ne s'active plus* ». Deux autres participants ont tenté d'activer tout en freinant en même temps provoquant une désactivation immédiate involontaire : « *J'ai eu le réflexe de freiner au moment de l'activation. J'ai eu peur de me prendre la voiture d'en face en fait* ». Enfin, deux participants ont pensé que la conduite automatisée s'activait seule, sans action du conducteur, et ont donc lâché les commandes créant une situation à risque élevé. L'un d'eux se remet en question : « *Je pense que c'est à moi de me remettre en question, de trouver le truc qui fait que je n'ai pas réussi. Je pense que c'est moi qui n'ai pas compris quelque chose* ». Ces résultats suggèrent un manque de connaissance sur l'utilisation du système et un schème d'usage des boutons pas encore constitué.

- Sous-but 4 : vérifier l'activation de la conduite automatisée

Trois participants n'ont pas identifié les affichages du tableau de bord permettant de connaître l'état d'activation ou non du système. Par exemple, P3 dit : « *Je ne vois pas si je suis en automatique ou pas* ». Comme pour le sous-but 1, le schème d'usage de lecture de l'interface ne semble pas encore acquis.

- Sous-but 5 : se désengager physiquement de la conduite

Sept participants du Groupe « sans didacticiel » ne se sont pas complètement désengagés de la conduite après avoir activé le mode automatisé. Certains d'entre eux ont gardé leur pied droit au-dessus des pédales, d'autres ont gardé les mains sur le volant, et d'autres encore ont fait les deux. Nous rappelons que ces comportements peuvent engendrer des situations à risque car elles peuvent entraîner des désactivations involontaires (et donc surprenantes) du système. Plusieurs participants rapportent un manque de confiance et des habitudes de la conduite traditionnelle, par exemple P4 dit : « *C'est un réflexe un peu logique, ça. Mais une fois qu'on a compris qu'il n'y avait plus rien à toucher, après on fait confiance, il n'y a pas de problème* » ; P1 : « *Je pense qu'on a des habitudes d'avoir les mains sur le volant, parce que c'est peut-être... c'est notre cerveau qui nous le demande, c'est-à-dire que c'est comme ça. On est tellement habitué à avoir les mains sur le volant que ça se fait naturellement. Donc effectivement, même en mode*

automatique, j'ai continué à avoir les mains sur le volant ». Il s'agirait potentiellement d'un manque de connaissances des capacités du système, et d'un manque de confiance rendant difficile l'inhibition de schèmes automatisés de la conduite traditionnelle.

A l'échelle individuelle, nous pouvons affirmer que très peu de participants reproduisent les mêmes difficultés d'une session à l'autre. En effet, seuls les participants 1 et 6 reproduisent respectivement l'erreur d'être trop concentré sur le tableau de bord au moment de l'activation, et l'erreur d'activer en étant décentré. Nous pouvons également affirmer que les deux difficultés les plus répandues chez le Groupe 2 « sans didacticiel » pour les situations d'activation de la conduite automatisée, toutes sessions confondues, concernent le centrage dans la voie et le fait de se désengager physiquement de la conduite.

11.3. Connaissances générales du fonctionnement du véhicule automatisé et gestion des situations sensibles des classes B et C

Dans cette section, nous présentons les résultats de l'évaluation de la compréhension du fonctionnement du système (technologies, partage des rôles entre le conducteur et le véhicule, domaine d'usage, interfaces et style de conduite) et de la gestion des situations sensibles des classes B et C. Nous avons constaté dans nos deux études préliminaires que la bonne gestion des situations de ces deux classes est étroitement corrélée à la compréhension du fonctionnement du système, autrement dit de ses capacités et de ses limites (relation directe entre l'instrument et l'objet de l'activité – I-O – dans le modèle SACI ; Rabardel, 1995). Ces connaissances doivent être opérationnalisées pour pouvoir être mobilisées efficacement en situation.

11.3.1. Les connaissances générales sur le fonctionnement du véhicule automatisé : Résultats des questionnaires

11.3.1.1. La connaissance des technologies à la base du fonctionnement du véhicule automatisé

À la question à choix multiple « D'après vous, quelles sont les technologies qui régissent le fonctionnement de la conduite automatisée ? », 10 propositions ont été présentées, mais seulement cinq étaient vraies :

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">• GPS → Vrai• Sonar → Faux• Réalité augmentée → Faux | <ul style="list-style-type: none">• Lidar (capteur laser) → Vrai• Clé USB → Faux• Algorithme / Intelligence artificielle → Vrai |
|--|---|

- Fibre internet → Faux
 - Caméra → Vrai
- Bluetooth → Faux
 - Radar → Vrai

Pour illustrer les résultats des réponses des participants des deux groupes pour cette question, nous présentons ci-après un graphique (Figure 76) montrant les courbes d'évolution des scores moyens. Le détail des scores est disponible en Annexe 25.

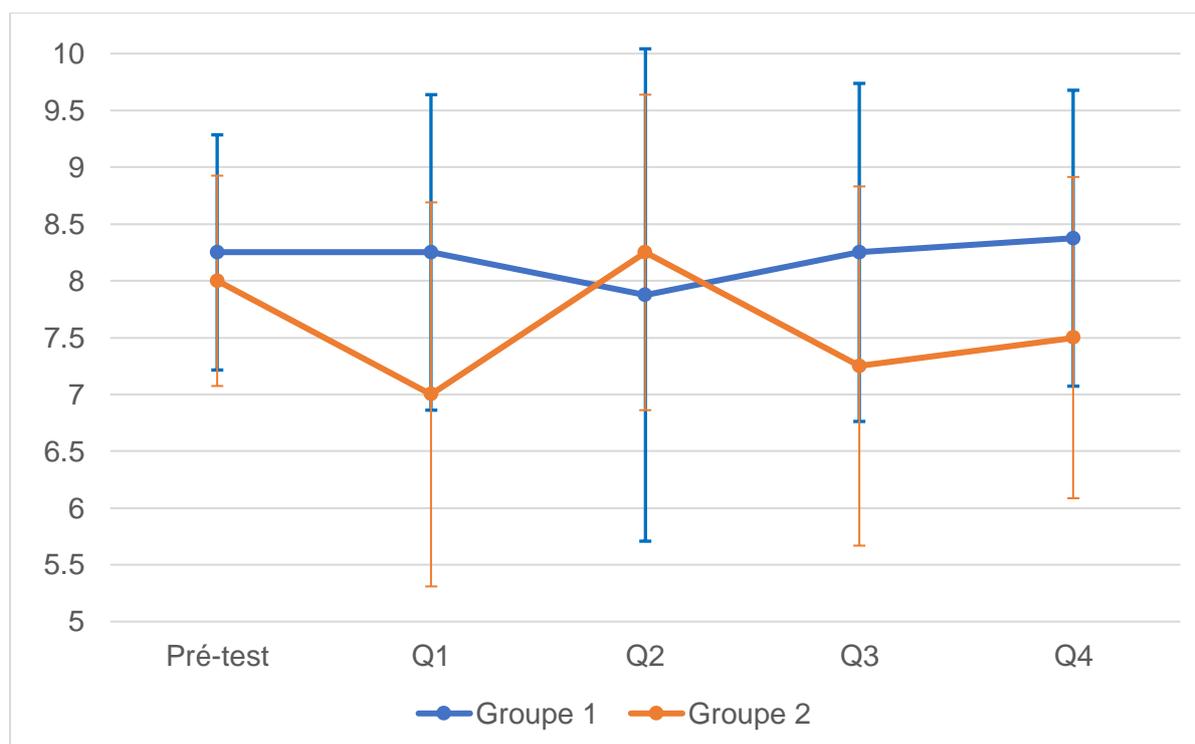


Figure 76 : L'évolution des scores moyens des Groupes 1 « didacticiel » et 2 « sans didacticiel » pour la question sur les technologies régissant le fonctionnement de la conduite automatisée.

Les résultats du Groupe 1 « didacticiel » restent assez stables tout au long de l'expérimentation et ne semblent pas augmenter, ni diminuer de manière significative. En revanche les scores du Groupe 2 « sans didacticiel » fluctuent beaucoup plus, avec une baisse de la moyenne des scores après le briefing (Q1), une augmentation après le premier scénario (Q2), et une nouvelle diminution après le briefing de la 2^{ème} session (Q3). Ces premières tendances semblent indiquer que le didacticiel permet aux participants du premier groupe de stabiliser ces connaissances générales.

Nous avons d'abord souhaité comparer les scores moyens intra-groupes afin d'identifier d'éventuelles différences significatives dans les réponses données au cours de l'expérimentation pour cette question sur les technologies qui régissent le fonctionnement de la conduite automatisée. Grâce aux analyses statistiques réalisées (Annexe 26), nous avons pu comparer les scores d'un même groupe à chaque étape de l'expérimentation.

Les hypothèses sont les suivantes :

- **H0** : Aucune différence significative existe entre les moyennes des scores obtenus par un groupe à chaque étape pour la question sur les technologies régissant le fonctionnement de la conduite automatisée.
- **H1** : Une évolution significative des moyennes des scores obtenus par un groupe existe pour la question sur les technologies régissant le fonctionnement de la conduite automatisée.

Aucun résultat, que ce soit pour le Groupe 1 « didacticiel » ou pour le Groupe 2 « sans didacticiel », ne permet d'infirmer l'hypothèse H0, ni de confirmer l'hypothèse H1. Nous pouvons donc dire que ni le didacticiel, ni le briefing, ni la réalisation des scénarios de simulation n'ont permis aux participants de renforcer significativement leurs connaissances sur les technologies permettant de faire fonctionner le véhicule automatisé.

Néanmoins, nous avons quand même souhaité comparer les résultats intergroupes à chaque étape de l'expérimentation (Annexe 27). Le but étant d'identifier un potentiel effet du didacticiel sur le Groupe 1 concernant l'acquisition ou la stabilisation des connaissances nécessaires pour répondre à cette question.

Ici, les hypothèses sont :

- **H0** : Pour chaque étape, à la question sur les technologies régissant la conduite automatisée, la différence entre la moyenne des scores du Groupe 1 et la moyenne des scores du Groupe 2 est nulle.
- **H1** : Une différence significative existe entre la moyenne des scores du Groupe 1 et la moyenne des scores de Groupe 2, à la question sur les technologies régissant la conduite automatisée, pour au moins une étape.

Aucun résultat significatif n'a été obtenu, nous ne pouvons donc pas infirmer l'hypothèse H0, ni confirmer l'hypothèse H1. Nous pouvons donc dire que le didacticiel n'a pas aidé le Groupe 1 à mieux renforcer ou à mieux stabiliser les connaissances sur les technologies qui régissent le fonctionnement de la conduite automatisée, par rapport au Groupe 2 « sans didacticiel ».

11.3.1.2. La reconnaissance des affichages des interfaces du mode automatisé

Dans les questionnaires Q2 et Q4 (Annexe 12), nous avons soumis aux participants cinq questions supplémentaires, chacune suivie de cinq propositions de réponse dont une seule était juste. Ces questions présentaient une capture d'écran de l'interface du tableau de bord

correspondant à un état précis du mode automatisé. Les captures d'écran correspondaient aux états suivants :

- Conduite automatisée activée.
- Conduite automatisée bientôt disponible.
- Demande de reprise en main anticipée.
- Conduite automatisée disponible.
- Manœuvre de refuge automatique.

Pour le calcul des scores, une réponse juste vaut 1 point et une réponse fausse vaut 0 point. L'évolution des scores, allant de 0 à 5 points, est présentée dans l'histogramme (Figure 77) ci-dessous pour l'ensemble des cinq questions concernant les interfaces de la conduite automatisée. Le détail des scores est disponible en Annexe 31.

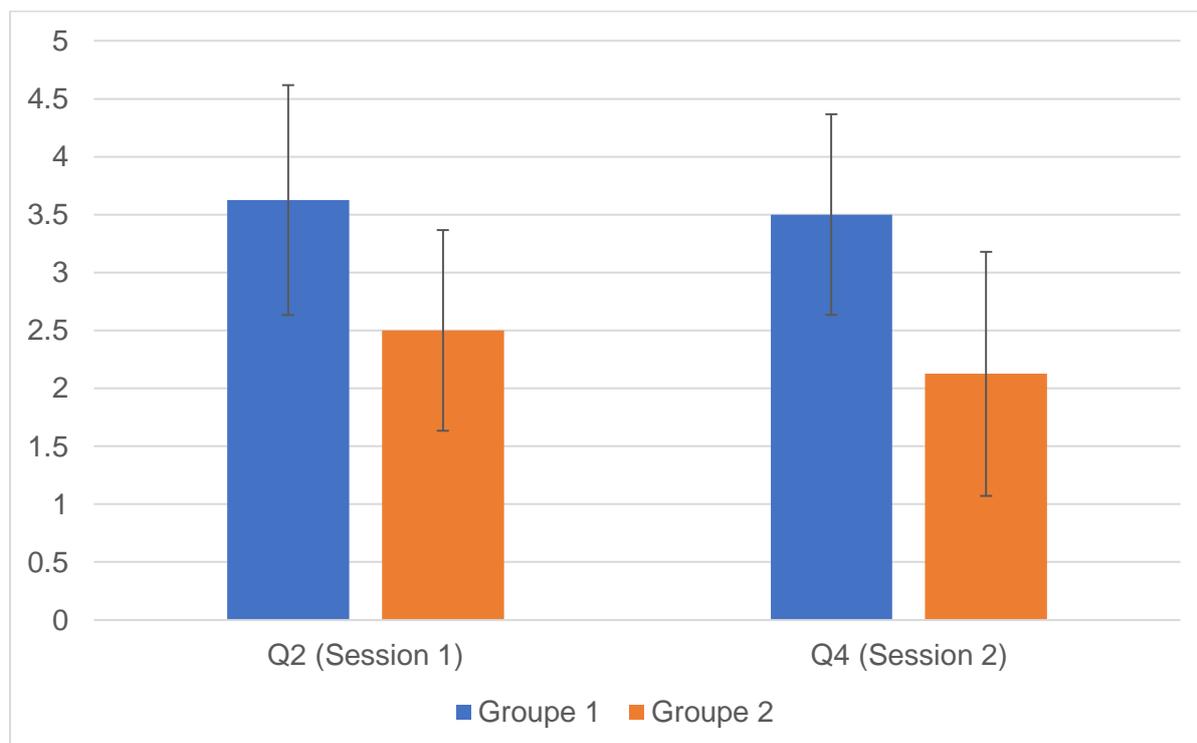


Figure 77 : Les scores moyens des Groupes 1 « didacticiel » et 2 « sans didacticiel » concernant la reconnaissance des interfaces du mode automatisé.

A la fin de chaque session, le Groupe 1 « didacticiel » obtient un meilleur score moyen que le Groupe 2 « sans didacticiel » concernant la reconnaissance et la compréhension des interfaces de la conduite automatisée (Figure 77). Nous pouvons également constater que les moyennes des deux groupes diminuent légèrement lors de la Session 2.

Nous avons réalisé des tests statistiques pour vérifier la significativité des différences intra-groupes constatées entre la Session 1 et la Session 2.

Les hypothèses sont les suivantes :

- **H0** : Aucune différence significative existe entre les moyennes des scores obtenus par un groupe à chaque session pour l'item concernant les interfaces de la conduite automatisée.
- **H1** : Une évolution significative des moyennes des scores obtenus par un groupe existe pour l'item concernant les interfaces de la conduite automatisée.

Les résultats des tests statistiques (Annexe 32) ne montrent pas de différence significative entre les moyennes obtenues lors des deux sessions, quel que soit le groupe. Nous ne pouvons pas infirmer l'hypothèse H0, ni confirmer l'hypothèse H1. Ni le didacticiel, ni les briefings, ni la réalisation des scénarios de simulation n'ont permis aux participants des deux groupes de renforcer leur connaissances sur cette question au cours de l'étude.

Nous avons ensuite vérifié si les différences de moyenne des deux groupes, constatées dans les résultats des sessions 1 et 2, étaient significatives ou non.

Concernant ces tests statistiques, les hypothèses sont les suivantes :

- **H0** : Pour chaque session, à la question concernant les interfaces de la conduite automatisée, la différence entre la moyenne des scores du Groupe 1 et la moyenne des scores du Groupe 2 est nulle.
- **H1** : Une différence significative existe entre la moyenne des scores du Groupe 1 et la moyenne des scores de Groupe 2, à la question concernant les interfaces de la conduite automatisée, pour au moins une session.

Grâce aux résultats de ces tests (Annexe 33), nous pouvons constater que la différence entre les moyennes des deux groupes est significative pour les deux sessions (S1 : $p = 0,06$; S2 : $p = 0,03$). Nous pouvons donc infirmer l'hypothèse nulle et confirmer l'hypothèse H1. Nous pensons que le didacticiel a permis aux participants du Groupe 1 d'acquérir les connaissances nécessaires pour mieux identifier et mieux comprendre les interfaces de la conduite automatisée, comparativement aux participants du Groupe 2 « sans didacticiel ».

11.3.1.3. La connaissance du rôle et des devoirs du conducteur en conduite automatisée

Concernant la connaissance du rôle et des devoirs du conducteur lorsque la conduite automatisée est activée, nous avons posé la question à choix multiple suivante : « Selon vous,

lorsque le mode automatisé est activé, le conducteur doit... ». Pour cette question, 10 affirmations ont été présentées, mais seulement cinq étaient vraies :

- Surveiller la route → Faux
- Être en mesure d'atteindre les commandes de conduite → Vrai
- Activer les warnings → Faux
- Rester réceptif aux alertes du véhicule → Vrai
- Garder les mains sur le volant → Faux
- Rester concentré sur l'interface du tableau de bord → Faux
- Garder une posture compatible avec la conduite → Vrai
- Lâcher les commandes de conduite → Vrai
- Appuyer sur un bouton toutes les 30 secondes pour maintenir le mode automatisé activé → Faux
- Garder sa ceinture de sécurité → Vrai

Les scores peuvent aller de 0 à 10 points. Le graphique (Figure 78) ci-dessous présentent l'évolution des scores des participants à cette question sur les devoirs du conducteur lorsque le mode automatisé est activé. Le détail des scores est disponible en Annexe 34.

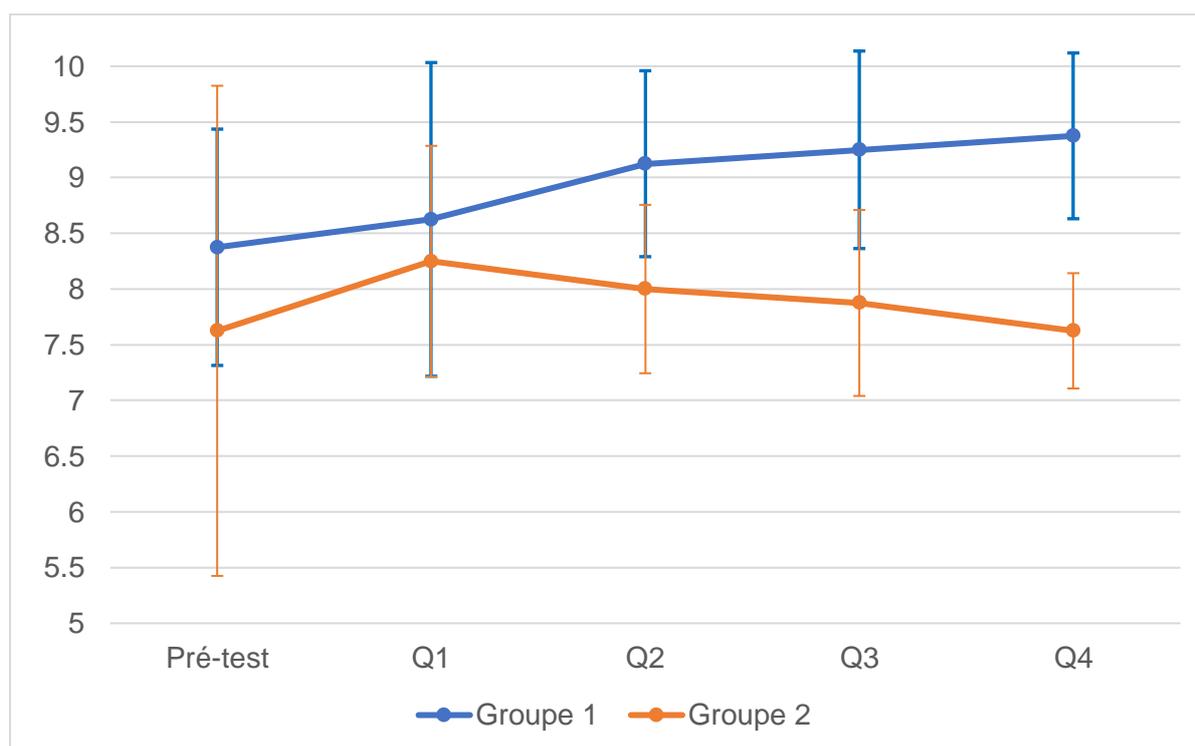


Figure 78 : L'évolution des scores moyens des Groupes 1 « didacticiel » et 2 « sans didacticiel » pour la connaissance des devoirs du conducteur lorsque la conduite automatisée est activée.

Nous pouvons voir ici que les courbes des deux groupes augmentent entre le questionnaire pré-test et le questionnaire Q1 (après la phase de « formation »). Cependant, elles adoptent une trajectoire opposée à partir du questionnaire Q1 jusqu'au questionnaire Q4. Les moyennes des scores du Groupe 1 « didacticiel » tendent à augmenter alors que celles du Groupe 2 « sans didacticiel » diminuent jusqu'à la fin de l'expérimentation.

Afin de vérifier si l'évolution de la courbe de chaque groupe est significative, nous avons fait une comparaison intra-groupe des moyennes des scores obtenus à chaque questionnaire pour la question sur les devoirs du conducteur pendant la conduite automatisée.

Pour ces tests statistiques, les hypothèses sont les suivantes :

- **H0** : Aucune différence significative existe entre les moyennes des scores obtenus par un groupe à chaque étape pour la question sur les devoirs du conducteur en conduite automatisée.
- **H1** : Une évolution significative des moyennes des scores obtenus par un groupe existe pour la question sur les devoirs du conducteur en conduite automatisée.

Dans les résultats (Annexe 35), nous constatons une différence significative pour le Groupe 1 « didacticiel » entre la moyenne des scores obtenus au questionnaire pré-test et la moyenne des scores obtenus au questionnaire Q4 ($p = 0,05$). Cela nous permet d'infirmer l'hypothèse H0 pour le Groupe 1. En revanche, les tests confirment l'hypothèse H1, puisque l'évolution des moyennes tout au long de l'expérimentation est significative ($p = 0,02$). Nous pensons donc que le Groupe 1 « didacticiel » a acquis, consolidé et stabilisé les connaissances sur les devoirs du conducteur en conduite automatisée, de manière graduelle. Pour le Groupe 2 « sans didacticiel », aucun résultat n'est significatif. Nous ne pouvons donc pas infirmer l'hypothèse H0, ni confirmer l'hypothèse H1. Cela signifie que ni les briefings, ni la réalisation des scénarios de simulation n'ont permis au Groupe 2 « sans didacticiel » d'acquérir les connaissances nécessaires pour répondre à cette question.

Nous avons ensuite regardé si cette différence entre les deux groupes était significative ou non. Pour cela nous avons comparé statistiquement les moyennes des scores des deux groupes à chaque étape de l'expérimentation pour la question sur les devoirs du conducteur lorsque la conduite automatisée est activée.

Cette fois-ci, les hypothèses sont les suivantes :

- **H0** : Pour chaque étape, à la question sur les devoirs du conducteur en conduite automatisée, la différence entre la moyenne des scores du Groupe 1 et la moyenne des scores du Groupe 2 est nulle.
- **H1** : Une différence significative existe entre la moyenne des scores du Groupe 1 et la moyenne des scores de Groupe 2, à la question sur les devoirs du conducteur en conduite automatisée, pour au moins une étape.

Les résultats des tests statistiques (Annexe 36) montrent que des différences significatives existent entre la moyenne des scores du Groupe 1 « didacticiel » et celle du Groupe 2 « sans didacticiel », à partir du questionnaire Q2 ($p = 0,02$) et jusqu'au questionnaire Q4 ($p = 0,002$). Notons également que la significativité de ces différences augmente de plus en plus tout au long de l'expérimentation. Cela traduit un potentiel effet du didacticiel « AUTO-DIDACT' » sur le Groupe 1 concernant l'acquisition, la consolidation et la stabilisation des connaissances liées au rôle et aux devoirs du conducteur lorsque la conduite automatisée est activée.

11.3.1.4. La connaissance des possibilités de « vie à bord » en conduite automatisée

La question sur les possibilités de « vie à bord » était la suivante : « Selon vous, lorsque le mode automatisé est activé, le conducteur peut... ». Pour cette question, 10 affirmations ont été présentées, dont cinq étaient vraies :

- | | |
|--|--|
| • Écouter la radio → Vrai | • Utiliser un smartphone → Vrai |
| • Changer de place → Faux | • Porter un casque audio → Faux |
| • Utiliser un casque de Réalité Virtuelle → Faux | • Lire un livre → Vrai |
| • Prendre un bébé dans les bras → Faux | • Jouer à un jeu vidéo sur une console portable → Vrai |
| • Dormir / Faire une sieste → Faux | • Regarder un film → Vrai |

Le graphique (Figure 79) ci-dessous présentent l'évolution des scores des participants pour cette question sur les possibilités de vie à bord lorsque la conduite automatisée est activée. Le détail des scores est présenté en Annexe 37.

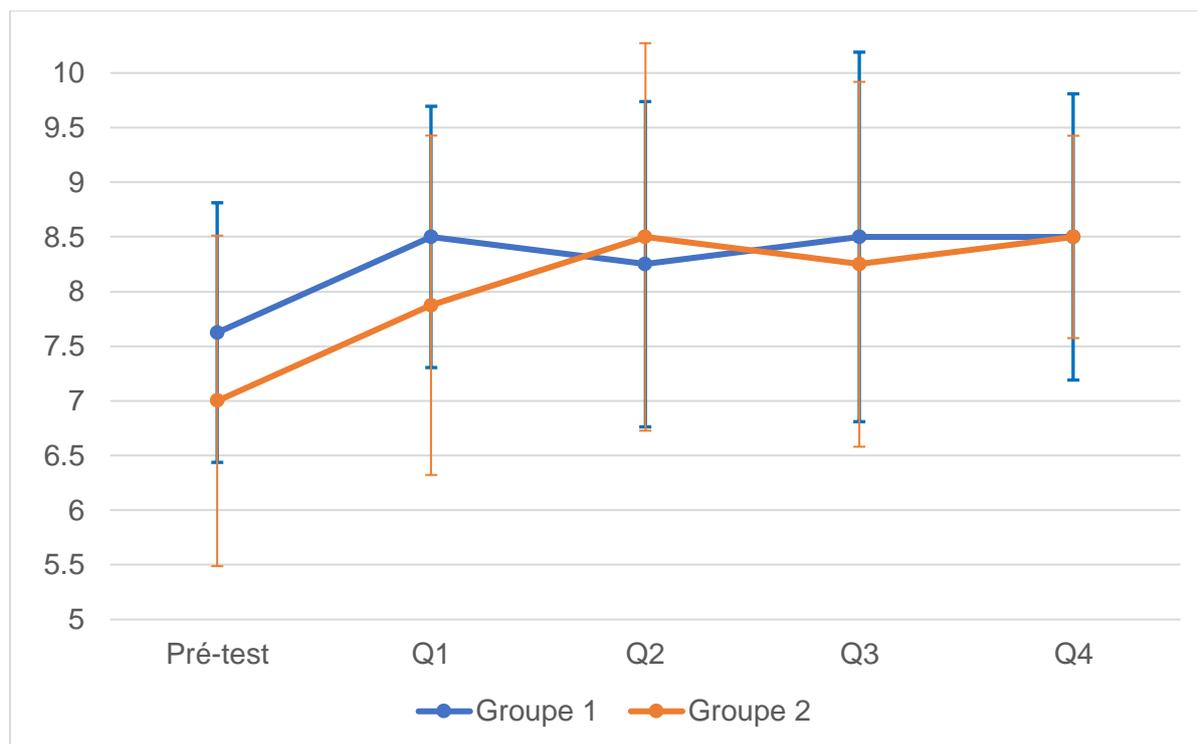


Figure 79 : L'évolution des scores moyens des groupes 1 « didacticiel » et 2 « sans didacticiel » sur la connaissance des possibilités de vie à bord lorsque la conduite automatisée est activée.

Les résultats montrent que les scores des deux groupes semblent évoluer de la même façon entre le questionnaire pré-test et le questionnaire Q1. Après cela, les scores du Groupe 2 continuent d'augmenter jusqu'au questionnaire Q2, puis semblent se stabiliser plus ou moins, tandis que ceux du Groupe 1 diminuent légèrement lors du questionnaire Q2, mais semblent également se stabiliser ensuite.

Nous avons réalisé des comparaisons statistiques des moyennes des scores de chaque groupe afin de vérifier la significativité des différences intra-groupes constatées ci-dessus au cours de l'expérimentation.

Les hypothèses sont les suivantes :

- **H0** : Aucune différence significative existe entre les moyennes des scores obtenus par un groupe à chaque étape pour la question sur les possibilités de vie à bord en conduite automatisée.
- **H1** : Une évolution significative des moyennes des scores obtenus par un groupe existe pour la question sur les possibilités de vie à bord en conduite automatisée.

Pour le Groupe 1 « didacticiel », les résultats (Annexe 38) montrent que seule la différence entre le questionnaire pré-test et le questionnaire Q1 est significative ($p = 0,09$), ce qui permet d'infirmer l'hypothèse H0. Cependant, l'évolution globale des moyennes des scores pour ce

groupe n'est pas significative, nous ne pouvons donc pas confirmer l'hypothèse H1. Ces résultats signifient que le Groupe 1 a bien acquis quelques connaissances pour mieux répondre à cette question lors de la première exploration du didacticiel, mais que ni celui-ci, ni la réalisation des scénarios de simulation n'ont permis de renforcer ces connaissances dans le temps. Pour le Groupe 2, seule la différence entre le questionnaire pré-test et le questionnaire Q4 est significative ($p = 0,02$), permettant d'infirmer l'hypothèse H0. Nous constatons également que la différence globale entre les moyennes des scores obtenus à tous les questionnaires est significative ($p = 0,02$), ce qui permet de confirmer l'hypothèse H1. Nous pensons donc que le Groupe 2 a acquis graduellement, puis stabilisé, les connaissances nécessaires pour répondre à cette question, notamment grâce au premier briefing et à la réalisation des deux scénarios de simulation.

Nous avons souhaité vérifier si les différences constatées dans l'évolution des moyennes des scores des deux groupes étaient significatives. Nous avons donc comparé les moyennes obtenues par chaque groupe à chaque étape pour la question sur les possibilités de vie à bord lorsque le mode automatisé est activé.

Pour ces tests statistiques, les hypothèses sont les suivantes :

- **H0** : Pour chaque étape, à la question sur les possibilités de vie à bord en conduite automatisée, la différence entre la moyenne des scores du Groupe 1 et la moyenne des scores du Groupe 2 est nulle.
- **H1** : Une différence significative existe entre la moyenne des scores du Groupe 1 et la moyenne des scores de Groupe 2, à la question sur les possibilités de vie à bord en conduite automatisée, pour au moins une étape.

Les résultats statistiques (Annexe 39) montrent qu'il n'y a aucune différence significative entre les moyennes des scores obtenus par les deux groupes à chaque étape de l'expérimentation. Nous ne pouvons donc pas infirmer l'hypothèse H0, ni confirmer l'hypothèse H1. Cela signifie que ni le didacticiel, ni le briefing, ni la réalisation des scénarios de simulation n'ont permis aux deux groupes de se différencier. Le didacticiel n'a donc pas eu d'effet pour le Groupe 1 concernant l'acquisition des connaissances liées aux possibilités de vie à bord lorsque la conduite automatisée est activée.

11.3.2. Activité de gestion des situations sensibles de la Classe B (situations gérées par le système) en situation

Pour mieux comprendre les résultats de cette section, nous souhaitons préciser que la gestion des situations sensibles de la Classe B peut varier en fonction des caractéristiques des sujets. En effet, même si dans le didacticiel nous recommandons aux conducteurs de laisser le véhicule gérer ses situations, certains d'entre eux ont pu estimer qu'elles étaient trop gênantes, voire dangereuses, et décider de reprendre la main. Dans ce cas, nous considérons que les situations en question ont été gérées comme des situations ambiguës de la Classe C par les participants concernés.

Pour rappel, les situations de la Classe B présentes dans les scénarios de simulation sont :

- « Ping-pong » à l'activation (n°8).
- Circulation dense et embouteillage (n°9).
- Changement de voie automatisé (n°10).
- Véhicule automatisé qui se décentre dans sa voie ou qui cherche à se recentrer (n°11).
- Motards qui remontent l'inter-file (n°12).
- Ralentissement automatisé fort et soudain (n°13).
- Brouillard léger ou pluie légère (n°14).
- Passer à hauteur d'une entrée ou d'une sortie d'autoroute (n°17).
- Dépassement automatisé d'un poids-lourd (n°18).
- « *Cut-in* » (queue de poisson) et « *short cut-in* » (queue de poisson serrée) (n°19).
- Passer sur un « *lane-split* » ou « *lane-merge* » en conduite automatisée (n°20).
- Se faire dépasser par un poids-lourd (n°22).

11.3.2.1. Les conducteurs du Groupe 1 « didacticiel » parviennent-ils à laisser le véhicule gérer les situations qu'il gère différemment d'un conducteur humain ?

Les situations de la Classe B qui ont été expérimentées par les participants du Groupe 1 « didacticiel » sont : les « ping-pong » à l'activation²⁷, les recentrages automatisés dans la voie, le trafic dense et les embouteillages, les passages à hauteur de voies d'insertion, les changements de voie automatisés, les ralentissements forts et soudain, les remontés de file par des motards, les dépassements automatisés de poids-lourds, les poids-lourds qui

²⁷ Lorsque le conducteur active en étant décentré, le véhicule louvoie pour se recentrer dans la voie.

dépassent le véhicule automatisé, les « *lane-split* »²⁸ et « *lane-merge* »²⁹, ainsi que les « *cut-in* »³⁰.

Lors de la Session 1, l'ensemble du Groupe 1 « didacticiel » a vécu 45 situations sensibles de la Classe B, dont quatre recentrages automatisés dans la voie, quatre ralentissements forts et soudain, huit trafics denses et embouteillages, quatre remontées de file de motards, quatre changements de voie automatisés, trois dépassements automatisés de poids-lourds, cinq poids-lourds qui dépassent le véhicule automatisé, quatre passages à hauteur d'une voie d'insertion, trois « *cut-in* », trois « *lane-split* » et trois « *lane-merge* ». Dans 77,8% des cas, soit 35 situations, les participants ont laissé le système automatisé gérer sans intervenir. Sur ces 35 situations, nous recensons cinq embouteillages et cinq poids-lourds qui dépassent, quatre changements de voie automatisés, trois remontées de file de motards, trois dépassements automatisés de poids-lourds, trois passages à côté d'une voie d'insertion, trois « *cut-in* », trois « *lane-split* », trois « *lane-merge* », deux ralentissements forts et soudain, et enfin un recentrage automatisé dans la voie. En revanche, dans 22,2% des cas, soit 10 situations, les participants du Groupe 1 ont préféré reprendre le contrôle. Sur ces 10 situations, trois ont eu lieu lors d'un recentrage automatisé dans la voie, deux à l'approche d'un embouteillage, deux lors d'un ralentissement fort et soudain, deux dans un embouteillage, et une lors d'un changement de voie automatisé juste avant une voie d'insertion.

Lors de la Session 2, l'ensemble du Groupe 1 « didacticiel » a expérimenté 53 situations sensibles de la Classe B, dont quatre recentrages dans la voie, quatre ralentissements forts et soudain, huit trafics denses et embouteillages, quatre remontées de file de motards, sept changements de voie automatisés, quatre dépassements automatisés de poids-lourds, six poids-lourds qui dépassent le véhicule automatisé, quatre passages à hauteur d'une voie d'insertion, quatre « *cut-in* », quatre « *lane-split* » et quatre « *lane-merge* ». Les participants ont laissé le système automatisé gérer dans 94,3% des cas, soit 50 situations. Sur ces 50 situations, on retrouve huit trafics denses et embouteillages, sept changements de voie automatisés, six poids-lourds qui dépassent le véhicule automatisé, quatre remontées de file de motards, quatre dépassements automatisés de poids-lourds, quatre passages à côté d'une voie d'insertion, quatre « *cut-in* », quatre « *lane-split* », quatre « *lane-merge* », trois recentrages automatisés dans la voie, et deux ralentissements forts et soudain. Au contraire, les participants du Groupe 1 « didacticiel » ont préféré reprendre le contrôle dans 5,7% des

²⁸ Lorsque la voie dans laquelle se trouve le véhicule automatisé se divise en deux voies.

²⁹ Lorsque deux voies, dont celle où se trouve le véhicule automatisé, fusionnent en une seule voie.

³⁰ Les queues de poisson.

cas, soit trois situations. Sur ces trois situations, deux ont eu lieu lors d'un ralentissement fort et soudain, et une lors d'un recentrage automatisé dans la voie.

Le Tableau 32 résume les résultats des deux paragraphes précédents afin d'avoir une vue d'ensemble et de comparer les deux sessions pour le Groupe 1 « didacticiel ».

Situations de la Classe B	Session 1			Session 2		
	Laisse faire (+)	Reprend la main (-)	Total	Laisse faire (+)	Reprend la main (-)	Total
Recentrage automatisé dans la voie	1	3	4	3	1	4
Ralentissement fort et soudain	2	2	4	2	2	4
Trafic dense et embouteillage	5	3	8	8	0	8
Remontée de file de motards	3	1	4	4	0	4
Changement de voie automatisé	4	0	4	7	0	7
Dépassement automatisé d'un poids-lourd	3	0	3	4	0	4
Poids-lourd qui dépasse le véhicule automatisé	5	0	5	6	0	6
Passage à hauteur d'une voie d'insertion	3	1	4	4	0	4
Cut-in	3	0	3	4	0	4
Lane-split	3	0	3	4	0	4
Lane-merge	3	0	3	4	0	4
Total	35 (77,8%)	10 (22,2%)	45 (100%)	50 (94,3%)	3 (5,7%)	53 (100%)

Tableau 32 : La gestion des situations sensibles de la Classe B lors des sessions 1 et 2 par le Groupe 1 « didacticiel ».

Nous avons souhaité identifier les relations et médiations ayant été sources de difficultés pour les participants du Groupe 1 « didacticiel » lors des deux sessions. La Figure 80 rappelle les relations et médiations en jeu dans les situations de la Classe B, à l'aide du modèle SACI de Rabardel (1995). Le Tableau 33, plus bas, permet de catégoriser les difficultés identifiées en fonction de ces relations et médiations.

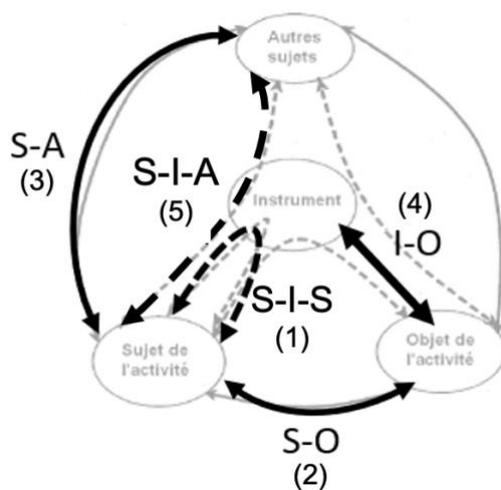


Figure 80 : Rappel du modèle SACI des situations sensibles de la Classe B.

Légende : les flèches noires représentent les relations qui concernent directement le sujet, les flèches pointillées sont les médiations du sujet via l'instrument, et les flèches grises sont les relations qui ne concernent pas directement le sujet.

Relations	Descriptions	Difficultés en S1	Difficultés en S2
1) S-I-S	Se rapprocher des commandes mais inhiber son action.	Réflexe de freiner (P1, P6x2, P7, P8) Réflexe de tourner le volant (P1)	Réflexe de freiner (P1, P7)
2) S-O	Surveiller l'état de la conduite (vitesse, voie, direction, etc.).	Interférer avec la trajectoire du véhicule lors d'un recentrage automatisé (P1, P3, P7) Interférer avec la vitesse et le choix de voie du véhicule dans un trafic dense (P6)	Interférer avec la trajectoire du véhicule lors d'un recentrage automatisé (P6)
3) S-A	Surveiller l'état du trafic environnant (nombre et type de véhicules, leur comportement, clignotants, etc.).	Anticiper un ralentissement avant un embouteillage (P1, P7) Anticiper l'insertion de véhicules à l'approche d'une voie d'insertion (P1) Être surpris par le freinage du véhicule précédent car surveille les motards via le rétroviseur (P6)	N/A
4) I-O	Le véhicule automatisé gère la situation différemment d'un conducteur humain.	Incompréhension lors du recentrage automatisé dans la voie (P1, P3, P7) Ressentir un manque d'anticipation lors d'un freinage brusque (P6, P8) Ressentir un manque de proactivité lorsque le trafic est dense (P6)	Ressentir un manque d'anticipation lors d'un freinage brusque (P1, P7) Incompréhension lors du recentrage automatisé dans la voie (P6)

5) S-I-A	Vérifier sur la SA View que le système perçoit les mêmes informations que lui concernant le trafic environnant.	N/A	N/A
----------	---	-----	-----

Tableau 33 : Difficultés identifiées chez les participants du Groupe 1 « didacticiel » en fonction des relations et médiations en jeu dans les situations de la Classe B.

Légende : S = Session, P = Participant

- S-I-S : médiation réflexive Sujet – Instrument – Sujet
- S-O : relation Sujet – Objet de l'activité
- S-A : relation Sujet – Autres sujets
- I-O : relation Instrument – Objet de l'activité
- S-I-A : médiation Sujet – Instrument – Autres sujets

Ce tableau nous montre que presque toutes les relations et médiations sont impactées par des difficultés en Session 1. Nous retrouvons ainsi des difficultés à inhiber certains schèmes automatisés de la conduite traditionnelle pour la médiation réflexive S-I-S (1), principalement le freinage pour trois participants, mais aussi le fait de tourner le volant pour un participant. La surveillance de l'état de la conduite, relation S-O (2), semble également être source de difficultés, notamment lors des recentrages automatisés dans la voie qui provoquent des reprises en main chez trois participants. La surveillance de l'état du trafic environnant, relation S-A (3), entraîne aussi des reprises en main, notamment à l'approche des embouteillages où deux participants ont préféré anticiper plutôt que de laisser le véhicule faire. Nous observons un comportement similaire à l'approche d'une voie d'insertion pour un autre participant. Enfin, le comportement du véhicule automatisé, qui concerne la relation I-O (4), provoque quelques incompréhensions, principalement lorsqu'il se recentre dans la voie (trois participants ont préféré désactiver). Deux participants ont aussi désactivé lors de ralentissements forts et soudain, estimant que le véhicule automatisé n'anticipait pas suffisamment. Dans tous ces exemples, le diagnostic et le pronostic de la situation semble activer un schème de la conduite traditionnelle entraînant la prise de décision d'agir pour reprendre le contrôle latéral et/ou longitudinal du véhicule. Cela traduit un manque de connaissances opérationnelles sur le fonctionnement du système.

Pour la Session 2, nous observons deux difficultés liées à l'inhibition du schèmes automatisés de freinage pour la médiation réflexive S-I-S (1), chez deux conducteurs estimant que le véhicule n'anticipe pas suffisamment (relation I-O (4)). Nous observons également une difficulté liée à la surveillance de la conduite concernant la relation S-O (2), lors d'un recentrage dans la voie provoquant une incompréhension chez le conducteur (relation I-O (4)) et donc une reprise en main. De la même manière que pour la Session 1, ces exemples

semblent indiquer un manque de connaissances sur le fonctionnement du système, qui aboutit à un diagnostic/pronostic de la situation activant un schème de la conduite traditionnelle pour reprendre le contrôle latéral et/ou longitudinal.

Comme pour les situations de la Classe A, nous avons souhaité pousser l'analyse encore plus loin en catégorisant les difficultés identifiées en fonction des sous-buts spécifiques à l'activité du conducteur dans les situations de la Classe B. Le Tableau 34 ci-dessous présente ces résultats.

Difficultés	Sous-but 1	Sous-but 2	Sous-but 3	Total
Session 1				
Incompréhension lors du recentrage entraînant une reprise en main	-	P1, P3, P7	P1, P3, P7	N=3
Réflexe de freiner à l'approche d'un embouteillage	-	-	P1, P7	N=2
Réflexe de freiner lors d'un ralentissement fort et soudain	-	P6, P8	P6, P8	N=2
Réflexe de tourner le volant pour changer de voie en voyant des véhicules arriver par la voie d'insertion	-	-	P1	N=1
Réflexe de freiner lorsque le véhicule précédent freine par surprise car trop concentré sur les motards via le rétroviseur	P6	-	P6	N=1
Désactiver pour aller plus vite et doubler lorsque le trafic est dense	-	P6	-	N=1
Total Session 1	N=1	N=6	N=9	
Session 2				
Réflexe de freiner lors d'un ralentissement fort et soudain	-	P1, P7	P1, P7	N=2
Incompréhension lors du recentrage entraînant une reprise en main	-	P6	P6	N=1
Total Session 2	N=0	N=3	N=3	
Total Session 1 et Session 2	N=1	N=9	N=12	

Tableau 34 : Difficultés rencontrées par les participants du Groupe 1 « didacticiel » en fonction des sous-buts liés à l'activité des conducteurs dans les situations de la Classe B.

Légende : P = Participant

- Sous-but 1 : surveiller le déroulement de la situation.
- Sous-but 2 : comprendre le comportement du véhicule automatisé.
- Sous-but 3 : inhiber les automatismes de contrôle latéral et/ou longitudinal.

Concernant le Sous-but 1, que ce soit en Session 1 ou en Session 2, nous constatons qu'il n'entraîne que très peu de difficulté car les participants étaient toujours pleinement conscients de la situation de conduite en restant dans une posture de surveillance. Seul le Participant 6 en Session 1 a été surpris par le freinage du véhicule précédent car il était en train d'utiliser le didacticiel et ne regardait pas la route à ce moment-là. Les autres participants qui évoquent

ces situations montrent clairement qu'ils surveillaient la route et étaient pleinement conscients de l'environnement de conduite. En effet, le Participant 7 revient sur la situation de recentrage automatisé en disant : « *En voyant qu'une voiture arrivait derrière, j'ai dû accélérer pour pouvoir remonter dans la limite de vitesse* ». Le Participant 8, quant à lui, parle de la situation de ralentissement fort et soudain et dit : « *la distance était de plus en plus réduite. Vu qu'avant il gérait des distances de 30 ou 40 mètres, là d'un coup, arriver à 10 mètres, on n'est pas toujours sûr qu'il va freiner* ». Concernant la voie d'insertion, le Participant 1 évoque le potentiel danger de cette situation : « *Je me dis que c'est un peu dangereux pour le motard qui est dans l'angle mort, et les voitures qui prennent la bretelle* ». Ces exemples de verbatim montrent que quatre participants sur les cinq ayant repris la main dans des situations de la Classe B en Session 1 ont continué à surveiller la route comme s'ils conduisaient encore. Les quatre autres participants du Groupe 1, dont le Participant 6, ont alterné entre la surveillance de la route et l'utilisation d'un smartphone (ou du didacticiel) lorsqu'ils étaient en conduite automatisée.

Pour le Sous-but 2 (comprendre le comportement du véhicule automatisé), seulement trois situations sensibles de la Classe B ont provoqué une reprise en main. D'abord le recentrage automatisé dans la voie a généré une incompréhension chez trois participants sur quatre en Session 1, et deux participants sur quatre en Session 2. Parmi eux, trois participants ont décidé de reprendre la main en Session 1, et un seul en Session 2. Le Participant 1 rapporte ne pas être rassuré à ce moment-là : « *Là il panique un peu. Je reprends les commandes parce que je suis un peu moins rassuré* ». Il revient sur le sujet lors de l'entretien en essayant de trouver une explication au comportement du véhicule : « *J'ai l'impression que, des fois, il a du mal à analyser la zone s'il y a des virages* ». Le Participant 7 aussi évoque le virage comme étant source du problème : « *Le véhicule ne savait plus trop, vu qu'il doit rester au milieu de la voie, se positionner dans le virage, et du coup, voilà* ». Des difficultés liées à la compréhension du comportement du véhicule automatisé sont aussi constatées lors de situations de ralentissement fort et soudain. En effet, les participants 6 et 8, qui ont décidé de freiner à la place du véhicule automatisé, évoquent tous deux un manque d'anticipation du véhicule qui freine trop tard selon eux, provoquant un sentiment de peur. Au moment de la situation, le Participant 6 s'est exclamé : « *Mais c'est hyper dangereux ! Je lui fais pas confiance, on est proche là quand même* », puis il revient dessus lors de l'entretien en disant : « *J'ai eu peur. En fait, je pensais qu'il était capable de gérer le freinage. Parce que ce n'était pas un freinage rapide, c'était un freinage normal que tout le monde peut anticiper. Et pour moi, il n'a pas freiné en fait. J'ai dû reprendre la main. Mais il ne freinait pas, en fait* ». Ce sentiment est partagé par cinq participants sur huit en Session 1, et deux participants sur huit en Session 2 (les participants 1 et 7 ayant freiné à la place du véhicule automatisé). La

troisième et dernière difficulté de compréhension concerne le comportement du véhicule automatisé lorsque le trafic est dense. En effet, la moitié des participants, dont le Participant 6 qui a décidé de reprendre la main lors de la Session 1, estiment que le style de conduite du véhicule automatisé n'est pas assez dynamique.

En ce qui concerne le Sous-but 3 (inhiber les automatismes de contrôle latéral et/ou longitudinal), les difficultés identifiées sont principalement liées au schème automatisé du freinage lorsque les participants détectent un événement qui nécessite de freiner rapidement en conduite traditionnelle. En Session 1, ce sont cinq participants qui n'ont pas su inhiber ce schème. Les participants 1, 3 et 7 ont tous les trois saisi le volant et interféré avec la direction pour recentrer le véhicule automatisé, ce qui entraîne une désactivation de la conduite automatisée. Quant aux participants 1 et 7, ils ont freiné dès qu'ils ont aperçu l'embouteillage au loin, avant même que le véhicule commence à freiner de manière automatisée. Lors de l'évènement, le Participant 1 dit qu'il préfère freiner lui-même : « *Y'a des bouchons donc je préfère moi-même freiner. Je trouve qu'il n'a pas assez anticipé* ». Il confirme son ressenti lors de l'entretien de fin de session : « *Il y a eu aussi les bouchons. Je l'ai laissé un petit peu parce que je voulais voir s'il allait réagir. Pour moi, du coup, il n'a pas réagi. Il allait peut-être réagir après, mais j'ai préféré reprendre la main parce que je devais être à 100 ou 110. Donc, sauf s'il y a des bouchons, il faut quand même pouvoir anticiper, pouvoir freiner. Parce qu'il y avait des voitures derrière* ». Il va même plus loin en nous disant qu'il préférerait que le véhicule le prévienne et lui demande de reprendre la main dans ce type de situation : « *Je pense qu'il devrait, à la limite, détecter et nous dire « Attention, bouchon, reprendre la main tout de suite ». Là, il ne m'a rien dit, il continuait* ». Le Participant 7, quant à lui, évoque le manque de confiance et un schème d'utilisation du régulateur de vitesse : « *C'est peut-être un manque de confiance en la machine de reprendre la main quand la situation se complique un peu. C'était plus un réflexe. Ça freine, donc... Un peu comme les régulateurs et tout ça, dès que... On reprend la main. C'était plutôt dans ce réflexe-là. On essaie, avec le régulateur, d'anticiper, de reprendre la main un peu avant pour pouvoir... Du coup c'est probablement pour ça que j'ai fait la reprise* ». Sur le coup, le Participant 8 nous rapporte ne pas savoir si le freinage est l'effet de son action ou si c'est le véhicule automatisé : « *C'est lui qui a freiné ? parce que j'ai freiné en même temps* ». Il confirme cette interrogation lors de l'entretien : « *Il était en mode autonome et j'ai été surpris qu'il freine assez tard. D'ailleurs, je ne me souviens plus si à un moment j'ai freiné ou il a ralenti en même temps* » ; Et nous explique que c'était un automatisme : « *Plutôt un réflexe parce que je ne le voyais pas freiner. Je me demande s'il allait freiner ? Je suppose que oui* ». Lors de la Session 2, seuls les participants 1 et 7 ont réitéré ce réflexe. Le Participant 1 confirme son point de vue de la première session : « *Pour moi, c'était quand même un petit peu au dernier moment, je pense, puisque c'était vraiment à*

l'arrêt, ce n'était pas un ralentissement. Donc je crois qu'au dernier moment, j'ai dû freiner, de mémoire, parce que c'était vraiment un peu juste ». Il évoque une émotion négative forte dans ce type de situation, mais rapporte avoir essayé de laisser faire le véhicule plus longtemps qu'en Session 1 (lors de laquelle il a repris en main dès qu'il a vu l'embouteillage au loin) : « *Je l'ai quand même laissé pour tester un peu sa limite, mais ça serait à refaire, je pense que je freinerais. Enfin, j'aurais déjà repris quelques secondes avant, deux, trois secondes avant, la main. J'aurais freiné, là c'était vraiment pour voir jusqu'où ça pouvait aller* ». Enfin, seul le Participant 1 n'a pas su inhiber le schème de contrôle latéral pour changer de voie à l'approche d'une voie d'insertion. Cela s'est produit uniquement lors de la première session.

Nous pensons qu'il est pertinent de noter également les situations dans lesquelles les participants se sont rapprochés des commandes sans reprendre la main, parvenant à inhiber leur action avant qu'elle n'interfère avec la conduite automatisée. Lors de la première session, le Participant 6 a rapproché son pied droit des pédales dans quatre situations : un changement de voie automatisé, le « *lane-split* », le « *lane-merge* », et lors d'un « *cut-in* ». Il a également à la fois posé ses mains sur le volant et rapproché son pied des pédales lorsqu'un poids-lourd l'a dépassé alors qu'il était en mode automatisé. Le Participant 7 a également eu ce même comportement en arrivant à hauteur d'une voie d'insertion, et lors d'un « *cut-in* ». Le Participant 2, quant à lui, a uniquement rapproché son pied des pédales lors d'un ralentissement fort et soudain. En Session 2, seul le Participant 6 a rapproché son pied des pédales lors d'un recentrage automatisé dans la voie, il a également à la fois posé ses mains sur le volant et rapproché son pied des pédales lors d'un embouteillage, et a uniquement posé ses mains sur le volant lors d'un passage à hauteur d'une voie d'insertion.

Pour finir on notera également des incompréhensions concernant la limite de vitesse à 110 km/h (cinq participants en Session 1, et deux participants en Session 2), des frayeurs concernant les poids-lourds (deux participants en Session 1 seulement), et des surprises lors de changements de voie automatisés (quatre participants en Session 1 seulement). Quelques participants ont également été surpris par les « *lane-split* » et « *lane-merge* », sans trop comprendre pourquoi le véhicule automatisé suivait instinctivement la ligne blanche de droite (un participant en Session 1, et quatre participants en Session 2). Plusieurs participants évoquent un manque de confiance envers le véhicule automatisé dans la gestion des situations de la Classe B (cinq participants en Session 1, et cinq participants en Session 2). Enfin, six participants sur les huit comparent le fonctionnement du mode automatisé à celui du régulateur de vitesse et y trouvent des similarités.

En conclusion, nous observons que les participants du Groupe 1 « didacticiel » ont plus souvent laissé le véhicule gérer ces situations lors de la Session 2 que lors de la Session 1.

Cela peut potentiellement traduire une meilleure connaissance des capacités et des limites de véhicule automatisé, une meilleure compréhension de son style de conduite, et une confiance accrue envers le système. Autrement dit, les participants de ce groupe sont parvenus à inhiber certains de leurs schèmes automatisés de la conduite traditionnelle. Notons qu'à l'échelle individuelle, seuls les participants 1 et 7 reproduisent la même difficulté dans les deux sessions ; difficulté qui concerne le schème de freinage lors d'un ralentissement fort et soudain. Cette situation, ainsi que la situation de recentrage automatisé dans la voie, sont les deux situations de la Classe B les plus difficiles à appréhender pour les participants du Groupe 1. Nous constatons que des difficultés perdurent pour les sujets qui peuvent avoir peur dans certaines situations. Les deux sessions ne sont pas suffisantes pour qu'un nouveau schème puisse émerger.

11.3.2.2. Les conducteurs du Groupe 2 « sans didacticiel » parviennent-ils à laisser le véhicule gérer les situations qu'il gère différemment d'un conducteur humain ?

Les situations de la Classe B vécues par les participants du Groupe 2 « sans didacticiel » sont les mêmes que celles vécues par les participants du groupe précédent. Nous retrouvons donc les « ping-pong » et recentrages automatisés dans la voie, le trafic dense et les embouteillages, les passages à hauteur de voies d'insertion, les changements de voie automatisés, les ralentissements forts et soudain, les remontés de file par des motards, les dépassements automatisés de poids-lourds, les poids-lourds qui dépassent le véhicule automatisé, les « *lane-split* » et « *lane-merge* », ainsi que les « *cut-in* » (queues de poisson).

Concernant la Session 1, l'ensemble du Groupe 2 « sans didacticiel » a expérimenté 48 situations sensibles de la Classe B, dont quatre recentrages automatisés dans la voie, quatre ralentissements forts et soudain, huit trafics denses et embouteillages, quatre remontées de file de motards, quatre changements de voie automatisés, quatre dépassements automatisés de poids-lourds, cinq poids-lourds qui dépassent le véhicule automatisé, quatre passages à hauteur d'une voie d'insertion, quatre « *cut-in* », quatre « *lane-split* » et quatre « *lane-merge* ». Dans 12,5% des cas, soit six situations, les participants ont repris le contrôle du véhicule. Sur ces six situations, deux se sont déroulées lors d'un recentrage automatisé dans la voie, une lorsqu'un poids-lourd a dépassé le véhicule automatisé, une lors d'un ralentissement fort et soudain, une lors d'un « *lane-merge* », et une à proximité d'une voie d'insertion. En revanche, les participants du Groupe 2 ne sont pas intervenus et ont laissé le système automatisé gérer les 42 autres situations, soit 87,5% des cas.

Pour la Session 2, l'ensemble de ce groupe a vécu 50 situations sensibles de la Classe B, dont quatre recentrages dans la voie, quatre ralentissements forts et soudain, huit trafics denses et embouteillages, quatre remontées de file de motards, sept changements de voie

automatisés, quatre dépassements automatisé de poids-lourds, trois poids-lourds qui dépassent le véhicule automatisé, quatre passages à hauteur d'une voie d'insertion, quatre « *cut-in* », quatre « *lane-split* » et quatre « *lane-merge* ». Les participants ont repris le contrôle du véhicule dans 4% des cas, soit deux situations. Cela s'est déroulé lors d'un recentrage automatisé dans la voie, et lors d'un ralentissement fort et soudain. Au contraire, les participants ont laissé le système automatisé gérer les 48 autres situations, soit 96% des cas.

Le Tableau 35 ci-dessous résume les résultats des paragraphes précédents afin d'avoir une vue d'ensemble et de comparer les deux sessions pour le Groupe 2 « sans didacticiel ».

Situations de la Classe B	Session 1			Session 2		
	Laisse faire (+)	Reprend la main (-)	Total	Laisse faire (+)	Reprend la main (-)	Total
Recentrage automatisé dans la voie	2	2	4	3	1	4
Ralentissement fort et soudain	3	1	4	3	1	4
Trafic dense et embouteillage	8	0	8	8	0	8
Remontée de file de motards	4	0	4	4	0	4
Changement de voie automatisé	4	0	4	7	0	7
Dépassement automatisé d'un poids-lourd	4	0	4	4	0	4
Poids-lourd qui dépasse le véhicule automatisé	4	1	5	3	0	3
Passage à hauteur d'une voie d'insertion	3	1	4	4	0	4
Cut-in	3	0	3	4	0	4
Lane-split	4	0	4	4	0	4
Lane-merge	3	1	4	4	0	4
Total	42 (87,5%)	6 (12,5%)	48 (100%)	48 (96%)	2 (4%)	50 (100%)

Tableau 35 : La gestion des situations sensibles de la Classe B lors des sessions 1 et 2 du Groupe 2 « sans didacticiel ».

Dans le but d'identifier les relations et médiations ayant été sources de difficultés pour les participants de ce groupe, le Tableau 36 présente la catégorisation des difficultés identifiées en fonction de ces relations et médiations.

Relations	Descriptions	Difficultés en S1	Difficultés en S2
1) S-I-S	Se rapprocher des commandes mais inhiber son action.	Réflexe de freiner (P6) Réflexe de tourner le volant (P5, P6, P7) Tenter de désactiver par l'accélérateur mais ne pas appuyer suffisamment (P2)	Réflexe de freiner (P7) Réflexe de tourner le volant (P2, P5) Tenter de désactiver par le volant mais ne pas le tourner suffisamment (P5)
2) S-O	Surveiller l'état de la conduite (vitesse, voie, direction, etc.).	Interférer avec la trajectoire du véhicule lors d'un recentrage automatisé (P5, P7) Interférer avec la trajectoire du véhicule lors d'un lane-merge (P6) Interférer avec la vitesse du véhicule lorsqu'un poids-lourd dépasse (P8)	Interférer avec la trajectoire du véhicule lors d'un recentrage automatisé (P2) Interférer avec la vitesse du véhicule lorsqu'un poids-lourd dépasse (P3) Être surpris par le changement de voie lors d'un lane-split (P5)
3) S-A	Surveiller l'état du trafic environnant (nombre et type de véhicules, leur comportement, clignotants, etc.).	Anticiper l'insertion de véhicules à l'approche d'une voie d'insertion (P3) Être frustré qu'un poids-lourd dépasse le véhicule automatisé (P2, P8)	Être frustré qu'un poids-lourd dépasse le véhicule automatisé (P3)
4) I-O	Le véhicule automatisé gère la situation différemment d'un conducteur humain.	Incompréhension lors du recentrage automatisé dans la voie (P5, P7) Ressentir un manque d'anticipation lors d'un freinage brusque (P6) Ressentir un manque de dynamisme lorsqu'un poids-lourd dépasse (P2, P8) Incompréhension lors d'un changement de voie lié à un « lane-merge » (P6)	Incompréhension lors du recentrage automatisé dans la voie (P2) Ressentir un manque d'anticipation lors d'un freinage brusque (P7) Ressentir un manque de dynamisme lorsqu'un poids-lourd dépasse (P3) Incompréhension lors d'un changement de voie lié à un « lane-split » (P5)
5) S-I-A	Vérifier sur la SA View que le système perçoit les mêmes informations que lui concernant le trafic environnant.	N/A	N/A

Tableau 36 : Difficultés identifiées chez les participants du Groupe 2 « didacticiel » en fonction des relations et médiations en jeu dans les situations de la Classe B.

Légende : S = Session, P = Participant

- S-I-S : médiation réflexive Sujet – Instrument – Sujet
- S-O : relation Sujet – Objet de l'activité
- S-A : relation Sujet – Autres sujets
- I-O : relation Instrument – Objet de l'activité
- S-I-A : médiation Sujet – Instrument – Autres sujets

Ces résultats montrent que toutes les relations et médiations sont impactées par des difficultés en Session 1, exceptée la médiation S-I-A (5) qui n'est pas systématiquement présente dans cette classe de situation. Nous observons des difficultés liées à l'inhibition de certains schèmes automatisés de la conduite traditionnelle pour la médiation réflexive S-I-S (1). Cela concerne le schème du freinage pour le Participant 6, le schème du contrôle latéral en tournant le volant pour les participants 5, 6 et 7, et le schème d'accélération pour le Participant 2. La relation S-O (2) relative à la surveillance de l'état de la conduite, est aussi source de difficultés, principalement lorsque le véhicule automatisé cherche à se recentrer dans la voie provoquant une reprise en main pour les participants 5 et 7. Cette relation est également source de difficultés lorsque le véhicule change de voie à cause d'un « *lane-merge* » (Participant 6), et quand sa vitesse est remise en question car il se fait dépasser par un poids-lourd (Participant 8). La surveillance de l'état du trafic environnant, relation S-A (3), entraîne aussi des difficultés pour le Participant 3 qui reprend la main pour anticiper une voie d'insertion, et pour les participants 2 et 8 qui semblent surpris et frustrés qu'un poids-lourd les dépasse. Enfin, la relation I-O (4), relative au comportement du véhicule automatisé, est source d'incompréhension lors des recentrages automatisés dans la voie pour les participants 5 et 7, et lors d'un changement de voie en raison d'un « *lane-merge* » pour le Participant 6. Aussi, deux participants ressentent un manque de dynamisme du véhicule automatisé lorsque celui-ci se fait dépasser par un poids-lourd, et un autre participant ressent un manque d'anticipation lors d'un ralentissement fort et soudain. Un manque de connaissances opérationnelles sur le fonctionnement du système semble être à l'origine d'un diagnostic et d'un pronostic de ces situations qui entraînent l'activation d'un schème de la conduite traditionnelle pour prendre la décision d'agir pour reprendre le contrôle longitudinal et/ou latéral du véhicule.

Pour la Session 2, les difficultés identifiées touchent également toutes les relations et médiations en jeu dans les situations de la Classe B, exceptée la médiation S-I-A (5). Ainsi, pour la médiation S-I-S (1) nous retrouvons l'activation du schème de freinage chez le Participant 7, et de contrôle latéral en tournant le volant chez les participants 2 et 5. La relation S-O (2) est en lien avec trois difficultés touchant trois participants différents. La première concerne le recentrage dans la voie (Participant 2), la deuxième concerne la vitesse du véhicule automatisé lorsqu'il se fait doubler par un poids-lourd (Participant 3), et la troisième concerne le changement de voie lors d'un « *lane-split* » (Participant 5). La relation S-A (3) est source de difficulté pour le Participant 3 qui semble surpris et frustré qu'un poids-lourd le dépasse. Enfin, la relation I-O (4) provoque une incompréhension pour le Participant 2 lors d'un recentrage automatisé dans la voie, et pour le Participant 5 lors d'un changement de voie causé par un « *lane-split* ». Le Participant 3, quant à lui, ressent un manque de dynamisme du véhicule automatisé lorsqu'il se fait dépasser par un poids-lourd, et le Participant 7 ressent

un manque d'anticipation lors d'un ralentissement fort et soudain. Comme pour la première session, le manque de connaissance sur le fonctionnement du système entraîne un diagnostic/pronostic de ces situations qui provoquent l'activation d'un schème de contrôle latéral et/ou longitudinal.

Nous avons poussé l'analyse plus loin en catégorisant les difficultés identifiées en fonction des sous-buts spécifiques à l'activité du conducteur dans les situations de la Classe B. Le Tableau 37 ci-dessous présente ces résultats.

Difficultés	Sous-but 1	Sous-but 2	Sous-but 3	Total
Session 1				
Incompréhension lors du recentrage entraînant une reprise en main	-	P5, P7	P5, P7	N=2
Désactiver pour anticiper le passage à côté d'une voie d'insertion	-	-	P3	N=1
Réflexe de freiner lors d'un ralentissement fort et soudain	-	P6	P6	N=1
Vouloir désactiver pour aller plus vite lorsqu'un poids-lourd dépasse le véhicule automatisé	-	P2, P8	-	N=2
Réflexe de tourner le volant lors d'un changement de voie causé par un « lane-merge »	-	P6	P6	N=1
Total Session 1	N=0	N=7	N=5	
Session 2				
Incompréhension lors du recentrage entraînant une reprise en main	-	P2	P2	N=1
Réflexe de freiner lors d'un ralentissement fort et soudain	-	P7	P7	N=1
Vouloir désactiver pour aller plus vite lorsqu'un poids-lourd dépasse le véhicule automatisé	-	P3	-	N=1
Réflexe de tourner le volant lors d'un changement de voie causé par un « lane-split »	-	P5	P5	N=1
Total Session 2	N=0	N=4	N=3	
Total Session 1 et Session 2	N=0	N=11	N=8	

Tableau 37 : Difficultés rencontrées par les participants du Groupe 2 « sans didacticiel » en fonction des sous-buts liés à l'activité des conducteurs dans les situations de la Classe B.

Légende : P = Participant

- Sous-but 1 : surveiller le déroulement de la situation.
- Sous-but 2 : comprendre le comportement du véhicule automatisé.
- Sous-but 3 : inhiber les automatismes de contrôle latéral et/ou longitudinal.

Pour commencer, nous n'observons aucune difficulté liée au Sous-but 1 (surveiller le déroulement de la situation), ni en Session 1 ni en Session 2, chez les participants du Groupe

2 « sans didacticiel ». Cela signifie que ces derniers ont toujours surveillé la route lors des phases de conduite automatisée, et qu'ils étaient toujours pleinement conscients de l'environnement de conduite dans les situations de la Classe B. Le schème de surveillance de la conduite traditionnelle semble s'être assimilé chez l'ensemble des participants de ce groupe. Nous n'observons aucun indice d'une quelconque transformation de ce schème durant les deux sessions. Plusieurs verbalisations vont effectivement dans ce sens. Lors de la première session, le Participant 1 évoque, par exemple, une petite incompréhension lors du recentrage automatisé dans la voie : « *J'allais dire qu'il épouse bien la trajectoire mais là il bouge un peu, je sais pas pourquoi. C'est pas très dangereux, mais dans le virage il y a eu quelques petits travers* ». Le Participant 4 nous partage son étonnement lorsqu'un poids-lourd le double : « *Il prend des risques. Le camion n'a pas à me doubler par la voie de gauche, en plus en plein brouillard* ». Autre exemple, lors d'un ralentissement fort et soudain suivi d'un embouteillage, le Participant 6 explique que la façon de faire du système automatisé ne lui convient pas : « *Bon là ça à l'air de respecter mais c'était flippant tout à l'heure. J'ai l'impression que ça pile juste derrière. Vu que moi j'ai tendance à anticiper je serai un peu flippé. Elle s'arrête trop près des autres véhicules* ». Lors de la Session 2, le Participant 4 semble satisfait par le choix du véhicule automatisé de changer de voie : « *Il a fait exactement ce que je pensais qu'il allait faire* ». Lorsque le Participant 2 passe à hauteur d'une voie d'insertion en mode automatisé, il nous explique qu'il préfère surveiller la route plutôt que d'utiliser son smartphone : « *Là je crois que j'aurais encore un peu de mal à prendre mon téléphone et regarder mon téléphone au lieu de la route* ».

Concernant le Sous-but 2 (comprendre le comportement du véhicule automatisé), il est impliqué dans quatre sur cinq difficultés observées en Session 1, et dans les quatre difficultés observées en Session 2. Lors de la première session, les participants 5 et 7 ne comprennent pas le comportement du véhicule lorsque celui-ci cherche à se recentrer dans la voie, de même que le Participant 2 en Session 2. Cette incompréhension les pousse à décider de reprendre la main pour gérer la situation eux-mêmes. Au moment de l'entretien le Participant 5 nous explique qu'il a attendu de voir si le véhicule parvenait à se recentrer, mais que cela prenait trop de temps et qu'il a donc préféré reprendre la main : « *J'ai trouvé ça bizarre. J'ai eu un peu peur, je me suis dit "Houlà, on va rentrer dans l'obstacle". [...] J'ai attendu et puis je me suis dit "ça va reprendre tout seul", mais je crois que je n'ai pas attendu assez en fait. Je pense que j'ai touché le volant. Pour me remettre droit dans la ligne, pour ne pas avoir un accident* ». Le Participant 7, quant à lui, revient sur cette situation en nous partageant son ressenti : « *Eh bien ça, très inconfortable. C'est comme si, presque, on avait crevé, ou qu'il y avait un peu de verglas. Quand ça m'arrive dans la réalité, je n'aime pas ça. C'est pour ça que la première fois j'avais repris la main. Parce que je pensais que les écarts pouvaient être*

encore plus importants et qu'à la limite, on allait sortir de la route ». Le Participant 6 (en Session 1) et le Participant 7 (en Session 2), ont tous deux freiné, et donc repris la main, lors d'un ralentissement fort et soudain car ils avaient l'impression que le véhicule ne le faisait pas. Le Participant 6 est d'ailleurs très étonné au moment de la situation : « *Elle s'est pas arrêtée toute seule ? D'accord...* ». Il revient sur cet événement lors de l'entretien pour nous donner plus d'explication sur ses attentes : « *J'aurais aimé qu'elle puisse piler un peu en avance, ralentir, tout du moins, comme si on arrivait à un péage, et préparer les warnings, comme nous faisons manuellement. C'est-à-dire que tout ce que moi je fais manuellement, c'est censé m'en soulager de façon automatisée* ». Le Participant 7 généralise le comportement du véhicule en comparant avec la première session : « *J'étais attentif parce que je commence un peu à la connaître : la dernière fois, je trouvais aussi qu'elle ralentissait un peu trop tard. Là, j'ai l'impression qu'elle ralentit tard et fort. Comme presque un freinage d'urgence* ». Les participants 2 et 8 (en Session 1), et le Participant 3 (en Session 2), se posent des questions concernant la façon dont le système gère la vitesse lorsqu'ils se font dépasser par un poids-lourd. Le Participant 2 nous demande : « *Parce que lui (le véhicule automatisé) il a un radar. Est-ce qu'il régule la vitesse en fonction de ça ou c'est juste en fonction de la circulation ?* ». Alors que le Participant 8 revient sur cette situation gênante qui a entraîné une reprise en main en disant : « *J'ai l'impression que c'est dangereux. Un camion c'est gros, je ne sais pas, le fait que ce soit un camion, déjà en règle générale quand on a une petite voiture et qu'il y a un gros camion à côté, on fait attention. Là, le fait de ne pas avoir le contrôle, c'est gênant. J'ai voulu reprendre le volant* ». Pour finir avec le Sous-but 2, le Participant 6 (en Session 1) et le Participant 5 (en Session 2) ont été surpris par le changement de voie du véhicule automatisé lors d'un « *lane-merge* » pour le premier, et lors d'un « *lane-split* » pour le second. Lors de l'entretien le Participant 6 évoque une instabilité et un manque de fluidité du véhicule automatisé : « *La voiture n'était pas stable, elle partait un peu dans tous les sens. Pour se remettre droit, j'aurais attendu beaucoup plus de fluidité, pour justement me rassurer. C'est-à-dire que je fais autre chose, je suis sur mon téléphone, je lève juste les yeux et je vois que ça fait ça : tout de suite, je vais être prise de panique. Manque de fluidité sur la route* ». Quant au Participant 5, il dit avoir voulu reprendre la main car il a eu peur mais qu'il a pu refaire confiance au véhicule en voyant qu'il avait finalement bien géré la situation en mode automatisé : « *J'ai eu peur pendant 2 secondes. Après j'ai refait confiance, je me suis dit "Bon, si c'est en mode automatisé c'est que normalement, ça doit bien se passer". Et en fait, ça s'est bien passé* ». En effet, ce dernier a tenté de reprendre la main mais sans succès dans cette situation. Ici, le manque de connaissance du fonctionnement du système, principalement concernant ses capacités, entraîne une incompréhension de la relation I-O et un manque de confiance qui poussent les participants à intervenir pour gérer ces situations manuellement.

Pour le Sous-but 3 (inhiber les automatismes de contrôle latéral et/ou longitudinal), trois difficultés sur les quatre qui concernent ce sous-but en Session 1 sont liées au schème automatisé du contrôle latéral via le volant. Ce schème intervient pour aller à l'encontre de ce que fait le véhicule automatisé lors du recentrage automatisé dans la voie (participants 5 et 7), ou lors d'un changement de voie automatisé causé par un « *lane-merge* » (Participant 6). Lors de l'entretien le Participant 5 nous dit : « *Je pense que j'ai touché le volant. Pour me remettre droit dans la ligne, pour ne pas avoir un accident* ». En revanche, le Participant 6 prend du recul sur cette situation lors de l'entretien et dit avoir pris conscience que cette action n'était finalement pas utile : « *J'ai tenu le volant. J'ai retenu le volant, alors que ce n'est pas nécessaire puisque c'est un automatisé. En fait, ça a été la réaction, la réactivité, l'habitude de se dire : "Là, il y a un obstacle : allez hop, on gère." Mais ça ne servait à rien. Je me suis rendu compte après qu'elle s'était remise sur le droit chemin, donc ça n'a duré que quelques secondes, mais c'est vrai que c'était assez surprenant* ». Ce schème de contrôle latéral via le volant intervient également lorsque le Participant 3 anticipe une situation jugée critique : le passage à hauteur d'une voie d'insertion. D'ailleurs, ce dernier panique un peu en voulant reprendre le volant et fait un écart dans la voie. Néanmoins, il n'évoque pas cette situation lors de l'entretien de fin de session. Pour finir avec la Session 1, nous retrouvons aussi une difficulté liée à l'inhibition du schème de freinage lors d'un ralentissement fort et soudain pour le Participant 6. Ce dernier nous explique qu'il a douté des capacités du véhicule automatisé et qu'il a donc freiné à sa place : « *C'est là que j'ai eu justement le doute de la voiture qui n'allait pas freiner. Donc j'ai freiné moi-même. J'ai trouvé qu'elle ne respectait pas assez la distance de sécurité. Elle s'est trop rapprochée* ». Concernant la deuxième session, trois difficultés sont en lien avec le Sous-but 3. Nous retrouvons encore le schème de contrôle latéral lors d'un recentrage automatisé (Participant 2), et lors d'un changement de voie automatisé causé par un « *lane-split* » (Participant 5). Le Participant 2 précise qu'il a posé les mains sur le volant mais qu'il n'a pas repris la main tout de suite : « *J'ai approché mes mains, peut-être même posé mes mains sur le volant. Pour pouvoir reprendre la main rapidement au cas où. [...] je pense que dans une situation réelle, je pense que j'aurais repris la main plus rapidement* ». A l'inverse, le Participant 5 indique qu'il a mis un coup de volant mais que cela n'a pas désactivé la conduite automatisée (certainement car il n'était pas assez fort) : « *J'ai mis un coup de volant, mais est-ce que ça a changé le mode ? Je ne pense pas. Ce qui était un peu bizarre pour le coup. Parce que je pensais qu'avec un coup de volant, ça allait vraiment comme le régulateur et le limiteur... Je pensais vraiment que ça allait couper le mode sur lequel j'étais* ». Enfin, lors de la Session 2 le Participant 7 a lui aussi freiné lors d'un ralentissement fort et soudain. Au moment de la situation il nous explique qu'il a freiné lui-même car il n'était pas certain des capacités du système : « *Là j'ai freiné parce qu'encore une fois j'étais pas sûr qu'elle allait freiner à temps* ». Certains schèmes de contrôle latéral et/ou

longitudinal de la conduite traditionnelle sont très automatisés, et les participants de ce groupe rencontrent beaucoup de difficultés à les inhiber, aussi bien en Session 1 qu'en Session 2.

Nous souhaitons apporter quelques précisions supplémentaires sur les situations dans lesquelles les participants du Groupe 2 « sans didacticiel » se sont rapprochés des commandes sans reprendre la main. Ces derniers sont parvenus à inhiber leur action avant même que celle-ci n'entraîne la désactivation de la conduite automatisée. En Session 1, le Participant 4 a rapproché son pied droit des pédales dans quatre situations : un ralentissement fort et soudain, un embouteillage, une remontée de file de motards, et lorsqu'un poids-lourd a dépassé le véhicule automatisé. Le Participant 3 a, lui aussi, eu ce comportement lors d'un recentrage automatisé dans la voie et lors d'un embouteillage, tout comme le Participant 5 dans cette même situation, et le Participant 2 lors d'un ralentissement fort et soudain. Le Participant 1, quant à lui, a rapproché uniquement son pied droit des pédales lors d'un « *cut-in* » et lors du passage à hauteur d'une voie d'insertion, mais a également posé ses mains sur le volant pendant un embouteillage. Le Participant 7 a, lui aussi, rapproché son pied des pédales et posé ses mains sur le volant pendant un embouteillage, et le Participant 5 a eu ce comportement uniquement lors d'un changement de voie automatisé. En Session 2, le Participant 4 a rapproché son pied des pédales à six reprises : lors d'un changement de voie automatisé, d'un embouteillage, d'un « *cut-in* », d'un recentrage automatisé, au passage à hauteur d'une voie d'insertion, et lorsque le véhicule automatisé a dépassé un poids-lourd. Le Participant 1 a eu ce comportement dans cinq situations : lors d'un changement de voie automatisé, d'un « *lane-split* », d'un « *lane-merge* », et lorsqu'un poids-lourd l'a dépassé (deux fois). Nous retrouvons également ce comportement chez le Participant 2 pendant un embouteillage, et chez le Participant 5 lors d'un ralentissement fort et soudain. Ce dernier a d'ailleurs à la fois rapproché son pied des pédales et posé ses mains sur le volant lors d'une remontée de file de motards.

Au-delà des difficultés ayant entraînées des reprises en main dans les situations de la Classe B pour les participants du Groupe 2 « sans didacticiel », notons également que ces derniers ont exprimé des incompréhensions, avoir ressenti de l'inconfort, de la surprise, ou même des frayeurs, sans pour autant avoir repris la main dans d'autres situations de la même classe. Concernant les recentrages automatisés dans la voie, un participant exprime son incompréhension, un autre son inconfort et un dernier sa surprise dans cette situation. Pour les ralentissements forts et soudains, trois participants nous rapportent un certain inconfort, et trois autres indiquent avoir eu peur dans cette situation. Pour les changements de voie automatisés, un participant n'a pas compris le choix du véhicule automatisé, et un autre a été légèrement surpris. En ce qui concerne le rapprochement avec des poids-lourds, deux

participants évoquent un certain inconfort, deux autres ne comprennent pas pourquoi un poids-lourd les double, et un dernier exprime sa frustration. Pour les passages à hauteur de voies d'insertion, deux participants expriment de la peur dans cette situation, et un autre trouve cette situation assez inconfortable. Concernant les « *cut-in* », un seul participant exprime à la fois une incompréhension et de l'inconfort. Pour les « *lane-split* » et les « *lane-merge* », deux participants expriment de la peur, quatre participants ne trouvent pas ces situations confortables et un participant exprime à la fois de la surprise et de l'incompréhension dans cette situation. Enfin, trois participants en Session 1, et un seul en Session 2, évoquent un manque de confiance envers le système concernant la gestion des situations de la Classe B ; et deux participants, en Session 2 seulement, comparent le fonctionnement du véhicule automatisé au fonctionnement du régulateur de vitesse.

Pour conclure, nous observons que les participants ont plus souvent laissé le véhicule gérer ces situations lors de la deuxième session que lors de la première. Cela traduit potentiellement une amélioration des connaissances concernant le fonctionnement du véhicule automatisé (notamment ses capacités), une meilleure compréhension de son style de conduite, et une plus grande confiance envers le système. A l'échelle individuelle, seuls les participants 5 et 7 reproduisent la même difficulté concernant l'inhibition d'un schéma de contrôle latéral et/ou longitudinal dans les deux sessions ; et le Participant 3 a tendance à anticiper sur les situations sensibles de la Classe B, ce qui le pousse à intervenir lors des deux sessions. Le recentrage automatisé dans la voie et les ralentissements forts et soudains semblent être les deux situations de la Classe B qui posent le plus de difficultés aux participants du Groupe 2 « sans didacticiel ».

11.3.3. Activité de gestion des situations sensibles de la Classe C (situations ambiguës) en situation

La gestion des situations sensibles de la Classe C est particulière car elle requiert pour les conducteurs de comprendre le fonctionnement du système (en particulier ses limites en situation) et de prendre la décision de désactiver la conduite automatisée sans que le véhicule ne le demande. Dans notre catégorisation, il s'agit de situations se trouvant à la frontière entre les situations sensibles de la Classe B et les situations de désactivation de la Classe D.

Pour rappel, les situations de la Classe C présentes dans les scénarios de simulation sont :

- Circulation dense et chaotique avec insertions intempestives devant le véhicule automatisé (n°23).

- Véhicule d'intervention (police) qui souhaite passer (n°24).

11.3.3.1. Que font les conducteurs du Groupe 1 « didacticiel » dans des situations que le véhicule automatisé ne sait pas qu'il ne sait pas gérer ?

Deux situations sensibles de la Classe C ont été expérimentées par les participants du Groupe 1 « didacticiel » : une situation de circulation dense et chaotique avec insertions intempestives devant le véhicule automatisé, et une situation dans laquelle un véhicule d'intervention (police) arrive derrière le véhicule automatisé et souhaite passer. En nous basant sur les études que nous avons menées, nous considérons que pour gérer ces situations de la façon la plus sécurisée possible, le conducteur doit reprendre la main de sa propre initiative, sans être guidé par le système, et gérer la situation manuellement.

Durant la première session, sept situations sensibles de la Classe C ont été vécues par les participants du Groupe 1 « didacticiel », dont quatre véhicules d'urgence et trois situations de circulation chaotique. Sur les sept situations, seul le Participant 2 a laissé le véhicule en mode automatisé lors de la situation avec le véhicule d'intervention, pour les six autres situations les participants ont tous préféré reprendre la main. Néanmoins, sur ces six reprises en main, deux ne se sont pas très bien passées. En effet, le Participant 6 a repris la main un peu trop tard et a gêné le véhicule d'intervention, tandis que dans la même situation, le Participant 8 a paniqué et a désactivé sans accélérer pour finalement se retrouver quasiment à l'arrêt au milieu de la voie.

Lors de la deuxième session, les participants du Groupe 1 « didacticiel » ont vécu huit situations sensibles de la Classe C, dont quatre véhicules d'intervention et quatre situations de circulation chaotique. Cette fois-ci, tous les participants ont préféré désactiver pour gérer ces situations eux-mêmes. Cependant, lors de la situation de circulation chaotique le Participant 6 a fait un écart dans la voie au moment de la reprise en main et a presque percuté un poids-lourd. Dans la même situation, le Participant 8 a, quant à lui, décidé de reprendre la main lorsque cela n'était plus nécessaire car la circulation reprenait son cours normal.

Le Tableau 38 ci-dessous montre une vue d'ensemble de ces résultats.

Situations de la Classe C	Session 1			Session 2		
	Laisser faire (-)	Reprendre la main (+)	Total	Laisser faire (-)	Reprendre la main (+)	Total
Véhicule d'intervention	P2	P4, P6*, P8*	4	-	P1, P3, P5, P7	4
Circulation dense et chaotique	-	P3, P5, P7	3	-	P2, P4, P6*, P8*	4
Total	1 (14,3%)	6 (85,7%)	7 (100%)	0 (0%)	8 (100%)	8 (100%)

Tableau 38 : La gestion des situations sensibles de la Classe C lors des sessions 1 et 2 par le Groupe 1 « didacticiel ».

Légende : P = Participant ; * Reprise en main non sécurisée ou trop tardive.

Le modèle SACI de la Figure 81 présente les relations et médiations en jeu dans les situations de la Classe C. Il nous permet d'identifier lesquelles sont sources de difficultés pour les participants. Ces résultats sont présentés dans le Tableau 39 dans lequel nous avons catégorisé ces difficultés en fonction de ces relations et médiations.

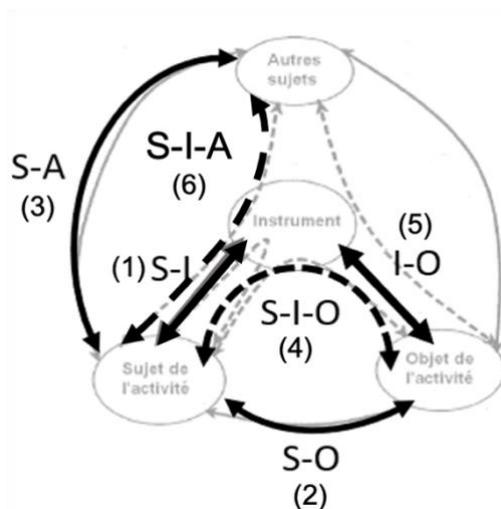


Figure 81 : Rappel du modèle SACI des situations sensibles de la Classe C.

Légende : les flèches noires représentent les relations qui concernent directement le sujet, les flèches pointillées sont les médiations du sujet via l'instrument, et les flèches grises sont les relations qui ne concernent pas directement le sujet.

Relations	Descriptions	Difficultés en S1	Difficultés en S2
1) S-I	Le conducteur vérifie sur les interfaces que la désactivation a été prise en compte.	N/A	N/A
2) S-O	Surveiller l'état de la conduite (vitesse, voie, direction, etc.).	N/A	N/A
3) S-A	Surveiller l'état du trafic environnant (nombre et type de véhicules, leur comportement, clignotants, etc.).	Être sur son téléphone et ne pas être réceptif à la sirène du véhicule d'intervention (P2)	Ne pas vérifier le trafic environnant avant de reprendre la main (P6)
4) S-I-O	Le conducteur prend l'initiative de désactiver et reprend la main au bon moment.	Prendre la décision d'agir trop tardivement (P6) Oublier d'accélérer après avoir désactivé la conduite automatisée (P8)	Prendre la décision d'agir trop tardivement (P8)

5) I-O	Le véhicule automatisé gère la situation différemment d'un conducteur humain.	Ne pas comprendre pourquoi le véhicule automatisé laisse passer tout le monde (P3) Ne pas savoir si le véhicule est capable de gérer la situation (P6)	Ne pas comprendre pourquoi le véhicule automatisé laisse passer tout le monde (P2, P6) Trouver dangereux le fait que le véhicule automatisé freine sans se soucier des véhicules suivants (P6) Trouver le véhicule trop sécurisant (P8)
6) S-I-A	Vérifier sur la SA View que le système perçoit les mêmes informations que lui concernant le trafic environnant.	N/A	N/A

Tableau 39 : Difficultés identifiées chez les participants du Groupe 1 « didacticiel » en fonction des relations et médiations en jeu dans les situations de la Classe C.

Légende : S = Session, P = Participant

- S-I : relation Sujet – Instrument
- S-O : relation Sujet – Objet de l'activité
- S-A : relation Sujet – Autres sujets
- S-I-O : médiation Sujet – Instrument – Objet de l'activité
- I-O : relation Instrument – Objet de l'activité
- S-I-A : médiation Sujet – Instrument – Autres sujets

Ces résultats montrent que les difficultés identifiées lors des deux sessions concernent trois relations et médiations en jeu dans ces situations. Concernant la Session 1, la relation S-A (3) du Participant 2 est source de difficultés pour lui car, regardant son téléphone à ce moment-là, il n'est plus du tout réceptif aux alertes provenant du trafic environnant (sirène du véhicule d'intervention). Cela indique que le schème de surveillance de la conduite traditionnelle de ce participant a quasiment disparu pour laisser place à d'autres activités. Pour le Participant 6, la source de difficulté provient de la médiation S-I-O (4), relative à la prise de décision de désactiver dans le but de gérer la situation manuellement. En effet, ce participant a longuement hésité avant de prendre cette décision et d'agir, ce qui a eu pour effet d'augmenter le risque d'accident avec le véhicule d'intervention. Dans ce cas, le diagnostic et le pronostic de la situation ne permettent pas de prendre la décision d'activer le schème de reprise en main immédiatement. La source de difficulté pour le Participant 8 se situe aussi dans la médiation S-I-O (4), mais concerne la procédure de reprise en main à proprement parler. Ce dernier, paniqué par la situation en a oublié de conduire à nouveau après avoir désactivé la conduite automatisée. Dans ce cas, une confusion existe entre deux schèmes d'utilisation du véhicule automatisé : laisser gérer le véhicule ou conduire manuellement. Pour la relation I-O, nous retrouvons le Participant 3 qui ne comprend pas

pourquoi le véhicule automatisé laisse passer tout le monde, et le Participant 6 qui ne sait pas si le véhicule est capable de gérer la situation avec le véhicule d'intervention. Cela indique un manque de connaissances opérationnelles sur le fonctionnement du véhicule automatisé (en particulier ses limites).

Concernant la Session 2, le Participant 6 a eu des difficultés avec la relation S-A (3) car il n'a pas vérifié l'état du trafic environnant avant de désactiver la conduite automatisée. Ce dernier a été obligé d'effectuer une manœuvre d'évitement pour ne pas percuter un poids-lourd qui était en train de lui couper la route, se retrouvant ainsi quasiment en dehors de la voie. Cela indique que le schème de reprise en main n'est pas complètement constitué (la composante de vérification du contexte de conduite est manquante). Quant au Participant 8, sa source de difficulté réside dans la prise de décision de reprendre la main (médiation S-I-O (4)), puisque comme pour le Participant 6 en Session 1, il a longuement hésité et a fini par désactiver lorsque la situation ne le nécessitait plus vraiment. Le diagnostic et le pronostic de la situation ne permettent pas de prendre la décision d'activer le schème de reprise en main immédiatement. Pour la relation I-O, les participants 2 et 6 ne comprennent pas pourquoi le véhicule automatisé laisse passer tout le monde dans la situation de circulation chaotique. D'ailleurs, le Participant 6 trouve dangereux le fait que le véhicule automatisé freine sans se soucier du véhicule qui le suit, au risque de se faire percuter. Dans cette même situation, le Participant 8 trouve que le véhicule est trop sécurisant et que cela n'est pas agréable. Ces difficultés sont causées par un manque de connaissances sur le fonctionnement du système (ses limites), entraînant une incompréhension de la relation I-O.

Afin d'analyser plus finement ces difficultés, nous les avons catégorisées en fonction des sous-buts du conducteur dans les situations de la Classe C. Ces résultats sont présentés dans le Tableau 40 ci-dessous.

Sous-buts	Difficultés	Situations de la Classe C				Total
		Véhicule d'intervention		Circulation chaotique		
		S1	S2	S1	S2	
1 (N=2)	Être trop concentré sur son téléphone	P2	-	-	-	N=1
	Ne pas bien vérifier le trafic environnant	-	-	-	P6	N=1
2 (N=7)	Ne pas être réceptif à la sirène du véhicule d'intervention	P2	-	-	-	N=1
	Ne pas comprendre pourquoi le véhicule automatisé laisse passer tout le monde	-	-	P3	P2, P6	N=3

	Ne pas savoir si le véhicule est capable de gérer la situation	P6	-	-	-	N=1
	Trouver dangereux le fait que le véhicule automatisé freine sans se soucier des véhicules suivants	-	-	-	P6	N=1
	Trouver le véhicule trop sécurisant	-	-	-	P8	N=1
3 (N=3)	Reprendre la main lorsqu'un poids-lourd coupe la route	-	-	-	P6	N=1
	Prendre la décision d'agir trop tardivement	P6	-	-	P8	N=2
4 (N=0)	N/A	-	-	-	-	N=0
5 (N=1)	Oublier d'accélérer après avoir désactivé	P8	-	-	-	N=1

Tableau 40 : Difficultés rencontrées par les participants du Groupe 1 « didacticiel » en fonction des sous-buts de la tâche d'activation dans les situations de la Classe C.

Légende : S = Session, P = Participant

- Sous-but 1 : surveiller le déroulement de la situation
- Sous-but 2 : identifier une situation ambiguë et le comportement du véhicule automatisé
- Sous-but 3 : décider d'agir, choisir la modalité de reprise en main et le moment idéal
- Sous-but 4 : appliquer la procédure de désactivation
- Sous-but 5 : vérifier que la conduite automatisée est désactivée et conduire

Pour le Sous-but 1 (surveiller le déroulement de la situation), deux difficultés sont identifiées, une lors de chaque session. Il s'agit d'abord du Participant 2 qui, lors de la première session, était trop concentré sur son téléphone et n'a donc pas suivi le déroulement de la situation avec le véhicule d'intervention. Plongé dans son occupation, il nous précise même : « *C'est agréable, ça donne envie de dormir* ». La seconde difficulté concerne le Participant 6, lors de la Session 2, qui n'a pas su surveiller correctement le déroulement de la situation et n'a pas vu qu'un poids-lourd lui coupait la route pendant la situation de circulation chaotique. En effet, lors de l'entretien ce dernier explique qu'il était plutôt concentré sur les véhicules qui arrivaient derrière : « *Je trouvais ça dangereux parce qu'en fait, il s'arrêtait toutes les 5 secondes sauf qu'il y avait des véhicules derrière. Donc pour moi, c'est dangereux. Il faut anticiper derrière, pour ne pas que l'autre te rentre dedans* ». Une transformation du schème de surveillance de la conduite semble en cours chez ces participants. Ce schème devrait néanmoins se stabiliser pour devenir pertinent en conduite automatisée.

Pour le Sous-but 2 (identifier une situation ambiguë et le comportement du véhicule), nous retrouvons la même situation que précédemment, dans laquelle le Participant 2 n'identifie pas la situation ambiguë car il n'est pas réceptif à la sirène du véhicule d'intervention. Le Participant 3 (en Session 1) et les participants 2 et 6 (en Session 2) ne comprennent pas pourquoi le véhicule automatisé laisse passer tout le monde dans la situation de circulation dense et chaotique. Ils ne connaissent pas les limites de fonctionnement du système automatisé, et ne comprennent donc pas la relation I-O. Le Participant 3 se plaint de cette situation lors de l'entretien : « *Il n'y avait pas de raison que ça bloque, c'était assez pénible qu'il ne se sorte pas de cette situation-là. Je ne sais pas pourquoi il ne se sortait pas de façon autonome de cette situation-là, alors que moi je m'en suis sortie manuellement* ». Tout comme le Participant 2 : « *Je ne sais pas pourquoi il laissait rentrer tous les véhicules sur la voie, alors que moi, j'étais à droite, et la priorité, c'est à droite. Pourquoi il voulait à tout prix laisser autant de voitures rentrer ? Il faut être courtois, mais passer la demi-journée sur la route, non, je ne suis pas d'accord* ». Dans cette même situation, le Participant 6, en Session 2, trouve que le véhicule automatisé est un peu dangereux lorsqu'il freine car il ne prend pas en compte la proximité du véhicule suivant : « *Je trouvais ça dangereux parce qu'en fait, il s'arrêtait toutes les cinq secondes sauf qu'il y avait des véhicules derrière. Donc pour moi, c'est dangereux. Il faut anticiper derrière, pour ne pas que l'autre te rentre dedans* ». En Session 1, ce même participant indiquait ne pas savoir si le véhicule automatisé était capable de gérer la situation avec le véhicule d'intervention : « *J'étais dans l'incompréhension. Je ne comprenais pas ce qu'il voulait, je ne comprenais pas ce que le système était capable de faire. C'était surtout ça* ». Enfin, lors de la deuxième session, le Participant 8 trouve que le véhicule automatisé a une conduite trop sécurisante lorsqu'il laisse passer tous les autres véhicules devant lui : « *S'il y avait eu 30 voitures à s'insérer, elle aurait laissé passer 30 voitures. C'est sécurisant mais peut-être un peu trop. [...] Ce n'est pas un comportement d'automobiliste raisonnable* ».

Pour le Sous-but 3 (décider d'agir, choisir la modalité de reprise en main et le moment idéal), nous identifions une première difficulté liée à la décision d'agir au moment idéal pour reprendre la main, qui concerne le Participant 6 lors de la Session 2. Comme nous l'avons vu, ce dernier décide de désactiver la conduite automatisée au moment où un poids-lourd lui coupe la route en pleine circulation chaotique. Lors de l'entretien le Participant 6 tente d'expliquer cette difficulté : « *En fait, j'avais peur de reprendre la main justement et de freiner trop fort ou d'accélérer trop vite et du coup, de rentrer dans une voiture. Mais je pense que c'est ce qu'il s'est passé, en fait. Et donc là, c'est compliqué. La situation est très ambiguë et du coup, tu as même peur de reprendre la main parce que tu ne sais pas comment ton véhicule va réagir, vu que tout le monde est très proche, en fait* ». Dans ce cas, le manque de connaissances des limites de fonctionnement du système se mêle à un schème de reprise en

main qui n'est pas complètement constitué. Nous constatons également une autre difficulté concernant le choix du moment idéal pour désactiver la conduite automatisée, qui est présente en Session 1 pour le Participant 6 (véhicule d'intervention), et en Session 2 pour le Participant 8 (circulation chaotique). Dans les deux cas, les participants prennent beaucoup de temps pour décider d'agir et se retrouvent à reprendre la main au mauvais moment. Comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, la raison de l'hésitation du Participant 6 réside dans sa méconnaissance des capacités et limites du système. Quant au Participant 8, ce dernier explique qu'il comprend le comportement du véhicule automatisé dans cette situation, mais que celui-ci semble éloigné d'un comportement raisonnable. Il nous donne également des précisions concernant son seuil d'acceptation dans ce type de situation : « *Si ça dure pendant un kilomètre, il y a un moment où je vais reprendre la main pour éviter de se retrouver derrière toutes les voitures parce qu'elles vont s'empiler les unes après les autres devant* ». Le manque de connaissances sur le fonctionnement du système automatisé (ses limites), couplé à un schème de reprise en main qui n'est pas complètement constitué, notamment dans sa composante temporelle, conduit aux difficultés présentées ci-dessus.

Enfin, concernant le Sous-but 5 (vérifier que la conduite automatisée est désactivée et conduire), nous constatons une seule difficulté qui concerne le Participant 8 à nouveau, mais cette fois-ci lors de la première session. En effet, lorsqu'il a aperçu le véhicule d'intervention, ce dernier a désactivé la conduite automatisée tout en oubliant de conduire à cause de la charge mentale induite par la situation. D'ailleurs, au moment de la situation il s'exclame : « Ah ! qu'est-ce que je fais là ? Ah oui c'est vrai que je dois accélérer du coup. [...] Ce qui est déroutant c'est que quand on revient en conduite manuelle il faut penser à l'accélérateur en fait ». Lors de l'entretien de fin de session il précise : « *C'est vrai qu'on ne sait pas trop quoi faire, il y a plusieurs choses à penser : il faut désactiver le système, mettre le clignotant, se mettre à droite. C'est un peu lourd. [...] Et à chaque fois, reprendre le contrôle de l'accélérateur. Peut-être un peu de stress* ». Dans cette situation, la difficulté semble provenir d'un conflit entre deux schèmes d'utilisation du véhicule automatisé : laisser le véhicule conduire ou conduire manuellement.

Pour conclure sur les situations sensibles de la Classe C, très peu de différences existent d'une session à l'autre concernant les performances du Groupe 1 « didacticiel », puisque dès la première session seul un participant a laissé le véhicule gérer une situation ambiguë. A l'échelle individuelle, aucun participant ne reproduit la même difficulté d'une session à l'autre. Cela peut potentiellement traduire un certain apprentissage des connaissances des limites du système et de la procédure de reprise en main, mais aussi une meilleure compréhension du style de conduite du véhicule automatisé et du rôle du conducteur. La seule difficulté qu'on

retrouve à deux reprises est la désactivation trop tardive dû à une longue hésitation chez deux participants. Ces résultats suggèrent que les participants de ce groupe ont acquis un schème d'utilisation du véhicule automatisé spécifique à cette classe de situations leur permettant de diagnostiquer et de pronostiquer correctement ces situations, et de prendre la décision d'agir en activant le schème de reprise en main de la conduite.

11.3.3.2. Que font les conducteurs du Groupe 2 « sans didacticiel » dans des situations que le véhicule automatisé ne sait pas qu'il ne sait pas gérer ?

Comme pour le groupe précédent, deux situations sensibles de la Classe C ont été expérimentées par les participants du Groupe 2 « sans didacticiel » : une situation de circulation dense et chaotique avec des insertions intempestives devant le véhicule automatisé, et une situation avec un véhicule d'intervention (police) arrivant derrière le véhicule automatisé et souhaitant le dépasser. Pour rappel, nous considérons que pour gérer ces situations de manière sécurisée, le conducteur doit lui-même décider de reprendre la main, sans être guidé par le système, pour gérer la situation manuellement.

En Session 1, les participants du Groupe 2 « sans didacticiel » ont vécu huit situations sensibles de la Classe C, dont quatre véhicules d'urgence et quatre situations de circulation chaotique. Sur les huit situations, seul le Participant 8 n'a pas repris la main lors d'une situation avec un véhicule d'intervention souhaitant passer. Les sept autres participants ont tous choisi de gérer ces situations manuellement. Cependant, deux d'entre eux n'ont pas repris la main dans les meilleures conditions de sécurité. Le Participant 1 a légèrement paniqué dans la circulation dense et chaotique, et s'est retrouvé à l'arrêt en plein milieu des deux voies. Dans la même situation, le Participant 3 s'est fait percuter par un véhicule venant de la voie de gauche juste après avoir désactivé la conduite automatisée sans surveiller son environnement.

Huit situations sensibles de la Classe C ont été expérimentées par les participants du Groupe 2 lors de la deuxième session. Parmi elles, nous recensons quatre véhicules d'intervention et quatre situations de circulation chaotique. Cette fois-ci, cinq participants ont préféré laisser le véhicule automatisé gérer ces situations, dont deux lors de la situation avec le véhicule d'intervention, et trois lors de la situation de circulation chaotique. Les trois autres participants ont décidé de désactiver pour gérer ces situations manuellement. Néanmoins, deux d'entre eux n'ont pas repris la main dans les meilleures conditions de sécurité. En effet, le Participant 7 a désactivé un peu tardivement, lorsque le véhicule d'intervention avait déjà pris l'initiative de le doubler par la droite. Le Participant 8, quant à lui, a aussi désactivé tardivement et a eu des difficultés à trouver l'accélérateur avec son pied car a légèrement paniqué lorsqu'un véhicule s'est inséré devant lui.

Ci-dessous, le Tableau 41 présente les résultats décrits dans les deux paragraphes précédents, permettant d'avoir une vue d'ensemble.

Situations de la Classe C	Session 1			Session 2		
	Laisser faire (-)	Reprendre la main (+)	Total	Laisser faire (-)	Reprendre la main (+)	Total
Véhicule d'intervention	P8	P2, P4, P6	4	P1, P5	P3, P7*	4
Circulation dense et chaotique	-	P1*, P3*, P5, P7	4	P2, P4, P6	P8*	4
Total	1 (12,5%)	7 (87,5%)	8 (100%)	5 (62,5%)	3 (37,5%)	8 (100%)

Tableau 41 : Résumé des résultats du Groupe 2 « sans didacticiel » concernant la gestion des situations sensibles de la Classe C lors des sessions 1 et 2.

Légende : P = Participant ; * Reprise en main non sécurisée ou trop tardive.

Le Tableau 42 nous permet d'identifier les relations et médiations étant sources de difficultés pour les participants du Groupe 2 « sans didacticiel ». Dans ce tableau nous avons catégorisé les difficultés des participants en fonction de ces relations et médiations.

Relations	Descriptions	Difficultés en S1	Difficultés en S2
1) S-I	Le conducteur vérifie sur les interfaces que la désactivation a été prise en compte.	N/A	N/A
2) S-O	Surveiller l'état de la conduite (vitesse, voie, direction, etc.).	Reprendre la main en paniquant et se retrouver à l'arrêt entre deux voies (P1)	Être concentré sur son téléphone et décider de ne pas reprendre la main (P6)
3) S-A	Surveiller l'état du trafic environnant (nombre et type de véhicules, leur comportement, clignotants, etc.).	Reprendre la main sans surveiller l'environnement et se faire percuter (P3)	Être concentré sur le tableau de bord et ne pas être réceptif à la sirène du véhicule d'intervention (P1) Être concentré sur son téléphone et décider de ne pas reprendre la main (P6)
4) S-I-O	Le conducteur prend l'initiative de désactiver et reprend la main au bon moment.	Reprendre la main en paniquant et se retrouver à l'arrêt entre deux voies (P1) Reprendre la main sans surveiller l'environnement et se faire percuter (P3) Prendre la décision d'agir trop tardivement (P7) Hésiter longuement et ne pas reprendre la main (P8)	Prendre la décision d'agir trop tardivement (P7, P8) Ne pas être conscient de la nécessité de désactiver (P1) Décider de ne pas reprendre la main (P2, P6) Hésiter longuement et ne pas reprendre la main (P4, P5) Paniquer et chercher l'accélérateur (P8)

5) I-O	Le véhicule automatisé gère la situation différemment d'un conducteur humain.	Pense que le véhicule automatisé ne respecte pas les distances de sécurité (P1) Se demande si le véhicule automatisé régule sa distance avec le véhicule suivant (P2) Ne pas comprendre pourquoi le véhicule automatisé laisse tout le monde passer (P7)	Pense que le véhicule automatisé aurait dû percevoir le véhicule d'intervention et se rabattre tout seul pour le laisser passer (P1)
6) S-I-A	Vérifier sur la SA View que le système perçoit les mêmes informations que lui concernant le trafic environnant.	N/A	N/A

Tableau 42 : Difficultés identifiées chez les participants du Groupe 2 « sans didacticiel » en fonction des relations et médiations en jeu dans les situations de la Classe C.

Légende : S = Session, P = Participant

- S-I : relation Sujet – Instrument
- S-O : relation Sujet – Objet de l'activité
- S-A : relation Sujet – Autres sujets
- S-I-O : médiation Sujet – Instrument – Objet de l'activité
- I-O : relation Instrument – Objet de l'activité
- S-I-A : médiation Sujet – Instrument – Autres sujets

Nous pouvons constater qu'en Session 1, trois relations (S-O, S-A et I-O) et une médiation (S-I-O) sont sources de difficultés pour les participants du Groupe 2 « sans didacticiel ». Pour la relation S-O, le Participant 1 panique lorsqu'il désactive la conduite automatisée, il ne surveille plus l'état de la conduite (vitesse, voie, etc.) et se retrouve à l'arrêt entre deux voies. Le schème de reprise en main ne semble pas constitué, ce qui expliquerait la mauvaise exécution de l'action et de contrôle de cette action. Pour la relation S-A, c'est le Participant 3 qui ne prend pas le temps de bien surveiller l'état du trafic environnant et qui se fait percuter par un véhicule venant de la voie de gauche quelques secondes après avoir repris la main. Dans ce cas, il s'agit du mauvais diagnostic/pronostic de la situation qui entraîne l'exécution de l'action (S-I-O) au mauvais moment. La médiation S-I-O est impliquée dans quatre difficultés. D'abord le Participant 1 panique et n'applique pas correctement la procédure de reprise en main et se met en situation de danger. Ici, c'est l'exécution de l'action qui est source de difficultés. Le Participant 7 a décidé de reprendre la main trop tardivement, quand la situation n'était plus vraiment ambiguë, et a donc laissé le véhicule automatisé gérer difficilement, voire dangereusement, la situation de circulation dense et chaotique. Plusieurs boucles de diagnostic et de pronostic ont été nécessaires pour que le participant prenne la décision d'agir et d'exécuter l'action. Enfin, le Participant 8 a hésité longuement à reprendre

la main pour laisser passer le véhicule d'intervention, mais a finalement décidé de ne pas intervenir, obligeant ce dernier à le dépasser par la droite. Encore une fois, le mauvais pronostic de la situation ne permet pas au participant de prendre la décision d'agir. En ce qui concerne la relation I-O, le Participant 1 pense que le véhicule automatisé ne respecte pas les distances de sécurité dans la situation de circulation dense et chaotique. Dans la même situation, le Participant 7 ne comprend pas pourquoi le véhicule automatisé laisse tout le monde passer. Enfin, le Participant 2 se demande si le véhicule automatisé régule sa distance avec le véhicule suivant dans la situation avec le véhicule d'intervention. Ces trois exemples montrent un manque de connaissances sur le fonctionnement du système dans ces situations (limites du système dans les situations de la Classe C), entraînant une incompréhension de la relation I-O. Toutes ces difficultés semblent indiquées que le schème d'utilisation du véhicule automatisé pour cette classe de situations n'est pas totalement constitué, et que certaines composantes sont manquantes (manque de connaissances opérationnelles permettant le diagnostic/pronostic des situations, procédure de reprise en main, contrôle de l'action, etc.).

En Session 2, ce sont les mêmes relations (S-O, S-A et I-O) et la même médiation (S-I-O) qui ont été source de difficulté. Concernant la relation S-O, le Participant 6 était occupé sur son téléphone, il a délibérément choisi de ne pas intervenir car il n'a pas réalisé que le comportement du véhicule automatisé était inadapté. Son schème de surveillance de la conduite traditionnelle semble avoir quasiment disparu dans cette situation. Pour la relation S-A, le Participant 1 était trop concentré sur le tableau de bord, il n'a pas été réceptif à la sirène et au gyrophare du véhicule d'intervention, et n'est donc pas intervenu. Ici, le schème d'usage de lecture des affichages du tableau de bord n'est pas constitué, entraînant des difficultés de compréhension qui retiennent l'attention du conducteur. Concernant cette même relation, le Participant 6, comme nous venons de le voir, était concentré sur son téléphone et n'a donc pas pris le temps de surveiller le trafic environnant. Pour la médiation S-I-O, nous identifions cinq difficultés. D'abord le Participant 1 qui n'a pas conscience qu'il devait reprendre la main et donc n'intervient pas. Ensuite, les participants 2 et 6 qui décident volontairement de ne pas reprendre la main. Les participant 4 et 5, quant à eux, hésitent longuement et finissent par ne pas désactiver la conduite automatisée. Les participants 7 et 8 hésitent longuement aussi mais décident de désactiver un peu tardivement lorsque la situation n'est plus à risque. Pour ces sept participants, le diagnostic et le pronostic de la situation ne leur permettent pas de prendre la décision d'agir. Enfin, le Participant 8 panique légèrement lors de la reprise en main et ne parvient pas à trouver l'accélérateur du premier coup avec son pied. L'exécution de l'action semble être la source de la difficulté. En ce qui concerne la relation I-O, seul le Participant 1 pense que le véhicule automatisé aurait dû percevoir le

véhicule d'intervention et se rabattre tout seul pour le laisser passer, montrant un manque de connaissances sur le fonctionnement du système (limites) dans ces situations. Toutes ces difficultés semblent montrer que ces participants n'ont pas acquis complètement le schème de reprise en main requis pour cette classe de situations, tout comme pour la Session 1.

Afin d'analyser plus précisément ces difficultés, nous les avons catégorisées en fonction des sous-buts du conducteur dans les situations de la Classe C. Ces résultats sont présentés dans le Tableau 43 ci-dessous.

Sous-buts	Difficultés	Situations de la Classe C				Total
		Véhicule d'intervention		Circulation chaotique		
		S1	S2	S1	S2	
1 (N=3)	Être trop concentré sur son téléphone	-	-	-	P6	N=1
	Être trop concentré sur le tableau de bord	-	P1	-	-	N=1
	Ne pas bien vérifier le trafic environnant	-	-	P3	-	N=1
2 (N=5)	Penser que le véhicule automatisé ne respecte pas les distances de sécurité	-	-	P1	-	N=1
	Se demander si le véhicule automatisé régule sa distance avec le véhicule suivant	P2	-	-	-	N=1
	Ne pas comprendre pourquoi le véhicule automatisé laisse tout le monde passer	-	-	P7	-	N=1
	Ne pas être réceptif à la sirène du véhicule d'intervention	-	P1	-	-	N=1
	Penser que le véhicule automatisé perçoit le véhicule d'intervention et se rabat tout seul pour le laisser passer	-	P1	-	-	N=1
3 (N=10)	Paniquer lors de la reprise en main	-	-	P1	-	N=1
	Désactiver au moment où un véhicule se rabat devant	-	-	P3	-	N=1
	Prendre la décision d'agir trop tardivement	-	P7	P7	P8	N=3

	Hésiter longuement et ne pas reprendre la main	P8	P5	-	P4	N=3
	Décider de ne pas reprendre la main	-	-	-	P2, P6	N=2
4 (N=1)	Paniquer lors de la reprise en main	-	-	P1	-	N=1
5 (N=2)	Se retrouver à l'arrêt entre deux voies	-	-	P1	-	N=1
	Chercher l'accélérateur	-	-	-	P8	N=1

Tableau 43 : Difficultés rencontrées par les participants du Groupe 2 « sans didacticiel » en fonction des sous-buts de la tâche d'activation dans les situations de la Classe C.

Légende : S = Session, P = Participant

- Sous-but 1 : surveiller le déroulement de la situation.
- Sous-but 2 : identifier une situation ambiguë et le comportement du véhicule automatisé.
- Sous-but 3 : décider d'agir, choisir la modalité de reprise en main et le moment idéal.
- Sous-but 4 : appliquer la procédure de désactivation.
- Sous-but 5 : vérifier que la conduite automatisée est désactivée et conduire.

Pour le Sous-but 1 (surveiller le déroulement de la situation), nous identifions trois difficultés. En Session 1, le Participant 3 ne vérifie pas correctement le trafic environnant avant de reprendre la main, lui causant quelques complications liées au Sous-but 3. Lors de l'entretien, il nous avoue avoir été agacé par la situation de circulation chaotique ce qui pourrait potentiellement expliquer son manque d'attention lorsqu'il a désactivé la conduite automatisée : « *Il y a eu un agacement, en fait. Donc pour le coup, je trouve que c'est dangereux. Je n'étais pas serein, donc c'est un peu embêtant* ». Cette difficulté semble prendre ses sources dans le manque de connaissances sur le fonctionnement du système (ses limites) entraînant dans un premier temps une incompréhension de la relation I-O, puis, un mauvais diagnostic/pronostic de la situation et une exécution de l'action au mauvais moment. En Session 2, le Participant 1 est trop concentré sur le tableau de bord, ce qui va impacter son comportement dans cette situation comme nous le verrons pour le Sous-but 2. Le Participant 6 est, quant à lui, trop concentré sur son téléphone et ignore simplement la situation pendant plusieurs minutes. Dans le premier cas le manque de connaissances opérationnelles sur les affichages du tableau de bord retient l'attention du conducteur, son schème d'usage de lecture de ces interfaces n'est pas encore constitué. Dans le second cas, la perte du schème de surveillance de la conduite traditionnelle, entraîne dans cette situation un manque d'attention du conducteur.

Le Sous-but 2 (identifier une situation ambiguë et le comportement du véhicule) est lié à cinq difficultés différentes. Lors de la première session, le Participant 1 trouve que le véhicule

automatisé ne respecte pas suffisamment les distances de sécurité dans la situation de circulation chaotique : « *Je trouve qu'il arrivait trop vite sur l'obstacle. La distance de sécurité est assez faible, ça passe juste. C'est hyper chaud là* ». Lors de la même session, et dans la même situation, le Participant 7 ne comprend pas pourquoi le véhicule automatisé laisse passer tous les autres véhicules devant lui : « *Je comprends pas pourquoi il reste à droite, y'a tout le temps d'autres véhicules qui nous passent devant, je serai déjà allé à gauche. Là ce qui me gêne c'est que c'est elle qui à chaque fois laisse la priorité. On a l'impression qu'ils forcent un peu le passage* ». Dans la situation avec le véhicule d'intervention, le Participant 2 se demande si le véhicule automatisé peut réguler sa vitesse par rapport au véhicule qui le suit : « *Et c'est lui qui décide si on reste sur la même voie ou... ? Et est-ce qu'il régule la distance par rapport au véhicule de derrière ?* ». Ces trois participants manquent de connaissances sur le fonctionnement du système, et particulièrement sur ses limites, entraînant une incompréhension de la relation I-O. Lors de la même situation mais en Session 2, le Participant 1 n'est pas réceptif à la sirène et au gyrophare du véhicule d'intervention car, comme nous l'avons vu, il est trop concentré sur le tableau de bord. Il réagit assez tardivement lorsque le véhicule d'intervention le double par la droite, et semble confus concernant les capacités du système automatisé dans cette situation et concernant son propre rôle : « *Je vais la laisser passer, je fais confiance au système automatique. Logiquement j'aurais peut-être dû me rabattre mais comme il s'est pas rabattu j'ai laissé faire. J'ai pas voulu interférer* ». Dans ce cas, c'est à la fois le schème de surveillance qui n'est pas activé dans cette situation, et le manque de connaissances opérationnelles sur le fonctionnement du système, qui impactent le diagnostic et le pronostic de la situation, ne permettant pas au conducteur de prendre la décision d'agir.

Pour le Sous-but 3 (décider d'agir, choisir la modalité de reprise en main et le moment idéal), nous identifions encore cinq difficultés différentes. En Session 1, le Participant 1 panique légèrement lorsqu'il veut reprendre la main pour gérer la situation de circulation chaotique. A ce moment-là, il n'est donc pas apte à choisir la meilleure modalité et le meilleur moment pour appliquer la procédure d'activation correctement (Sous-but 4 : appliquer la procédure de désactivation). Sa réaction a été la suivante : « *Oulà c'est chaud, c'est limite ! Je crois que là il y a un problème. Il n'avance pas il n'accélère pas, il est bloqué ou quoi ? Il est trop sécurisé là, il pense trop aux autres mais pas assez à moi* ». Dans la même situation, le Participant 3 décide de désactiver au moment où un véhicule se rabat devant lui et se fait donc percuter par ce dernier. Lors de l'entretien de fin de session il dit : « *Au tournant, j'étais sans cesse doublée, je n'arrivais pas trop à m'en sortir* ». Le Participant 7 (lors des deux sessions) et le Participant 8 (en Session 2), prennent la décision d'agir trop tardivement. Le Participant 8 revient sur cette difficulté lors de l'entretien en disant : « *J'ai mis du temps à comprendre qu'il*

arrivait derrière. C'est vrai qu'on ne sait pas trop quoi faire. Vous n'entendez pas les sons tout de suite si vous êtes plongé dans la lecture. Ça diminue un peu la confiance dans le système qui ne fait pas tout. Il faut toujours être attentif ». Les participants 4, 5 et 8 hésitent longuement eux aussi, mais décide finalement de ne pas agir. Dans la situation avec le véhicule d'intervention, le Participant 5 dit : « *Il faut peut-être que je me bouge du coup ? Ah je sais pas »* ; et le Participant 8 dit : « *Je vais me faire arrêter... faut que je m'arrête ? J'hésite à reprendre le volant »*. Enfin, les participants 2 et 6 décident délibérément de ne pas intervenir dans la situation de circulation dense et chaotique en Session 2. En effet, le Participant 6 souhaitait voir de quoi était capable véhicule automatisé. Toutes ces difficultés indiquent d'abord un manque de connaissances opérationnelles sur le fonctionnement du système et ses limites, entraînant un mauvais diagnostic/pronostic de la situation empêchant de prendre la décision d'agir, ou nécessitant plusieurs boucles pour prendre la décision d'agir (tardivement).

Enfin, concernant le Sous-but 5 (vérifier que la conduite automatisée est désactivée et conduire), nous observons deux difficultés. La première concerne le Participant 1, en première session, qui se retrouve à l'arrêt entre deux voies dans la circulation chaotique, juste après avoir désactivé la conduite automatisée. Cela semble indiquer un conflit entre deux schèmes d'utilisation du véhicule automatisé : laisser le véhicule conduire ou conduire manuellement. La seconde concerne le Participant 8 qui panique légèrement et cherche l'accélérateur après avoir désactivé. Cette fois-ci c'est la transition entre les deux schèmes d'utilisation qui rend le participant confus.

Pour conclure sur les situations sensibles de la Classe C, nous constatons une réelle régression pour l'ensemble du Groupe 2 « sans didacticiel ». En effet, lors de la première session seul un participant ne reprend pas la main, alors qu'en Session 2, cinq d'entre eux ont décidé de laisser le véhicule automatisé gérer les situations ambiguës, avec tous les risques que cela comprend. A l'échelle individuelle, seul le Participant 7 reproduit deux fois la même erreur d'une session à l'autre lorsqu'il prend la décision d'agir trop tardivement. Ces résultats laissent penser que les participants du Groupe 2 « sans didacticiel » ne sont pas conscients des limites du système automatisé et sont en sur-confiance envers ce dernier, pensant qu'il est capable de gérer des situations aussi complexes que celles de la Classe C. Le schème d'utilisation du véhicule automatisé dans cette classe de situations, nécessitant d'activer le schème d'action instrumenté de reprise en main, ne semble pas être constitué chez les participants de ce groupe, même après la seconde session. Comparé au Groupe 1 « didacticiel », cela montre que l'apprentissage « sur le tas » par essais-erreurs n'est pas suffisant, et que le manque de formation rend ces situations particulièrement risquées, faisant

paniquer un certain nombre de conducteur. Ces situations devront faire l'objet d'une attention particulière par les concepteurs des véhicules automatisé, soit en les supprimant avant la mise sur le marché, soit en apprenant aux conducteurs à les gérer correctement avant même les premiers usages.

11.4. Élaboration du schème de désactivation de la conduite automatisée et gestion des situations sensibles de la Classe D

11.4.1. La connaissance de la procédure de désactivation de la conduite automatisée : Résultats des questionnaires

Pour la connaissance de la désactivation, une réponse juste et complète doit contenir toutes les modalités d'interaction possibles : appuyer sur les deux boutons situés sur le volant, tourner le volant, appuyer sur la pédale de frein ou sur l'accélérateur. Ici, le calcul des scores se fait donc de la façon suivante :

- « Appuyer sur les deux boutons situés sur le volant » = 2 points (réponse incomplète = 1 point).
- « Tourner le volant » = 1 point.
- « Appuyer sur la pédale de frein » = 1 point.
- « Appuyer sur la pédale d'accélérateur » = 1 point.

Le score se situe entre 0 et 5 points maximum. Le graphique (Figure 82) ci-après présentent l'évolution des scores des participants des deux groupes pour la question concernant la désactivation de la conduite automatisée. Le détail des scores est disponible en Annexe 40.

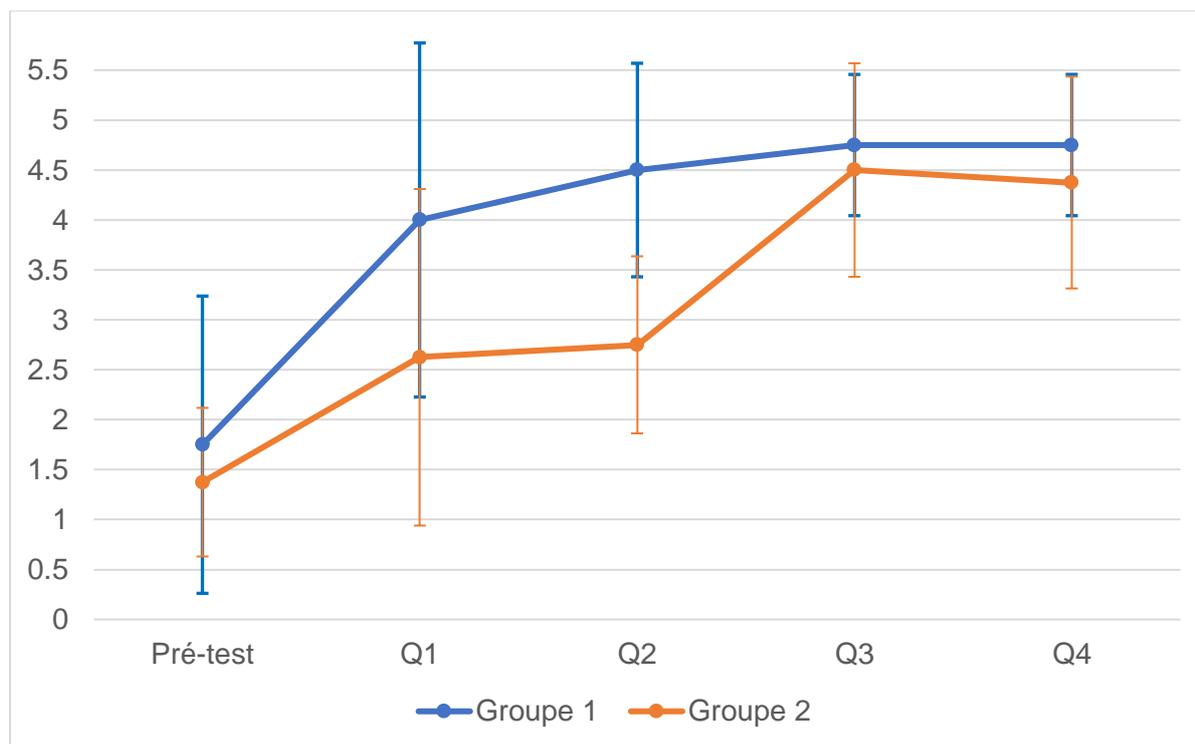


Figure 82 : L'évolution des scores moyens des Groupes 1 « didacticiel » et 2 « sans didacticiel » pour la connaissance de la procédure de désactivation de la conduite automatisée.

Les moyennes des scores des deux groupes semblent augmenter tout au long de l'expérimentation. Néanmoins l'évolution des deux courbes n'est pas la même. Pour le Groupe 1 « didacticiel », la courbe révèle une évolution rapide des scores qui se stabilise dans le temps. Pour le Groupe 2 « sans didacticiel », la courbe évolue par paliers. Elle augmente après chaque briefing et se stabilise un peu lors de la réalisation des scénarios.

Nous avons comparé les moyennes des scores intra-groupes pour tester la significativité des différences constatées au cours de l'expérimentation pour cette question sur la désactivation de la conduite automatisée.

Les hypothèses sont les suivantes :

- **H0** : Aucune différence significative existe entre les moyennes des scores obtenus par un groupe à chaque étape pour la question sur la désactivation de la conduite automatisée.
- **H1** : Une évolution significative des moyennes des scores obtenus par un groupe existe pour la question sur la désactivation de la conduite automatisée.

Grâce aux analyses statistiques réalisées (Annexe 41), nous constatons pour les deux groupes des différences significatives à différents moments de l'expérimentation, permettant d'infirmer l'hypothèse H0. Pour le Groupe 1 « didacticiel », ces différences sont visibles entre le questionnaire pré-test et le questionnaire Q1 ($p = 0,02$), mais également entre le

questionnaire pré-test et le questionnaire Q4 ($p = 0,01$). Cela traduit une évolution rapide de l'acquisition des connaissances concernant les procédures de désactivation de la conduite automatisée suite à l'exploration du didacticiel lors de la Session 1. Puis, une consolidation graduelle et une stabilisation de ces connaissances après la réalisation de chaque scénario de simulation et après la seconde exploration du didacticiel. Pour le Groupe 2, ces différences se situent entre le questionnaire pré-test et le questionnaire Q1 ($p = 0,1$), entre le questionnaire Q2 et le questionnaire Q3 ($p = 0,02$), et également entre le questionnaire pré-test et le questionnaire Q4 ($p = 0,01$). Cela traduit, comme nous l'avons évoqué, une acquisition par paliers des connaissances concernant la désactivation de la conduite automatisée, précisément lors des *briefings*. Nous pouvons également confirmer l'hypothèse H1, puisqu'une évolution significative et positive des scores existe bel et bien pour les deux groupes (G1 : $p < 0,01$; G2 : $p < 0,01$), signifiant qu'ils ont acquis de nouvelles connaissances au cours de l'expérimentation concernant la désactivation de la conduite automatisée.

L'étape suivante a consisté à tester statistiquement, et pour chaque étape, la différence entre les moyennes des scores du Groupe 1 « didacticiel » et celles du Groupe 2 « sans didacticiel ». Le but étant de vérifier si le didacticiel a un effet sur l'acquisition de ces connaissances pour Groupe 1, comparativement au Groupe 2.

Ici, les hypothèses sont les suivantes :

- **H0** : Pour chaque étape, à la question sur la désactivation de la conduite automatisée, la différence entre la moyenne des scores du Groupe 1 et la moyenne des scores du Groupe 2 est nulle.
- **H1** : Une différence significative existe entre la moyenne des scores du Groupe 1 et la moyenne des scores de Groupe 2, à la question sur la désactivation de la conduite automatisée, pour au moins une étape.

Les résultats des tests statistiques (Annexe 42) ne révèlent qu'une seule différence significative lors du questionnaire Q2 ($p = 0,007$), ce qui permet d'infirmer l'hypothèse H0 et de confirmer l'hypothèse H1. Ce résultat montre que l'exploration du didacticiel couplée à la réalisation du premier scénario, a permis aux participants du Groupe 1 d'acquérir, puis de consolider, plus de connaissances concernant la désactivation de la conduite automatisée, que le Groupe 2 lors de la Session 1. Nous précisons que ces résultats ne permettent pas de dire si, oui ou non, ces connaissances ont été opérationnalisées pour être mobilisées en situation, d'où la nécessité des analyses cliniques, plus fines, que nous présentons dans la section suivante.

11.4.2. Activité de gestion des situations de la Classe D (situations de désactivation) en situation

Pour rappel, les situations de la Classe D présentes dans les scénarios de simulation sont :

- Météo défavorable (fort brouillard et forte pluie) (n°26).
- Zone de travaux (n°27).
- Défaillance d'un capteur (n°28).
- Désactiver trop proche du véhicule précédent ou du véhicule suivant (n°30).
- Désactiver la conduite automatisée dans un virage (n°33).

11.4.2.1. Que font les participants du Groupe 1 « didacticiel » lors des demandes de reprise en main rapide ou anticipée ?

Pour la Classe D, chaque participant du Groupe 1 « didacticiel » a vécu cinq situations de désactivation de la conduite automatisée. Ils ont ainsi pu expérimenter : une demande de reprise en main rapide (10 secondes) en raison d'un capteur défaillant ; deux demandes de reprise en main rapide (10 secondes) pour cause de travaux ; une demande de reprise en main anticipée (60 secondes) avec un véhicule proche derrière ; et deux demandes de reprise en main rapide (10 secondes) en raison d'une météo défavorable (une pour cause de brouillard dense, et une pour cause de forte pluie dans un virage).

Lors de la Session 1, l'ensemble du Groupe 1 « didacticiel » a fait face à 22 situations sensibles de désactivation de la conduite automatisée. Parmi elles, quatre capteurs défaillants, sept zones de travaux, quatre demandes de reprise en main anticipée, trois brouillards et quatre fortes pluies. Nous recensons dans le Tableau 44, 13 désactivations parfaitement réussies en toute sécurité (59,1%) et neuf désactivations réussies dans des conditions imparfaites ou non sécurisées (40,9%). Notons qu'aucun des participants n'est allé jusqu'à la manœuvre de refuge automatique car tous ont désactivé la conduite automatisée avant la fin du décompte. Concernant les 13 reprises en main parfaitement exécutées, nous retrouvons quatre capteurs défaillants, six zones de travaux, et trois fortes pluies en virage. Parmi les neuf reprises en main mal exécutées, une concerne une zone de travaux, quatre concernent des demandes de reprise en main anticipées, trois concernent le brouillard et une concerne la forte pluie.

Lors de la Session 2, le Groupe 1 « didacticiel » dans son ensemble a vécu 24 situations de la Classe D, dont quatre capteurs défaillants, huit zones de travaux, quatre demandes de reprise en main anticipées, quatre brouillards, et quatre fortes pluies. Pour cette session, nous recensons 16 désactivations parfaitement réussies en toute sécurité (66,7%), et huit

désactivations réussies dans des conditions imparfaites ou non sécurisées (33,3%). Là encore, tous les participants ont désactivé la conduite automatisée avant la fin du décompte, donc aucun d'entre eux n'a expérimenté une manœuvre de refuge automatique. Dans les 16 reprises en main parfaitement exécutées, nous retrouvons un capteur défaillant, cinq zones de travaux, trois demandes de reprise en main anticipées, quatre brouillards, et trois fortes pluies. Parmi les huit reprises en main mal exécutées, trois concernent des capteurs défaillants, trois concernent des zones de travaux, une concerne une demande de reprise en main anticipée, et une concerne la forte pluie.

Le Tableau 44 résume les résultats présentés dans les deux paragraphes précédents :

Situations de la Classe D	Session 1			Session 2		
	Désactivat° sécurisées	Désactivat° insécur.	Total	Désactivat° sécurisées	Désactivat° insécur.	Total
Capteur défaillant (10s)	4	0	4	1	3	4
Zone de travaux (10s)	6	1	7	5	3	8
Demande anticipée (60s)	0	4	4	3	1	4
Brouillard dense (10s)	0	3	3	4	0	4
Forte pluie + virage (10s)	3	1	4	3	1	4
Total	13 (59,1%)	9 (40,9%)	22 (100%)	16 (66,7%)	8 (33,3%)	24 (100%)

Tableau 44 : Résumé des résultats du Groupe 1 « didacticiel » concernant la gestion des situations sensibles de la Classe D lors des sessions 1 et 2.

Pour analyser plus finement ces résultats, nous avons confronté les difficultés identifiées chez le Groupe 1 « didacticiel », pour les situations sensibles de la Classe D, aux relations et médiations en jeu dans ces mêmes situations selon les résultats de nos deux études précédentes. Nous présentons ci-dessous le modèle SACI des situations de désactivation de la conduite automatisée (Figure 83), suivi du Tableau 45 qui permet d'identifier les relations et médiations étant sources de difficultés pour les participants de ce groupe.

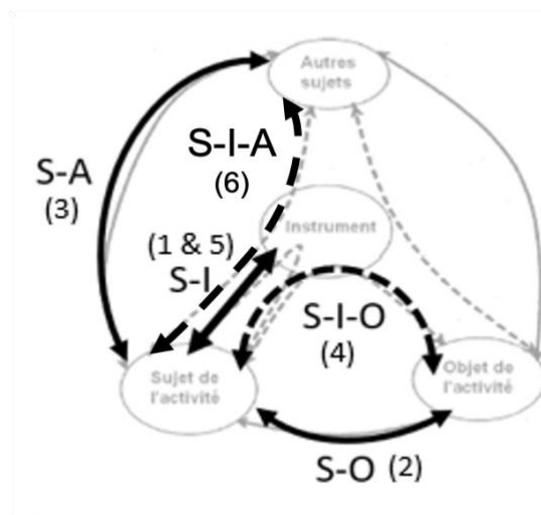


Figure 83 : Rappel du modèle SACI des situations sensibles de la Classe D.

Légende : les flèches noires représentent les relations qui concernent directement le sujet, les flèches pointillées sont les médiations du sujet via l'instrument, et les flèches grises sont les relations qui ne concernent pas directement le sujet.

Relations	Descriptions	Difficultés en S1	Difficultés en S2
1) I-S	Les interfaces signalent que la conduite automatisée n'est bientôt plus disponible.	Attendre que le véhicule redonne la main automatiquement (P4) Ne pas comprendre la raison de la demande de reprise en main (P1)	Ne pas comprendre la raison de la demande de reprise en main (P2, P6)
2) S-O	Le conducteur surveille l'état de la conduite (vitesse, voie, direction, etc.).	N/A	Désactivation dans un virage entraînant un décentrage dans la voie (P3)
3) S-A	Le conducteur surveille l'état du trafic environnant (nombre et type de véhicules, comportement, clignotants, etc.).	Utilisation du frein pour désactiver alors qu'un véhicule est proche derrière (P1)	N/A
4) S-I-O	Le conducteur décide de désactiver et reprend la main au bon moment.	Tentative de désactivation par le volant infructueuse donc changement de modalité pour désactiver (P1) Désactivation par le volant trop violente entraînant un décentrage dans la voie (P3, P5, P7) Désactivation sans réaccélérer entraînant un fort ralentissement (P2, P8)	Désactivation dans un virage entraînant un décentrage dans la voie (P3) Désactivation par le volant trop violente entraînant un décentrage dans la voie (P4) Désactivation sans réaccélérer entraînant un fort ralentissement (P2x3, P8)

5) S-I	Le conducteur vérifie sur les interfaces que la désactivation a été prise en compte.	N/A	N/A
6) S-I-A	Le conducteur surveille l'état du trafic environnant via la SA View.	N/A	N/A

Tableau 45 : Difficultés identifiées chez les participants du Groupe 1 « didacticiel » en fonction des relations et médiations en jeu dans les situations de la Classe D.

Légende : S = Session, P = Participant

- I-S : relation Instrument – Sujet
- S-O : relation Sujet – Objet de l'activité
- S-A : relation Sujet – Autres sujets
- S-I-O : médiation Sujet – Instrument – Objet de l'activité
- S-I : relation Sujet – Instrument
- S-I-A : médiation Sujet – Instrument – Autres sujets

Ce tableau nous permet de constater que deux relations et une médiation sont sources de difficultés en Session 1, et que seulement une médiation est source de difficultés en Session 2. En effet, lors de la première session la relation I-S (1) a causé une difficulté au Participant 4 qui n'a pas compris que c'était à lui de reprendre la main et non pas au système de lui rendre. Cela traduit un manque de connaissances opérationnelles sur la procédure de désactivation de la conduite automatisée. Cette relation a également posé des difficultés au Participant 1 qui n'a pas compris la raison d'une demande reprise en main alors que celle-ci était affichée sur l'écran du tableau de bord. Ici, le schème d'usage de lecture des affichages du tableau de bord ne semble pas constitué. La relation S-A (3) a été la source d'une difficulté pour le Participant 1 qui n'a pas pris le temps de surveiller le trafic environnant avant de choisir la modalité de reprise en main la plus adaptée. Trop peu de ressources ont été allouées au diagnostic/pronostic de la situation, ne permettant pas de prendre la décision la plus adaptée. La médiation S-I-O (4), quant à elle, est impliquée dans trois difficultés différentes. Nous retrouvons d'abord deux types de difficultés concernant l'utilisation du volant comme modalité de désactivation : le Participant 1 a tenté de reprendre la main via le volant mais n'a pas réussi et s'est donc rabattu sur les boutons, et les participants 3, 5 et 7 ont tourné le volant trop violemment, entraînant un décentrage plus ou moins important dans la voie. Ces deux difficultés concernent l'exécution de l'action, composante du schème de désactivation qui n'est pas encore constituée. La dernière difficulté qui concerne la médiation S-I-O (4) lors de la Session 1, met en évidence une inhibition résiduelle des schèmes de la conduite traditionnelle chez les participants 2 et 8 qui n'ont pas repris la conduite après avoir désactivé le mode automatisé entraînant un fort ralentissement en plein milieu de la route. Cela résulte

d'un conflit entre deux schèmes d'utilisation du véhicule automatisé : laisser le véhicule conduire ou conduire manuellement.

En ce qui concerne la Session 2, la relation I-S (1) et la médiation S-I-O (4) sont sources de difficultés pour les participants du Groupe 1. On retrouve la difficulté à comprendre la raison d'une demande de reprise en main pour les participants 2 et 6. Cela traduit un manque de connaissances sur le fonctionnement et les limites du système relatives aux situations de demande de reprise en main, mais aussi un schème de lecture des affichages du tableau de bord qui n'est peut-être pas encore constitué. On retrouve également la difficulté liée à l'application d'une force trop importante sur le volant entraînant un décentrage dans la voie pour le Participant 4 (difficulté dans l'exécution de l'action), ainsi que l'inhibition résiduelle de schèmes de la conduite traditionnelle pour les participants 2 et 8 qui oublient d'accélérer après avoir désactivé la conduite automatisée. Cela traduit encore une fois un conflit entre deux schèmes d'utilisation : laisser le véhicule conduire ou conduire manuellement. La médiation S-I-O (4) est également à l'origine d'une nouvelle difficulté pour le Participant 3 qui désactive en plein virage, provoquant un décentrage important dans la voie. Il s'agit d'un manque de connaissances opérationnelles sur les conditions idéales de désactivation de la conduite automatisée.

Cette première catégorisation sur la base des relations et médiation des conducteurs dans les situations de la Classe D n'a pas permis de recenser toutes les difficultés rencontrées par les participants du Groupe 1 « didacticiel ». C'est pour cette raison que nous avons poussé notre analyse encore plus loin en catégorisant ces difficultés en fonction des sous-buts liés à la tâche de désactivation de la conduite automatisée. Cette catégorisation est présentée dans le Tableau 46 ci-dessous.

Sous-buts	Difficultés	Situations de la Classe D										Total
		Capteur défaillant		Zone de travaux		Demande anticipée		Brouillard dense		Pluie + virage		
		S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	
1 (N=4)	Attendre que le véhicule redonne la main automatiquement	-	-	-	-	-	-	P4	-	-	-	N=1
	Ne pas comprendre la demande de reprise en main	P1	P2, P6	-	-	-	-	-	-	-	-	N=3
2 (N=3)	Utilisation du frein pour désactiver alors qu'un véhicule est proche derrière	-	-	-	-	P1	-	-	-	-	-	N=1

	Désactivation dans un virage entraînant un décentrage dans la voie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	P3	N=1
	Faire tomber son téléphone lors d'une demande de reprise en main rapide	-	P4	-	-	-	-	-	-	-	-	N=1
3 (N=7)	Utilisation du frein pour désactiver alors qu'un véhicule est proche derrière	-	-	-	-	P1	-	-	-	-	-	N=1
	Tentative de désactivation par le volant infructueuse nécessitant une nouvelle tentative	-	-	P1	-	P3, P7	-	-	-	-	-	N=3
	Désactivation dans un virage entraînant un décentrage dans la voie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	P3	N=1
	Désactivation en panique entraînant un décentrage dans la voie	-	P6	-	-	-	-	-	-	P6	-	N=2
4 (N=6)	Désactivation par le volant trop violente entraînant un décentrage dans la voie	-	-	-	-	P3, P5, P7	P4	-	-	-	-	N=4
	Désactivation en panique entraînant un décentrage dans la voie	-	P6	-	-	-	-	-	-	P6	-	N=2
5 (N=6)	Désactivation sans réaccélérer entraînant un fort ralentissement	-	P2	-	P2, P2, P8	-	-	P2, P8	-	-	-	N=6

Tableau 46 : Difficultés rencontrées par les participants du Groupe 1 « didacticiel » en fonction des sous-buts de la tâche de désactivation dans les situations de la Classe D.

Légende : S = Session, P = Participant

- Sous-but 1 : identifier et comprendre les interfaces.
- Sous-but 2 : prendre connaissance de la situation.
- Sous-but 3 : choisir la modalité de reprise en main et le moment idéal pour agir.
- Sous-but 4 : appliquer la procédure de désactivation.
- Sous-but 5 : vérifier que la conduite automatisée est désactivée et conduire.

Concernant le Sous-but 1 (identifier et comprendre les interfaces), nous ne constatons qu'une seule difficulté rencontrée par le Participant 4 lors d'une situation de demande de reprise en

main rapide pour cause de brouillard dense, lors de la première session. Dans cette situation ce participant n'a pas compris l'interface de demande de reprise en main rapide et a cru que le système allait automatiquement lui redonner la main à la fin du décompte, sans qu'il n'ait à agir. Il a finalement décidé d'agir dans les dernières secondes, et explique lors de l'entretien de fin de session qu'il s'attendait à ce que le véhicule s'arrête de conduire avant que ce soit à lui de prendre le relais : « *C'est comme tout à l'heure, la collaboration s'arrête là parce que toi, tu n'es plus capable de le faire, donc je le fais et puis voilà [...] Parce que pour moi, c'est dans le cheminement. Lui, il va arrêter donc il va arrêter d'accélérer, donc j'accélère* ». Cette difficulté montre un manque de connaissances opérationnelles concernant la procédure de désactivation de la conduite automatisée, mais également concernant les affichages du tableau de bord.

Pour le Sous-but 2 (prendre connaissance de la situation), nous observons trois difficultés différentes, chacune rencontrée par un participant différent dans une situation de la Classe D différente. Le Participant 1 n'a pas correctement pris connaissance de la situation avant de désactiver la conduite automatisée, ce qui a entraîné un choix de modalité de reprise en main non pertinent, voire risqué dans cette situation. En effet, ce participant a décidé de désactiver en freinant alors qu'un véhicule était proche derrière lui. Il n'a jamais eu conscience du risque encouru car il n'a jamais vérifié son rétroviseur central, et donc n'a jamais su que le véhicule suivant était presque rentré dans son pare-chocs arrière. Cette difficulté montre un défaut de diagnostic/pronostic de la situation entraînant une prise de décision inadaptée à la situation, et donc une action risquée. Le Participant 3, quant à lui, n'a pas pris en compte le fait qu'il était dans un virage assez serré lors de la demande de reprise en main rapide pour cause de pluie en Session 2. Cela a entraîné une reprise en main non sécurisée, puisqu'après avoir accéléré pour désactiver, il a tourné le volant un peu tardivement et sans respecter l'angle de la courbure, provoquant un décentrage dans la voie assez important. Cela ne l'a visiblement pas gêné car il n'a pas eu de réaction particulière et n'est pas revenu sur cette situation lors de l'entretien (probablement car il n'y avait aucune voiture autour de lui à ce moment-là). Ce participant n'a visiblement pas les connaissances opérationnelles concernant les conditions d'une reprise en main sécurisée. La 3^{ème} difficulté qui relève du Sous-but 2 concerne le Participant 4 qui a sursauté et fait tomber son smartphone lors de la demande de reprise en main pour cause de capteur défaillant lors de la deuxième session. Sa réaction spontanée a été la suivante : « *J'en ai fait tomber mon téléphone, pas cool* ». Cela lui a fait perdre quelques secondes, il n'a donc pas eu le temps de prendre connaissance de la situation et a désactivé de manière un peu précipitée. Néanmoins, cela n'a pas eu de conséquence sur la qualité de sa reprise en main, même s'il reconnaît ne pas avoir compris pourquoi le véhicule lui a demandé de reprendre la main : « *Mais quand elle m'a demandé, je me suis posé la question*

de *'pourquoi tu as besoin que je reprenne les manettes ?'. Voilà* ». Cette incompréhension de la demande de reprise en main révèle un manque de connaissances opérationnelles concernant les affichages du tableau de bord dans ces situations.

En ce qui concerne le Sous-but 3 (choisir la modalité de reprise en main et le moment idéal pour agir), nous identifions trois difficultés différentes qui ont été rencontrées par deux participants. Nous retrouvons la situation évoquée plus haut concernant le choix du Participant 1 de désactiver la conduite automatisée par le frein alors qu'un véhicule était proche derrière. Ce même participant est impliqué dans une autre difficulté lors d'une demande de reprise en main rapide pour cause de travaux pendant la première session. En effet, ce dernier a tenté de désactiver en tournant le volant mais n'a pas réussi et s'est donc rabattu sur les boutons. Cependant, cela ne l'a pas spécialement perturbé et n'a pas eu d'impact sur la qualité de la reprise en main. En revanche, cette difficulté a eu un impact pour les participants 3 et 7 qui ont eux aussi tenté une première fois de désactiver par le volant sans réussir, mais ont insisté en donnant un coup de volant violent entraînant un décentrage important dans la voie. Quelles qu'en soient les conséquences, ces difficultés concernent l'exécution de l'action et montrent que le schème d'usage du volant pour désactiver n'est pas encore constitué. Le Participant 3 a aussi eu une difficulté en lien avec le Sous-but 3 lorsqu'il a choisi de désactiver en plein virage lors d'une demande de reprise en main rapide pour cause de forte pluie, entraînant un décentrage dans la voie. Le diagnostic et le pronostic de la situation n'ont pas permis de prendre la décision la plus adaptée, cela révèle un manque de connaissances opérationnelles concernant les conditions favorables à une reprise en main sécurisée. La 4^{ème} difficulté qui concerne le Sous-but 3 a été rencontrée par le Participant 6 à deux reprises. Lors de la première session, il a eu un moment de panique lorsque le système lui a demandé de reprendre la main rapidement pour cause de forte pluie. Il était un peu perdu et ne savait plus ce qu'il devait faire. Il s'est donc précipité sur le frein, mais sans reprendre le volant tout de suite, provoquant un décentrage dans la voie. Sa réaction spontanée a été de se dire qu'il devait s'arrêter car il pleuvait, ce qui n'est pas forcément utile dans cette situation : « *Oulà il pleut, normalement je suis censée m'arrêter* ». Le Participant 6 a réitéré cette réaction lors de la Session 2, au moment de la demande de reprise en main rapide pour cause de capteur défaillant. Il s'est encore une fois précipité sur les commandes en désactivant via les boutons et en mettant un coup de volant qui a décentré légèrement le véhicule dans sa voie. Lors de cette situation, le Participant 6 nous rapporte ne pas comprendre pourquoi le véhicule lui demande de reprendre la main : « *Du coup là je comprends pas pourquoi il a pas pu gérer la situation* ». Ces difficultés montrent que ce participant n'a pas acquis les connaissances opérationnelles concernant les demandes de reprise en main, ni même le schème d'usage de lecture des affichages du tableau de bord. Ainsi, il n'est pas capable de diagnostiquer et de

pronostiquer correctement ces situations, et ne peut ni prendre une décision adaptée, ni exécuter l'action requise.

Pour le Sous-but 4 (appliquer la procédure de désactivation), deux difficultés ont été repérées. D'abord une difficulté liée à l'utilisation du volant pour désactiver, présente chez quatre participants. Celle-ci concerne l'application d'une force trop importante sur le volant qui induit un décentrage dans la voie lors de la demande de reprise en main anticipée pour les participants 3, 5 et 7 en Session 1, et le Participant 4 en Session 2. Les participants 5 et 7, ont d'ailleurs tenté de désactiver via plusieurs modalités en même temps. Lors de l'entretien, le Participant 5 nous explique comment il s'est rattrapé : « *Je n'ai pas réussi à désactiver avec le volant et l'accélérateur. Peut-être parce que je n'ai pas tourné assez ou accéléré assez. Et là il a fallu que j'appuie sur le bouton. Et une fois que j'ai appuyé sur les deux boutons, là j'ai bien repris la main et j'ai bien remis la voiture dans la file* ». Ces difficultés révèlent que ces participants n'ont pas acquis le schème d'usage de désactivation par le volant. Ensuite, nous retrouvons la difficulté du Participant 6 (évoquée pour le Sous-but 3) qui panique à deux reprises et se précipite lorsqu'il doit appliquer la procédure de reprise en main provoquant ainsi un écart dans la voie.

Enfin, pour le Sous-but 5 (vérifier que la conduite automatisée est désactivée et conduire), une seule difficulté est observée à plusieurs reprises chez deux participants. En effet, les participants 2 et 8 oublient de reprendre la conduite manuelle après avoir désactivé la conduite automatisée, ce qui provoque un ralentissement important du véhicule en plein milieu de la voie, et un écart important dans la voie pour le Participant 8. Cela s'est produit quatre fois pour le Participant 2 : une fois lors de la demande de reprise en main rapide pour cause de brouillard dense (Session 1), une fois lors de la demande de reprise en main rapide en raison d'un capteur défaillant (Session 2), et deux fois lors de demandes de reprise en main rapide pour cause de travaux (Session 2). A l'entretien, ce dernier explique que pour lui il y a une rupture entre la conduite automatisée et la conduite manuelle ce qui pourrait expliquer le manque de fluidité dans ses transitions de mode : « *Il me disait dans une minute, ce sera la fin. Et après, je ne sais plus, je me suis perdu. [...] Je freine pour pouvoir reprendre ma conduite, comme si je repartais sur une autre, comme si je redémarrais la voiture* ». Quant au Participant 8, nous retrouvons cette difficulté lors de la demande de reprise en main rapide pour cause de brouillard dense en Session 1, et lors de la demande de reprise en main rapide pour cause de travaux en Session 2. Lors de l'entretien de la Session 2, ce dernier explique être tellement concentré sur la raison de la demande de reprise en main qu'il en oublie l'accélérateur : « *Le temps qu'on réalise pourquoi il demande la reprise en main, ce doit être à cause du brouillard. Et là, à nouveau on se retrouve avec l'accélérateur qu'on a*

complètement oublié ». Ces difficultés sont l'expression d'un conflit entre deux schèmes d'utilisation du véhicule automatisé : laisser le véhicule conduire ou conduire manuellement.

Pour conclure avec les situations de la Classe D, elles sont globalement mieux gérées par les participants du Groupe 1 « didacticiel » en Session 2 qu'en Session 1. A l'échelle individuelle, seulement deux difficultés sont reproduites par les mêmes participants lors des deux sessions. Il s'agit du Participant 6 qui panique et se précipite pour reprendre la main à deux reprises, et les participants 2 et 8 qui oublient de reprendre la conduite manuelle après avoir désactivé. Toutes les autres difficultés identifiées ne sont jamais reproduites par un même participant d'une session à l'autre. Cela peut potentiellement traduire une amorce de transformation ou d'acquisition du schème de désactivation de la conduite automatisée. Cependant, plusieurs composantes de ce schème restent à acquérir, c'est le cas par exemple du schème d'usage du volant pour reprendre la main.

11.4.2.2. Que font les participants du Groupe 2 « sans didacticiel » lors des demandes de reprise en main rapide ou anticipée ?

Enfin, concernant la Classe D, l'ensemble du Groupe 2 « sans didacticiel » a expérimenté cinq situations de désactivation de la conduite automatisée différentes. Nous retrouvons : des demandes de reprise en main rapide (10 secondes) en raison d'un capteur défaillant ; des demandes de reprise en main rapide (10 secondes) pour cause de travaux ; des demandes de reprise en main anticipée (60 secondes) avec un véhicule proche derrière ; et des demandes de reprise en main rapide (10 secondes) pour cause de météo défavorable (une pour cause de brouillard dense, et une pour cause de forte pluie dans un virage).

Lors de la Session 1, les participants de ce groupe ont vécu 22 situations sensibles de désactivation de la conduite automatisée. Parmi elles, quatre capteurs défaillants, sept zones de travaux, quatre demandes de reprise en main anticipée, quatre brouillards et trois fortes pluies. Nous identifions neuf désactivations parfaitement réussies en toute sécurité (40,9%), 12 désactivations réussies dans des conditions imparfaites ou non sécurisées (54,5%), et un participant a désactivé lorsque que la manœuvre de refuge automatique venait de commencer (4,6%). Concernant les neuf reprises en main parfaitement exécutées, nous recensons un capteur défaillant, cinq zones de travaux, un brouillard dense, et deux fortes pluies en virage. Parmi les 12 reprises en main mal exécutées, nous identifions trois capteurs défaillants, deux zones de travaux, quatre demandes de reprise en main anticipées, deux brouillards denses et une forte pluie en virage. Enfin, la manœuvre de refuge automatique s'est déclenchée lors d'une demande de reprise en main rapide pour cause de brouillard dense.

En Session 2, le Groupe 2 « sans didacticiel » dans son ensemble a expérimenté 23 situations de la Classe D, dont trois capteurs défaillants, huit zones de travaux, quatre demandes de reprise en main anticipées, quatre brouillards denses, et quatre fortes pluies en virage. Lors de cette session, nous identifions 15 désactivations parfaitement réussies en toute sécurité (65,2%), et huit désactivations réussies dans des conditions imparfaites ou non sécurisées (34,8%). Cette fois-ci, aucune manœuvre de refuge automatique n'a été observée. Tous les participants ont désactivé la conduite automatisée avant la fin du décompte. Pour les 15 reprises en main parfaitement exécutées, nous retrouvons trois capteurs défaillants, huit zones de travaux, deux brouillards, et deux fortes pluies. Pour les huit reprises en main mal exécutées, quatre concernent des demandes de reprise en main anticipées, deux concernent des brouillards denses, et deux concernent des fortes pluies en virage.

Le Tableau 47 résume les résultats présentés dans les deux paragraphes précédents et permet d'avoir une vue d'ensemble des performances du Groupe 2 « sans didacticiel » dans les situations de la Classe D.

Situations de la Classe D	Session 1			Session 2		
	Désactivat° sécurisées	Désactivat° insécur.	Total	Désactivat° sécurisées	Désactivat° insécur.	Total
Capteur défaillant (10s)	1	3	4	3	0	3
Zone de travaux (10s)	5	2	7	8	0	8
Demande anticipée (60s)	0	4	4	0	4	4
Brouillard dense (10s)	1	2 + 1*	4	2	2	4
Forte pluie + virage (10s)	2	1	3	2	2	4
Total	9 (40,9%)	13 (59,1%)	22 (100%)	15 (65,2%)	8 (34,8%)	23 (100%)

Tableau 47 : Résumé des résultats du Groupe 2 « sans didacticiel » concernant la gestion des situations sensibles de la Classe D lors des sessions 1 et 2.

Légende : * Désactivation effectuée pendant la manœuvre de refuge automatique.

Dans le but d'affiner l'analyse de ces résultats, nous avons confronté les difficultés identifiées chez le Groupe 2 « sans didacticiel », pour les situations sensibles de la Classe D, aux relations et médiations en jeu dans ces mêmes situations. Le Tableau 48 permet d'identifier celles qui sont sources de difficultés pour les participants.

Relations	Descriptions	Difficultés en S1	Difficultés en S2
1) I-S	Les interfaces signalent que la conduite automatisée n'est bientôt plus disponible.	Attendre les dernières secondes pour désactiver (P1, P3, P5, P7) Être trop concentré sur le décompte du tableau de bord (P1) Ne pas comprendre la raison de la demande de reprise en main (P6)	Attendre les dernières secondes pour désactiver (P2, P4, P6, P8)
2) S-O	Le conducteur surveille l'état de la conduite (vitesse, voie, direction, etc.).	Désactiver et se décentrer dans la voie (P1x2, P8)	Désactiver et se décentrer dans la voie (P5x2, P7) Désactiver et se retrouver entre deux voies (P7)
3) S-A	Le conducteur surveille l'état du trafic environnant (nombre et type de véhicules, comportement, clignotants, etc.).	N/A	N/A
4) S-I-O	Le conducteur décide de désactiver et reprend la main au bon moment.	Tentative de désactivation par l'accélérateur infructueuse donc changement de modalité pour désactiver (P3, P4) Désactivation sans réaccélérer entraînant un fort ralentissement (P1x2, P7, P8) Chercher l'accélérateur (P1) Paniquer et appuyer sur les deux pédales en même temps (P6)	Chercher l'accélérateur (P7) Hésiter entre l'accélérateur et le frein (P5)
5) S-I	Le conducteur vérifie sur les interfaces que la désactivation a été prise en compte.	Ne pas se rendre compte que la désactivation n'a pas été prise en compte jusqu'à MRM (P4)	N/A
6) S-I-A	Le conducteur surveille l'état du trafic environnant via la SA View.	N/A	N/A

Tableau 48 : Difficultés identifiées chez les participants du Groupe 2 « sans didacticiel » en fonction des relations et médiations en jeu dans les situations de la Classe D.

Légende : S = Session, P = Participant

- I-S : relation Instrument – Sujet
- S-O : relation Sujet – Objet de l'activité
- S-A : relation Sujet – Autres sujets
- S-I-O : médiation Sujet – Instrument – Objet de l'activité
- S-I : relation Sujet – Instrument
- S-I-A : médiation Sujet – Instrument – Autres sujets

Ce tableau permet de constater que les relations I-S et S-O, et que la médiation S-I-O, sont sources de difficultés pour le Groupe 2 « sans didacticiel » lors des deux sessions. En revanche, la relation S-I n'est source de difficulté que dans la première session. Lors de la Session 1, trois difficultés différentes concernent la relation I-S. Pour commencer, les quatre participants (P1, P3, P5, P7) ayant expérimenté la demande de reprise en main anticipée lors de cette session ont tous attendu les dernières secondes pour désactiver car ils ne comprenaient pas qu'ils pouvaient le faire avant. Cela traduit un manque de connaissances opérationnelles concernant la procédure de reprise en main. Ensuite, dans une autre situation, le Participant 1 était tellement concentré sur le tableau de bord qu'il s'est décentré dans la voie après avoir désactivé la conduite automatisée. Cette difficulté est potentiellement due à un schème d'usage de lecture des affichages du tableau de bord qui n'est pas encore constitué. Enfin, le Participant 6 n'a pas compris la raison de la demande de reprise en main. Concernant la relation S-O, comme nous venons de le voir, et à deux reprises, le Participant 1 n'était pas concentré sur la conduite au moment de reprendre la main, provoquant ainsi un décentrage dans la voie. Cette difficulté concerne également le Participant 8. Pour la médiation S-I-O, nous recensons cinq difficultés différentes. D'abord, le Participant 1 à deux reprises, et les participants 7 et 8, ont oublié d'accélérer après avoir repris la main, entraînant un fort ralentissement au beau milieu de la voie. Ici, la difficulté réside dans la transition entre deux schèmes d'utilisation du véhicule automatisé : laisser le véhicule conduire ou conduire manuellement. Ensuite, les participants 3 et 4 ont tenté de désactiver la conduite automatisée en utilisant l'accélérateur mais n'ont pas suffisamment appuyé dessus pour que le système le prenne en compte. Le Participant 3 s'est donc rabattu sur les boutons, alors que le Participant 4 ne s'est pas rendu compte de la non prise en compte. Ce dernier rend compte d'une difficulté liée au contrôle de l'action. Dans les deux cas, le schème d'usage de l'accélérateur pour reprendre la main ne semble pas encore bien constitué. Le Participant 1, quant à lui, a cherché l'accélérateur quelques secondes avec son pied provoquant le décentrage évoqué plus haut. Enfin, le Participant 6 a un peu paniqué et a appuyé avec les deux pieds sur les deux pédales en même temps lorsque le système lui a demandé de reprendre la main. Dans ce cas c'est l'exécution de l'action qui est difficile pour le participant. Pour terminer avec la première session, la relation S-I a entraîné une difficulté pour le Participant 4 qui, comme nous l'avons vu, ne s'est pas rendu compte que la désactivation n'avait pas été prise en compte, entraînant le déclenchement d'une manœuvre de refuge automatique. Ce participant ne semble pas encore avoir acquis le schème d'usage de lecture des affichages du tableau de bord permettant le contrôle de l'action réalisée.

En ce concerne la Session 2, pour la relation I-S, nous retrouvons la même difficulté qu'en première session chez tous les participants ayant expérimenté la demande de reprise en main

anticipée. En effet, les participants 2, 4, 6, et 8 ont tous attendu les dernières secondes pour désactiver la conduite automatisée, ne comprenant pas qu'ils pouvaient le faire bien avant. Cela signifie qu'ils n'ont toujours pas acquis les connaissances opérationnelles requises pour les demandes de reprise en main anticipée. Pour la relation S-O, les participants 5 et 7, par deux fois chacun, n'étaient pas suffisamment attentifs à la conduite lors de la reprise en main, entraînant un décentrage dans la voie (P5 deux fois, et P7 une fois), et une sortie de voie pour le Participant 7. Ils n'ont pas bien diagnostiqué et pronostiqué la situation et n'ont donc pas exécuté l'action dans les meilleures conditions. Ces deux comportements sont en partie expliqués par les difficultés liées à la médiation S-I-O. En effet, dans l'une de ces situations le Participant 5 a hésité un certain temps entre l'accélérateur et le frein, et dans une autre de ces situations, le Participant 7 a cherché l'accélérateur quelques secondes. Plusieurs boucles de régulation ont été nécessaires pour prendre la décision d'agir et d'exécuter l'action.

Comme pour les autres classes de situations, nous avons poussé notre analyse plus loin en catégorisant ces difficultés en fonction des sous-buts liés à la tâche de désactivation de la conduite automatisée. Cette catégorisation est présentée dans le Tableau 49 ci-dessous.

Sous-buts	Difficultés	Situations de la Classe D										Total
		Capteur défaillant		Zone de travaux		Demande anticipée		Brouillard dense		Pluie + virage		
		S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	
1 (N=9)	Attendre les dernières secondes du décompte	-	-	-	-	P1, P3, P5, P7	P2, P4, P6, P8	-	-	-	-	N=8
	Ne pas comprendre la demande de reprise en main	-	-	-	-	-	-	P6	-	-	-	N=1
2 (N=3)	Désactivation dans un virage entraînant un décentrage dans la voie	-	-	-	-	-	-	-	-	P8	P5	N=2
	Désactivation dans un virage entraînant une sortie de voie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	P7	N=1
3 (N=2)	Tentative de désactivation par l'accélérateur infructueuse donc changement de modalité	P3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N=1
	Paniquer et appuyer sur les deux pédales en même temps	-	-	-	-	-	-	P6	-	-	-	N=1

4 (N=2)	Ne pas appuyer assez fort sur l'accélérateur	-	-	-	-	-	-	P4	-	-	-	N=1
	Paniquer et appuyer sur les deux pédales en même temps	-	-	-	-	-	-	P6	-	-	-	N=1
5 (N=10)	Désactivation sans réaccélérer entraînant un fort ralentissement	P1, P7	-	P1	-	-	-	P8	-	-	-	N=4
	Chercher l'accélérateur entraînant un décentrage	-	-	P1	-	-	-	-	P7	-	-	N=2
	Trop concentré sur le tableau de bord entraînant un décentrage	-	-	P1	-	-	-	-	-	-	-	N=1
	Penser avoir désactivé jusqu'au déclenchement de la MRM	-	-	-	-	-	-	P4	-	-	-	N=1
	Ne pas tourner le volant suffisamment après désactivation entraînant un décentrage	-	-	-	-	-	-	-	P5	-	-	N=1
	Hésiter entre le frein et l'accélérateur entraînant un décentrage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	P5	N=1

Tableau 49 : Difficultés rencontrées par les participants du Groupe 2 « sans didacticiel » en fonction des sous-buts de la tâche de désactivation dans les situations de la Classe D.

Légende : S = Session, P = Participant

- Sous-but 1 : identifier et comprendre les interfaces.
- Sous-but 2 : prendre connaissance de la situation.
- Sous-but 3 : choisir la modalité de reprise en main et le moment idéal pour agir.
- Sous-but 4 : appliquer la procédure de désactivation.
- Sous-but 5 : vérifier que la conduite automatisée est désactivée et conduire.

Pour le Sous-but 1 (identifier et comprendre les interfaces), nous identifions deux difficultés. La première concerne tous les participants du Groupe 2 « sans didacticiel » lors de la demande de reprise en main anticipée. Ces derniers ont systématiquement attendu les dernières secondes du décompte avant de reprendre la main, sans comprendre qu'ils pouvaient le faire avant. Plusieurs participants expliquent, lors de l'entretien, qu'ils pensaient devoir attendre la fin du décompte pour reprendre la main. C'est le cas du Participant 7 en

Session 1 : « *J'ai suivi le compte à rebours, pour être bien prêt à reprendre le volant et à accélérer quand on arriverait à 0 et qu'il faudrait reprendre le système. Et sur la fin, rapprocher mes mains du volant, et puis pouvoir accélérer quand c'était à moi de reprendre le système* » ; et du Participant 6 en Session 2 : « *J'ai bien attendu la fin du temps imparti. Un décompte, un décompte au niveau des secondes, et j'ai vu... C'était à partir d'une minute, enfin, 59 secondes. Du coup, j'étais encore détente, et quand j'ai vu que c'était arrivé à 10, je crois que j'étais en train de jouer avec mon téléphone, je me suis un peu pressée de le jeter et de reprendre le volant* ». Cela traduit clairement un manque de connaissances de la procédure de reprise en main. En revanche, le Participant 3 explique qu'il a volontairement attendu jusqu'à la fin du décompte pour voir ce qui allait se passer : « *Il y avait un décompte sur le côté, à droite. Et je ne sais plus s'il y a une alerte sonore. Mais il y a une espèce de décompte avec des secondes, il y avait des secondes qui s'égrainaient. Qu'il fallait que je reprenne la voiture. Que j'avais 57 secondes pour profiter de la conduite automatique. J'ai attendu pour voir ce que ça faisait. C'était fait exprès, que j'attendais pour voir un petit peu* ». Ici, le participant est en mode découverte du système et souhaite explorer le fonctionnement du système en situation. La deuxième difficulté identifiée ne concerne que le Participant 6 qui n'a pas compris la demande de reprise en main rapide pour cause de brouillard dense en Session 1. Il ne semble donc pas avoir acquis le schème d'usage de lecture des affichages du tableau de bord.

Concernant le Sous-but 2 (prendre connaissance de la situation), nous observons deux difficultés très similaires. Le Participant 8 en Session 1, et les participants 5 et 7 en Session 2, ont repris la main en plein virage provoquant un décentrage dans la voie pour les deux premiers, et une sortie de la voie le dernier. Lors de l'entretien, le Participant 8 explique que les demandes de reprise en main rapide sont déstabilisantes : « *On s'habitue à ce qu'elle conduise seule. Donc c'est un peu déstabilisant* ». En revanche, les deux autres participants ne semblent pas avoir conscience du risque car ils n'évoquent pas cette difficulté lors de l'entretien. Visiblement, ces participants n'ont pas les connaissances opérationnelles concernant les demandes de reprise en main (les situations dans lesquelles le système demande une reprise en main, et les conditions d'une reprise en main sécurisée).

Pour le Sous-but 3 (choisir la modalité de reprise en main et le moment idéal pour agir), nous identifions encore une fois deux difficultés différentes chacune rencontrée par un participant différent lors de la première session. D'abord le Participant 3, au moment de la demande de reprise en main rapide pour cause de capteur défaillant, ce dernier tente de désactiver en appuyant sur l'accélérateur mais échoue car il n'appuie pas assez fort, il décide donc de se rabattre sur les boutons. Ensuite, le Participant 6, comme nous venons de le voir, a paniqué

lors de la demande de reprise en main rapide pour cause de brouillard dense, et a appuyé sur les deux pédales en même temps pour reprendre la main. Lors de cette situation il s'exprime en disant : « *Je sais plus comment on fait... Je me demande si c'est pas dangereux pour les personnes qui sont derrières* ». L'exécution de l'action entraîne des difficultés chez ces participants qui n'ont pas encore acquis le schème d'usage des pédales pour désactiver la conduite automatisée. Cette décision n'était donc pas adaptée en ce qui les concerne.

En ce qui concerne le Sous-but 4 (appliquer la procédure de désactivation), nous retrouvons la difficulté du Participant 6, évoquée dans le paragraphe précédent, qui a paniqué et qui n'a pas su appliquer correctement la procédure de reprise en main. Nous retrouvons ensuite le Participant 4 qui, dans la même situation, n'a pas appuyé suffisamment fort sur l'accélérateur et n'a donc pas repris la main jusqu'à que la manœuvre de refuge automatique se déclenche. Lors de l'entretien de la Session 1 il revient sur cette situation : « *Donc ça m'a demandé de reprendre la main, donc j'ai repris la main. Et en fait, je me suis rendu compte après. J'ai réappuyé sur les deux boutons. Mais c'est vrai que j'aurais pu appuyer sur le frein, ça aurait fait pareil* ». Ces difficultés relèvent également d'un schème d'usage des pédales pour désactiver la conduite automatisée qui n'était pas encore constitué.

Enfin, pour le Sous-but 5 (vérifier que la conduite automatisée est désactivée et conduire), nous observons six difficultés différentes. En Session 1, les participants 1 (capteur défaillant et zone de travaux), 7 (capteur défaillant) et 8 (brouillard dense) ont oublié d'accélérer après avoir désactivé la conduite automatisée, entraînant un fort ralentissement en plein milieu de la voie. Lors de la situation de demande de reprise en main rapide pour cause de capteur défaillant, le Participant 7 ne semble pas comprendre que c'est à lui de conduire : « *Là il ralentit, je comprends pas pourquoi* ». Dans la situation de brouillard dense, le Participant 8 dit : « *Je vois pas grand-chose...* ». Cela peut potentiellement expliquer pourquoi il n'accélère pas tout de suite. La deuxième difficulté a été rencontrée par le Participant 1 en Session 1 (zone de travaux) et par le Participant 7 en Session 2 (brouillard dense). Ces derniers ont cherché la pédale d'accélérateur après avoir désactivé par les boutons, ce qui a provoqué un décentrage dans la voie. Néanmoins, aucun des deux participants n'a identifié cette difficulté. Ces deux premières difficultés semblent indiquer que la transition entre les deux schèmes d'utilisation du véhicule automatisé (laisser le véhicule conduire ou conduire manuellement), n'est pas encore claire pour ces participants. La troisième difficulté concerne le Participant 1 qui, dans une situation de demande de reprise en main rapide pour cause de travaux (Session 1), était trop concentré sur le tableau de bord après avoir repris la main, provoquant un décentrage dans la voie. Le schème d'usage de lecture des affichages du tableau de bord n'étant visiblement pas acquis, cette tâche semble attirer toute l'attention du conducteur. La

quatrième difficulté concerne le Participant 4 qui, comme nous l'avons déjà évoqué, tente de désactiver par l'accélérateur mais échoue, et pense avoir repris la main jusqu'à que la manœuvre de refuge automatique se déclenche. Le contrôle de l'action qui est une des composantes du schème de reprise en main n'est pas encore acquis. De plus, le schème d'usage de l'accélérateur pour désactiver n'est pas constitué. Enfin, les deux dernières difficultés liées au Sous-but 5 ont été rencontrées par le Participant 5 en Session 2. Lors de la situation de demande de reprise en main pour cause de brouillard dense, ce dernier n'a pas suffisamment tourné le volant après la désactivation par les boutons ce qui a entraîné un décentrage dans la voie. Un peu plus tard, lors de la demande de reprise en main pour cause de forte pluie, il a hésité entre le frein et l'accélérateur après avoir désactivé par les boutons, ce qui a encore une fois entraîné un décentrage dans la voie. Cependant, ces deux situations ne semblent pas avoir marqué le Participant 5 qui ne les évoque pas lors de l'entretien de fin de session. La difficulté provient donc de la transition entre les deux schèmes d'utilisation du véhicule automatisé : laisser le véhicule conduire ou conduire manuellement. Plusieurs boucles de régulation diagnostic/pronostic sont nécessaires pour décider d'agir et pour exécuter l'action.

Pour conclure avec les situations de la Classe D, ces dernières sont globalement mieux gérées par les participants du Groupe 2 « sans didacticiel » en Session 2 qu'en Session 1. A l'échelle individuelle, seul le Participant 1 a reproduit deux fois la même difficulté qui concerne l'oubli d'accélérer après une désactivation de la conduite automatisée. Toutes les autres difficultés identifiées ne sont jamais reproduites par un même participant d'une session à l'autre. Cela peut potentiellement traduire une amorce de transformation de schème pour la procédure de désactivation de la conduite automatisée. Finalement, les résultats des deux groupes ne semblent pas montrer une différence significative concernant la gestion des situations de la Classe D. Cela signifie d'une part que le didacticiel n'a pas eu de réel impact sur le Groupe 1, et d'autre part que la réalisation des scénarios de simulation a potentiellement aidé les deux groupes à commencer à transformer leur schème pour pouvoir gérer ces situations.

11.5. Synthèse des résultats et comparaison des deux groupes

11.5.1. Synthèse des résultats du Groupe 1 « didacticiel »

Les réponses aux questionnaires montrent une évolution significative et positive des résultats des participants du Groupe 1 « didacticiel » concernant les thèmes suivants :

- **Activation de la conduite automatisée** : Nous constatons un renforcement des connaissances sur l'activation de la conduite automatisée lors de la première phase d'exploration du didacticiel. Nous précisons également que ces connaissances se sont stabilisées au cours de l'expérimentation.
- **Désactivation de la conduite automatisée** : Une évolution rapide de l'acquisition des connaissances concernant la désactivation de la conduite automatisée est observée après l'exploration du didacticiel lors de la Session 1. Une consolidation graduelle et une stabilisation de ces connaissances sont ensuite constatées après la réalisation des scénarios et la seconde exploration du didacticiel.
- **Devoirs du conducteur en conduite automatisée** : Nous constatons une différence significative pour le Groupe 1 entre le questionnaire pré-test et le questionnaire Q4. L'évolution des moyennes au cours de l'expérimentation est significative. Nous pensons que ce groupe a acquis, consolidé et stabilisé les connaissances relatives aux devoirs du conducteur en conduite automatisée, de manière graduelle.
- **Possibilités de vie à bord en conduite automatisée** : Nous observons que le Groupe 1 « didacticiel » a bien acquis quelques connaissances relatives aux possibilités de vie à bord en conduite automatisée lors de la première exploration du didacticiel, mais que ni celui-ci, ni la réalisation des scénarios n'a permis de consolider ces connaissances dans le temps.

Les observations et les verbalisations des participants permettent d'étudier l'évolution de leurs performances dans les différentes situations sensibles au cours des deux sessions de roulage sur le simulateur. Nous avons recensé dans le Tableau 50 toutes les erreurs (situation mal gérées) et les difficultés (inconfort, gêne, surprise) vécues par chaque participant en Session 1 et en Session 2.

Participants	Nombres d'erreurs et difficultés par classe de situations en Session 1				Nombres d'erreurs et difficultés par classe de situations en Session 2			
	A	B	C	D	A	B	C	D
1	4/4	3/3	N/A	3/4	0/1	4/8	0/1	0/2
2	2/2	1/4	1/1	1/2	3/4	0/6	0/1	3/4
3	3/4	1/6	0/1	1/3	0/1	0/5	0/1	1/2
4	0/2	2/7	0/1	1/2	3/4	1/6	0/1	2/4
5	0/4	0/6	0/1	1/4	0/2	0/8	0/1	0/2
6	2/2	5/7	1/1	1/1	2/4	2/6	1/1	1/4
7	1/4	2/6	0/1	1/4	0/2	1/8	0/1	0/2
8	2/2	3/6	1/1	1/2	3/4	2/6	1/1	2/4
Total	14/24	17/45	3/7	11/22	11/22	10/53	2/8	9/24
Taux	58,3%	37,8%	42,9%	50%	50%	18,9%	25%	37,5%

Tableau 50 : Nombre d'erreurs et de difficultés des participants du Groupe 1 « didacticiel » par classe de situation en Session 1 et en Session 2.

De manière générale, et quelle que soit la classe de situation, nous constatons une baisse du nombre d'erreurs et de difficultés rencontrées par les participants du Groupe 1 « didacticiel » entre la Session 1 et la Session 2. Dans les paragraphes suivants nous tentons de résumer l'évolution individuelle de chaque participant de ce groupe en articulant les connaissances générales et les performances en roulage de ces derniers. Nous souhaitons ainsi mettre en avant d'éventuels indices démontrant des amorces de transformations de schèmes. Ces résultats seront ensuite confrontés aux données d'usage du didacticiel « AUTO-DIDACT' » dans la section 11.6.1. Cela nous permettra de chercher s'il existe une corrélation entre les modules utilisés (ainsi que les contenus pédagogiques consultés) et les résultats des participants de ce groupe pour chaque classe de situations.

11.5.1.1. Évolution du Participant 1

Concernant les situations d'activation de la Classe A, le Participant 1 a commis trois types d'erreurs en Session 1 : tentative d'activation avant disponibilité, activation décentrée, et erreur sur l'état d'activation de la conduite automatisée. Lors de cette Session, il a eu des difficultés à chaque fois qu'il devait activer la conduite automatisée. En revanche, lors de la Session 2, aucune erreur ou difficulté n'a été constatée suite à l'unique activation qu'il a pu expérimenter. L'évolution des résultats aux différents questionnaires concernant l'item sur la procédure d'activation de la conduite automatisée n'est pas significative (passant de 1/5 à 2/5 entre le premier et le dernier questionnaire). L'évolution des résultats aux questionnaires concernant l'item sur les conditions de disponibilité du mode automatisé ne sont pas plus significatives, oscillants entre 8/10 et 10/10. Par ailleurs, lors de l'entretien de la Session 1 il met l'accent sur la différence entre l'activation du régulateur de vitesse et l'activation de la conduite automatisée qui semble le troubler : « *Le régulateur de vitesse, on a juste un bouton à activer, à surveiller. Ce qui est dommage, c'est qu'il y a deux ou trois boutons. Je ne sais pas pourquoi il n'y en a pas un* ». Les résultats du Participant 1 ne sont donc pas concluant pour identifier une quelconque transformation de schème liée à l'activation de la conduite automatisée.

Pour les situations gérées par la conduite automatisée de la Classe B, le Participant 1 a repris la main à chaque fois qu'il a rencontré ce type de situation en Session 1. Au contraire, lors de la Session 2, il n'a repris la main qu'une seule fois sur les huit situations de la Classe B expérimentées. Il a cependant rapporté deux autres types de difficultés : changement de voie automatisé trop brusque, et distances de sécurité pas bien respectées lors d'un « *lane-merge* ». Lors de cette session, quatre des huit situations rencontrées ont été sources de difficultés pour le Participant 1. Concernant les résultats aux questionnaires, pour l'item sur le rôle du conducteur en conduite automatisée, les notes passent de 8/10 à 9/10 entre le premier

et le dernier questionnaire. Pour l'item sur les possibilités de vie à bord, les notes passent de 7/10 à 8/10 (avec un minimum de 6/10 aux questionnaires Q2 et Q3). Par ailleurs, dès l'entretien de fin de Session 1, ce participant compare son rôle en conduite automatisée à celui qu'il a lorsqu'il utilise un régulateur de vitesse : « *J'ai l'impression que c'est un petit peu comme le régulateur de vitesse sauf qu'au niveau du régulateur de vitesse il faut tout de même tenir le volant. Là, j'ai l'impression que c'est à peu près la même chose. Il faut anticiper les potentiels dangers, les zones d'insécurité, tout ce qui peut arriver sur la route* ». Ces résultats montrent que l'amélioration des performances de ce participant dans les situations de la Classe B n'est pas forcément liée aux connaissances acquises sur les capacités du système. En effet, elle semble plutôt être liée à un regain de confiance envers le véhicule automatisé en Session 2, et une assimilation du schème d'usage du régulateur de vitesse. Le Participant 1 a ainsi été capable d'inhiber ses schèmes de la conduite traditionnelle dans quasiment toutes les situations de la Classe B du deuxième scénario, et n'est intervenu qu'une seule fois.

En ce qui concerne les situations ambiguës de la Classe C, le Participant 1 n'a rencontré aucune difficulté et n'a commis aucune erreur lors l'unique situation de cette classe vécue pendant l'expérimentation (en Session 2). Comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, les résultats aux questionnaires concernant l'item sur le rôle du conducteur, et l'item sur les possibilités de vie à bord en conduite automatisée, montrent une légère amélioration. Concernant l'item sur la procédure de désactivation, les résultats du Participant 1 s'améliorent significativement, passant de 1/5 à 5/5 entre le premier et le dernier questionnaire. Ces résultats, bien qu'intéressants, ne permettent pas d'identifier une amélioration des performances de ce participant dans les situations de la Classe C. Nous ne pouvons donc pas décrire une quelconque transformation de schème lié à la gestion de ces situations.

A propos des situations de désactivation de la Classe D, le Participant 1 a rencontré un type de difficulté et commis deux types d'erreurs en Session 1 : incompréhension lors d'une demande de reprise en main rapide pour cause de capteur défaillant, tentative de désactivation par le volant ratée, et désactivation par le frein alors que le véhicule suivant est proche. Ces difficultés concernent trois situations de désactivation sur les quatre expérimentées en première session. Au contraire, lors de la Session 2 ce participant n'a rencontré aucune difficulté et n'a commis aucune erreur lors des deux reprises en main expérimentées dans cette session. Comme nous l'avons vu dans les paragraphes précédents, pour l'item sur les conditions de disponibilité du mode automatisé les notes du Participant 1 oscillent entre 8/10 et 10, et pour l'item sur la procédure de désactivation les notes augmentent

de 1/5 à 5/5 entre le premier et le dernier questionnaire. Ces résultats montrent une certaine corrélation entre les connaissances acquises concernant les reprises en main et les performances du participant dans les situations de la Classe D. Cela traduit potentiellement le développement d'un schème de désactivation de la conduite automatisée chez le Participant 1.

En conclusion, nous observons une adaptation du Participant 1 pour les classes B et D pouvant potentiellement traduire une amorce de transformation de schème. Ces résultats montrent qu'un processus de genèse instrumentale du véhicule automatisé est probablement en cours. Cependant, le participant aurait besoin de plus de pratique pour compléter ce processus, en particulier pour apprendre à mieux gérer les situations d'activation (Classe A) et les situations ambiguës (Classe C).

11.5.1.2. Évolution du Participant 2

Concernant les situations d'activation de la Classe A, le Participant 2 a commis un seul type d'erreur en Session 1 : activation décentrée. Lors de cette Session, il a eu des difficultés à chaque fois qu'il devait activer la conduite automatisée. En revanche, lors de la Session 2, ce participant a commis quatre types d'erreurs différentes dont une redondante avec la première session : tentative d'activation avant disponibilité, erreur sur l'état d'activation de la conduite automatisée, activation décentrée, et erreur sur le fonctionnement du système. Concernant l'item sur la procédure d'activation de la conduite automatisée dans les questionnaires, nous constatons une légère amélioration des réponses, passant de 1/5 à 3/5 entre le premier et le dernier questionnaire. Pour l'item sur les conditions de disponibilité du mode automatisé, les résultats augmentent d'un point en première session (passant de 8 à 9) puis diminuent de trois points en Session 2 (passant de 9 à 6). Ces résultats montrent que les connaissances générales acquises concernant cette tâche n'ont pas permis au participant de mieux gérer ces situations. Nous ne pouvons donc pas démontrer l'existence d'une quelconque transformation de schème liée à l'activation de la conduite automatisée.

Pour les situations gérées par la conduite automatisée de la Classe B, en Session 1 le Participant 2 a seulement sursauté et rapproché son pied du frein lors d'un ralentissement fort et soudain (une situation sur les quatre expérimentées). En revanche, lors de la Session 2 il n'a rencontré aucune difficulté et commis aucune erreur dans les situations de la Classe B. Concernant les résultats aux questionnaires, pour l'item sur le rôle du conducteur en conduite automatisée, les notes passent de 8/10 au questionnaire pré-test à 6/10 au questionnaire post-formation de la Session 1, puis augmente à nouveau pour atteindre 10 à l'avant dernier questionnaire. Pour l'item sur les possibilités de vie à bord, les notes passent de 8/10 au

premier questionnaire à 9/10 à tous les autres. Par ailleurs, lors de l'entretien de la Session 1, le participant compare l'expérience en conduite automatisée à son expérience avec le régulateur de vitesse : « *Mais déjà, quand on a ça, qu'on met le régulateur de vitesse et qu'on conduit, c'est agréable. Alors une voiture autonome, c'est encore mieux* ». Ces résultats montrent que ce participant a compris les capacités du système et a assimilé un schème d'usage du régulateur de vitesse pour pouvoir inhiber ses schèmes de la conduite traditionnelle assez rapidement. Cela lui a permis de laisser le véhicule gérer les situations de la Classe B sans intervenir, et sans même se rapprocher des commandes en Session 2.

En ce qui concerne les situations ambiguës de la Classe C, le Participant 2 n'a pas repris la main pour laisser passer le véhicule d'intervention en Session 1. En effet, le participant n'était pas réceptif aux stimuli de l'environnement de conduite extérieur et n'a donc pas perçu le risque. En revanche, lors de la Session 2, il n'a commis aucune erreur puisqu'il a repris la main sans difficulté dans la situation de circulation chaotique. Comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, les résultats aux questionnaires concernant l'item sur le rôle du conducteur, et l'item sur les possibilités de vie à bord en conduite automatisée, montrent une légère amélioration. Concernant l'item sur la procédure de désactivation, les résultats du Participant 2 s'améliorent significativement, passant de 1/5 à 5/5 entre le premier et le dernier questionnaire. Ces résultats montrent une certaine corrélation entre les connaissances acquises concernant la tâche de reprise en main dans les situations de la Classe C, et l'amélioration des performances du participant dans ces situations lors de la seconde session. Par ailleurs, lors de l'entretien de la Session 2 il nous partage une connaissance opérationnelle généralisée en comparant le style de conduite du véhicule automatisé à celui des conducteurs humains : « *La conduite automatisée, c'est comme quelqu'un de gentil, alors qu'un vrai conducteur, sur la route, n'est pas comme ça. J'ai donc fait comme les vrais conducteurs* ». Cela signifie qu'il a potentiellement appris à identifier les situations ambiguës, qu'il a été capable d'agir de sa propre initiative, sans être guidé par le système, et qu'il a su appliquer la procédure de reprise en main sans difficultés. Nous y voyons là des indices démontrant une potentielle transformation de schème permettant de bien gérer les situations ambiguës de la conduite automatisée.

A propos des situations de désactivation de la Classe D, en Session 1 le Participant 2 a commis un type d'erreur en désactivant sans accélérer, faisant dangereusement ralentir le véhicule en pleine voie. Cette difficulté concerne une situation de désactivation sur les deux expérimentées en première session. Ce participant a reproduit trois fois cette même erreur lors de la Session 2, et a donc rencontré des difficultés lors de trois situations de la Classe D sur les quatre expérimentées lors de cette session. Comme nous l'avons vu dans les

paragraphe précédents, pour l'item sur les conditions de disponibilité du mode automatisé les notes du Participant 2 augmentent en Session 1 puis diminuent en Session 2, et pour l'item sur la procédure de désactivation les notes augmentent de 1/5 à 5/5 entre le premier et le dernier questionnaire. Ces résultats montrent que les connaissances acquises concernant les reprises en main n'ont pas permis au participant de mieux gérer les situations de la Classe D. En effet, il reproduit plusieurs fois les mêmes erreurs d'une session à l'autre, ce qui prouve qu'il n'y a pas eu d'adaptation et donc pas de transformation de schème lié à la désactivation de la conduite automatisée. Au vu de ces résultats, il est assez étonnant de voir que le Participant 2 a comparé, de manière juste, la désactivation de la conduite automatisée et la désactivation du régulateur de vitesse dès l'entretien de fin de première session : « *Je me suis dit, par rapport à des voitures, quand on met le régulateur, quand on freine, et c'était à peu près pareil aussi* ».

Pour conclure, nous observons une adaptation du Participant 2 pour les classes B et C pouvant potentiellement traduire une amorce de transformation de schème. Ces résultats montrent qu'un processus de genèse instrumentale du véhicule automatisé est probablement en cours. Néanmoins, le participant aurait besoin de plus de pratique pour compléter ce processus, précisément pour apprendre à mieux gérer les situations d'activation (Classe A) et les situations désactivation (Classe D).

11.5.1.3. Évolution du Participant 3

Concernant les situations d'activation de la Classe A, le Participant 3 a rencontré un seul type de difficulté et commis deux types d'erreurs en Session 1 : garder le pied au-dessus des pédales, tentative d'activation ratée, erreur sur l'état d'activation de la conduite automatisée suivi d'un relâchement des commandes. Lors de cette Session, trois sur quatre des situations d'activation rencontrées ont été sources de difficultés pour lui. En revanche, lors de la Session 2, aucune erreur ou difficulté n'a été constatée suite à l'unique activation qu'il a pu expérimenter. L'évolution des résultats aux différents questionnaires concernant l'item sur la procédure d'activation de la conduite automatisée montre une légère amélioration des réponses, passant de 1/5 à 3/5 entre le premier et le dernier questionnaire. Pour l'item sur les conditions de disponibilité du mode automatisé, les résultats du Participant 3 augmentent drastiquement et passent de 3/10 au questionnaire pré-test à 9/10 au dernier questionnaire. Malgré l'acquisition évidente de connaissances liées à cette tâche, avec une seule activation en Session 2, les résultats du Participant 3 ne sont pas assez solides pour décrire une quelconque transformation de schème liée à l'activation de la conduite automatisée.

Pour les situations gérées par la conduite automatisée de la Classe B, le Participant 3 a repris la main une fois sur les six situations expérimentées en Session 1, lors d'un recentrage automatisé. En revanche, lors de la Session 2, il n'a rencontré aucune difficulté et n'a commis aucune erreur dans ces situations. Concernant les résultats aux questionnaires, pour l'item sur le rôle du conducteur en conduite automatisée, les notes restent à 8/10 à tous les questionnaires. Pour l'item sur les possibilités de vie à bord, les notes passent de 7/10 à 6/10 entre le premier et le dernier questionnaire. Par ailleurs, lors du premier entretien il précise : « *Même si je sais que théoriquement il est capable de gérer, de ne pas me mettre en danger. Voilà, bon après c'est une mise en confiance qui ne se fait pas au bout de la première fois* ». Ces résultats montrent que ce participant a assimilé les capacités du système et a su inhiber ses schèmes de la conduite traditionnelle assez rapidement. Cela lui a permis de laisser le véhicule gérer la quasi-totalité des situations de la Classe B en intervenant qu'une seule fois en Session 1.

En ce qui concerne les situations ambiguës de la Classe C, le Participant 3 n'a commis aucune erreur lors des deux sessions puisqu'il a repris la main à chaque fois sans aucune difficulté. Comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, les résultats aux questionnaires concernant l'item sur le rôle du conducteur, et l'item sur les possibilités de vie à bord en conduite automatisée, ne montrent pas d'évolution significative. Il en est de même pour l'item sur la procédure de désactivation, puisque les résultats du Participant 3 passent de 4/5 au questionnaire pré-test à 5/5 pour tous les autres questionnaires. Ces résultats montrent que ce participant a su identifier les situations ambiguës, a été capable d'agir de sa propre initiative, sans être guidé par le système, a su appliquer la procédure de reprise en main sans difficultés. Un potentiel schème de reprise en main dans ces situations est potentiellement en cours d'élaboration.

A propos des situations de désactivation de la Classe D, en Session 1 le Participant 3 a commis un type d'erreur et rencontré un type de difficulté : tentative de désactivation par le volant ratée, et décentrage après la reprise en main. Ces difficultés ne concernent qu'une seule situation de désactivation sur les trois expérimentées en première session. Lors de la Session 2, ce participant a de nouveau commis un type d'erreur et rencontré la même difficulté qu'en première session : désactiver dans un virage, et décentrage après la reprise en main. Ces difficultés ne concernent qu'une seule situation sur les deux expérimentées lors de cette session. Comme nous l'avons vu dans les paragraphes précédents, pour l'item sur les conditions de disponibilité du mode automatisé les résultats du Participant 3 s'améliorent fortement, et pour l'item sur la procédure de désactivation les notes restent élevées tout au long de l'expérimentation. Ces résultats ne sont pas suffisants pour identifier une corrélation

entre les connaissances acquises concernant les reprises en main et les performances du participant dans les situations de la Classe D. De plus, ce dernier ayant rencontré la même difficulté dans les deux sessions, il nous est difficile de décrire une quelconque transformation de schème lié à la désactivation de la conduite automatisée.

En conclusion, nous observons une adaptation du Participant 3 pour les classes B et C pouvant potentiellement traduire une amorce de transformation de schème. Ces résultats montrent qu'un processus de genèse instrumentale du véhicule automatisé est probablement en cours. Cependant, le participant aurait besoin de plus de pratique pour compléter ce processus, en particulier pour apprendre à mieux gérer les situations d'activation (Classe A) et les situations de désactivation (Classe D).

11.5.1.4. Évolution du Participant 4

Concernant les situations d'activation de la Classe A, le Participant 4 n'a rencontré aucune difficulté et commis aucune erreur lors des deux situations d'activation expérimentées en Session 1. En revanche, lors de la Session 2, ce dernier a commis deux types d'erreurs différentes : activation décentrée, et erreur sur la procédure d'activation. Lors de cette Session, trois sur quatre des situations d'activation rencontrées ont été sources de difficultés pour lui. Concernant l'item sur la procédure d'activation de la conduite automatisée dans les questionnaires, nous observons une nette amélioration des réponses, passant de 0/5 à 3/5 entre le premier et le dernier questionnaire (avec une note maximale de 4/5 au questionnaire de fin de première session). Pour l'item sur les conditions de disponibilité du mode automatisé, les résultats du Participant 4 passent de 9/10 au premier questionnaire à 8/10 à tous les autres. Ces résultats montrent que les connaissances générales acquises concernant cette tâche n'ont pas permis au participant de mieux gérer ces situations puisque nous constatons une baisse de ces performances lors du second scénario. Nous ne pouvons donc pas démontrer l'existence d'une quelconque transformation de schème liée à l'activation de la conduite automatisée.

Pour les situations gérées par la conduite automatisée de la Classe B, le Participant 4 a rencontré deux types de difficultés en Session 1 : manque de confiance et gêne dans une situation d'embouteillage, et manque de confiance et gêne lors d'un dépassement du véhicule automatisé par un poids-lourd. Cela ne concerne que deux situations sur les sept expérimentées. Il n'a ensuite rencontré qu'un seul type de difficulté en Session 2 : incompréhension lors d'un recentrage automatisé dans la voie (une situation sur les six expérimentées). Concernant les résultats aux questionnaires, pour l'item sur le rôle du conducteur en conduite automatisée, les notes du Participant 4 plafonnent à 10 tout au long

de l'expérimentation. Pour l'item sur les possibilités de vie à bord, les notes plafonnent à 10 également. Par ailleurs, lors du premier entretien le Participant 4 fait le lien entre ses connaissances sur le fonctionnement du système et sa confiance envers ce dernier : « *Mais du coup, ça, c'est un truc qui est déjà ancré un peu en nous de se dire que voilà, elle va freiner. Il y a des capteurs de partout, il y a le freinage d'urgence, elle va freiner* ». Ces résultats montrent que le Participant 4 a assimilé les capacités du système et a su inhiber ses schèmes de la conduite traditionnelle assez rapidement. Cela lui a permis de laisser le véhicule gérer les situations de la Classe B sans intervenir ni même se rapprocher des commandes lors des deux sessions.

En ce qui concerne les situations ambiguës de la Classe C, le Participant 4 n'a commis aucune erreur lors des deux sessions puisqu'il a repris la main à chaque fois sans difficulté. Comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, ce participant répond parfaitement à tous les questionnaires concernant l'item sur le rôle du conducteur, et l'item sur les possibilités de vie à bord en conduite automatisée. Pour l'item sur la procédure de désactivation, les résultats du Participant 4 montrent une nette amélioration, passant de 0/5 au questionnaire pré-test à 3/5 aux autres questionnaires. Ces résultats montrent que ce participant a tout de suite su identifier les situations ambiguës, a été capable d'agir de sa propre initiative, sans être guidé par le système, et a su appliquer la procédure de reprise en main sans difficultés dès le premier scénario. Un schème de reprise en main dans ces situations semble en cours d'élaboration.

A propos des situations de désactivation de la Classe D, en Session 1 le Participant 4 a commis un type d'erreur en attendant passivement que la désactivation se fasse toute seule. Cette difficulté concerne une situation de désactivation sur les deux expérimentées en première session. En Session 2, il a commis deux types d'erreurs : faire tomber son téléphone lors de la demande de reprise en main, et désactiver en tournant le volant trop fortement entraînant un décentrage dans la voie. Ces difficultés concernent deux situations de désactivation sur les quatre expérimentées lors de la deuxième session. Comme nous l'avons vu dans les paragraphes précédents, pour l'item sur les conditions de disponibilité du mode automatisé les notes du Participant 4 baissent très légèrement, alors que pour l'item sur la procédure de désactivation les notes augmentent significativement. Ces résultats montrent que les connaissances acquises concernant la reprise en main n'ont pas amélioré les performances du Participant 4 dans la gestion des situations de la Classe D. Bien que ce participant n'ait pas reproduit les mêmes erreurs et difficultés d'une session à l'autre, ces résultats ne permettent pas d'identifier une quelconque transformation de schème lié à la désactivation de la conduite automatisée.

Pour conclure, nous observons une adaptation du Participant 4 pour les classes B et C pouvant potentiellement traduire une amorce de transformation de schème. Ces résultats montrent qu'un processus de genèse instrumentale du véhicule automatisé est probablement en cours. Néanmoins, le participant aurait besoin de plus de pratique pour compléter ce processus, précisément pour apprendre à mieux gérer les situations d'activation (Classe A) et les situations désactivation (Classe D).

11.5.1.5. Évolution du Participant 5

Concernant les situations d'activation de la Classe A, lors des deux sessions, le Participant 5 n'a rencontré aucune difficulté et n'a commis aucune erreur lorsqu'il a dû activer la conduite automatisée. Les réponses aux différents questionnaires concernant cette tâche n'évoluent quasiment pas. Pour l'item sur la procédure d'activation, les notes passent de 2/5 pour le questionnaire pré-test à 3/5 pour tous les autres questionnaires. Pour l'item sur les conditions de disponibilité du mode, les notes passent de 8/10 au premier questionnaire à 9/10 à tous les autres. Ces résultats, permettent d'identifier une potentielle transformation de schèmes liée à l'activation de la conduite automatisée.

Pour les situations gérées par la conduite automatisée de la Classe B, le Participant 5 n'a rencontré aucune difficulté et n'a commis aucune erreur lors des deux sessions. Concernant les résultats aux questionnaires, pour l'item sur le rôle du conducteur en conduite automatisée, les notes plafonnent à 10 tout au long de l'expérimentation. Pour l'item sur les possibilités de vie à bord, les notes passent de 8/10 au questionnaire pré-test à 9/10 à tous les autres questionnaires. Par ailleurs, lors de l'entretien de la première session il compare les capacités du véhicule automatisé aux capacités du régulateur de vitesse adaptatif : « *Ça anticipe bien en fait tout ce qu'il peut y avoir sur la route. C'est un petit peu comme les régulateurs avec la distance. Elle garde la distance, donc elle se met derrière* ». Ces résultats montrent que le Participant 4 a compris les capacités du système et à assimiler un schème d'usage du régulateur de vitesse pour inhiber ses schèmes de la conduite traditionnelle assez rapidement. Cela lui a permis de laisser le véhicule gérer les situations de la Classe B sans intervenir ni même se rapprocher des commandes lors des deux sessions.

En ce qui concerne les situations ambiguës de la Classe C, le Participant 5 n'a commis aucune erreur lors des deux sessions car il a repris la main sans difficultés à chaque situation ambiguë. Comme vu dans le paragraphe précédent, ce participant répond presque parfaitement à tous les questionnaires concernant l'item sur le rôle du conducteur, et l'item sur les possibilités de vie à bord en conduite automatisée. Pour l'item sur la procédure de désactivation, les résultats du Participant 5 montrent une nette amélioration, passant de 2/5

au questionnaire pré-test à 5/5 aux autres questionnaires. Lors du premier entretien il nous fait part d'une connaissance opérationnelle généralisée en comparant le style de conduite du véhicule automatisé à son propre style de conduite : « *Lui, il est plutôt sévère puisqu'il ne prend aucun risque. Tout ce qu'il faisait, c'était ralentir pour laisser passer les voitures. A la limite, j'ai pris plus de risques que lui* ». Ces résultats montrent que ce participant à tout de suite su identifier les situations ambiguës, a été capable d'agir de sa propre initiative (sans être guidé par le système), et a su appliquer la procédure de reprise en main sans difficultés dès la première session. Un schème de reprise en main dans ces situations est potentiellement en cours d'élaboration.

A propos des situations de désactivation de la Classe D, en Session 1 le Participant 5 n'a commis qu'un type d'erreur en tournant le volant trop fortement pour désactiver, entraînant un décentrage dans la voie. Cette difficulté ne concerne qu'une situation de désactivation sur les quatre expérimentées dans cette session. En revanche, en Session 2 il n'a rencontré aucune difficulté et commis aucune erreur lors des deux situations de reprise en main expérimentées. Comme nous l'avons vu dans les paragraphes précédents, pour l'item sur les conditions de disponibilité du mode automatisé les notes du Participant 5 restent élevées tout au long de l'expérimentation, et pour l'item sur la procédure de désactivation les notes augmentent significativement dès le deuxième questionnaire. Ces résultats montrent une légère corrélation entre les connaissances acquises concernant les reprises en main et l'amélioration des performances du participant dans les situations de la Classe D. Cela traduit potentiellement le développement d'un schème de désactivation de la conduite automatisée chez le Participant 5.

En conclusion, nous observons une adaptation du Participant 5 pour toutes les classes de situations pouvant potentiellement traduire une amorce de transformation de schème. Ces résultats montrent qu'un processus de genèse instrumentale du véhicule automatisé est clairement en cours.

11.5.1.6. Évolution du Participant 6

Concernant les situations d'activation de la Classe A, le Participant 6 n'a rencontré qu'un seul type de difficulté en Session 1 : garder les mains et/ou le pied proches des commandes. Il a eu des difficultés à chaque fois qu'il devait activer la conduite automatisée lors de la première session. En Session 2, nous observons la même difficulté lors de deux situations d'activations sur les quatre expérimentées. Les deux autres situations ayant été gérées sans erreur ni difficulté. Les différents questionnaires montrent une évolution positive des résultats du Participant 6 concernant l'item sur la procédure d'activation de la conduite automatisée,

passant de 1/5 à 3/5 entre le premier et le dernier questionnaire, avec une note maximale de 4/5 à l'avant-dernier questionnaire. Pour l'item sur les conditions de disponibilité du mode, nous observons également une légère amélioration des notes, passant de 7/10 au questionnaire pré-test à 9/10 au dernier questionnaire. Par ailleurs, lors de l'entretien de la Session 2, ce dernier évoque le sentiment de peur qu'il a souvent rencontré lors des différentes situations d'activation, et conclut en nous disant qu'il a appris à activer « en douceur » pour mieux les gérer. L'ensemble de ces résultats traduit potentiellement le développement d'un schéma d'activation de la conduite automatisée chez le Participant 6.

Pour les situations gérées par la conduite automatisée de la Classe B, le Participant 6 a repris la main trois fois sur les sept situations expérimentées en Session 1. Il a également rencontré deux types de difficultés : rapprocher le pied du frein lors d'un changement de voie automatisé, et gêne lors d'un dépassement du véhicule automatisé par un poids-lourd. En Session 2, ce participant n'a repris la main qu'une seule fois et n'a rencontré qu'un seul autre type de difficulté : rapprocher le pied du frein lors d'un « *cut-in* ». Ces difficultés concernent deux situations de la Classe B sur les six rencontrées lors de cette seconde session. Concernant les résultats aux questionnaires, pour l'item sur le rôle du conducteur en conduite automatisée, les notes augmentent et passent de 7/10 à 9/10 entre le premier et le dernier questionnaire. Pour l'item sur les possibilités de vie à bord, les notes passent de 7/10 à 8/10 (avec une note maximale de 10 au questionnaire Q3). Par ailleurs, lors de l'entretien de la Session 2, le participant nous partage la pensée qu'il a eu pendant le second scénario : « *Je me suis dit : en fait c'est bien, il gère la plupart des situations qui peuvent arriver sur une voie rapide ou sur une autoroute* ». Ces résultats montrent une certaine corrélation entre l'évolution des connaissances du participant et ses performances en conduite automatisée. Il semble avoir mieux compris les capacités du véhicule automatisé, ce qui lui a permis d'inhiber ses schémas de la conduite traditionnelle dans plus de situations de la Classe B en Session 2.

En ce qui concerne les situations ambiguës de la Classe C, le Participant 6 a hésité longuement avant de reprendre la main trop tard pour laisser passer le véhicule d'intervention en Session 1. En effet, lorsque le participant reprend la main, le véhicule d'intervention s'est déjà déporté pour le doubler par la droite rendant la situation encore plus risquée. Lors de la Session 2, dans la situation de circulation chaotique, le Participant 6 a commis une erreur assez similaire puisqu'il a décidé de reprendre la main au moment où un poids-lourd a tenté de s'insérer devant lui. Cette situation l'a obligé à effectuer une manœuvre d'évitement augmentant ainsi le risque d'accident. Comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, les résultats aux questionnaires concernant l'item sur le rôle du conducteur, et l'item sur les possibilités de vie à bord en conduite automatisée, montrent une très légère amélioration.

Concernant l'item sur la procédure de désactivation, les résultats du Participant 6 s'améliorent également, passant de 3/5 au premier questionnaire à 5/5 à tous les autres questionnaires. Ces résultats montrent que les connaissances acquises concernant la tâche de reprise en main dans les situations ambiguës n'ont pas suffi au participant pour apprendre à mieux gérer ces situations. Nous n'observons donc pas de transformation de schème en lien avec cette tâche.

A propos des situations de désactivation de la Classe D, le Participant 6 a rencontré un seul type de difficulté lors de l'unique situation rencontrée en Session 1, car il a paniqué et oublié comment désactiver la conduite automatisée. En Session 2, ce même participant a commis un seul type d'erreur à nouveau en se précipitant pour désactiver, entraînant un décentrage dans la voie. Cette difficulté ne concerne qu'une seule situation sur les quatre expérimentées dans la seconde session. Comme nous l'avons vu dans les paragraphes précédents, pour l'item sur les conditions de disponibilité du mode automatisé, et pour l'item sur la procédure de désactivation les notes du Participant 6 augmentent. Ce participant n'ayant pas reproduit les mêmes erreurs et difficultés d'une session à l'autre, et ayant rencontré moins de difficulté proportionnellement au nombre de situations expérimentées en Session 2, nous pouvons admettre une légère amélioration de ces performances. Ces résultats montrent une petite corrélation entre les connaissances acquises concernant les reprises en main et la gestion des situations de la Classe D. Cela traduit potentiellement le développement d'un schème de désactivation de la conduite automatisée chez le Participant 6.

Pour conclure, nous observons une adaptation du Participant 6 pour les classes A, B et D pouvant potentiellement traduire une amorce de transformation de schème. Ces résultats montrent qu'un processus de genèse instrumentale du véhicule automatisé est certainement en cours. Néanmoins, le participant aurait besoin de plus de pratique pour compléter ce processus, précisément pour apprendre à mieux gérer les situations ambiguës (Classe C).

11.5.1.7. Évolution du Participant 7

Concernant les situations d'activation de la Classe A, le Participant 7 a commis un seul type d'erreur en Session 1 : activation proche d'un poids-lourd à l'entrée d'un virage. Cette difficulté ne concerne qu'une seule situation sur les quatre rencontrées lors de la première session. En revanche, lors de la Session 2, aucune erreur ou difficulté n'a été constatée suite aux deux situations d'activation que le Participant 7 a pu expérimenter. Nous constatons une légère amélioration des résultats aux différents questionnaires concernant l'item sur la procédure d'activation de la conduite automatisée, passant de 1/5 au questionnaire pré-test à 3/5 à tous les autres questionnaires. Pour l'item sur les conditions de disponibilité du mode automatisé,

les notes de ce participant n'évoluent pas et plafonnent à 9/10 à chaque questionnaire. Les résultats du Participant 7 sont intéressants mais gagneraient à être complétés par une troisième session pour confirmer le développement d'un potentiel schème d'activation de la conduite automatisée.

Pour les situations gérées par la conduite automatisée de la Classe B, le Participant 7 a repris la main deux fois sur les six situations expérimentées en Session 1. En revanche, lors de la Session 2, il n'a repris la main qu'une seule fois sur les huit situations de la Classe B expérimentées. A noté que cette situation (ralentissement fort et soudain) est très similaire à une des situations de la Session 1 (embouteillage). Concernant les résultats aux questionnaires, pour l'item sur le rôle du conducteur en conduite automatisée, les notes augmentent de 8/10 à 10 entre le premier et le dernier questionnaire. Pour l'item sur les possibilités de vie à bord, les notes augmentent également de 6/10 à 10. Ces résultats montrent que l'amélioration des performances de ce participant dans les situations de la Classe B semble corrélée avec l'acquisition de connaissances sur les possibilités du système dans ces situations. Par ailleurs, lors de l'entretien de fin de Session 1, le Participant 7 compare sa façon de gérer les situations de freinage à ce qu'il fait lorsqu'il utilise un régulateur de vitesse : *« C'était plus un réflexe. Ça freine, donc... Un peu comme les régulateurs et tout ça, dès que... On reprend la main. C'était plutôt dans ce réflexe-là. On essaie, avec le régulateur, d'anticiper, de reprendre la main un peu avant pour pouvoir... Du coup c'est probablement pour ça que j'ai fait la reprise »*. Ce participant semble donc avoir appris à faire confiance au système et à inhiber ses schèmes de la conduite traditionnelle (et d'usage du régulateur de vitesse) dans quasiment toutes les situations de la Classe B en n'intervenant qu'une seule fois lors du second scénario.

En ce qui concerne les situations ambiguës de la Classe C, le Participant 7 n'a commis aucune erreur lors des deux sessions car il a repris la main à chaque fois sans difficultés. Comme vu dans le paragraphe précédent, nous observons une nette amélioration dans les résultats des questionnaires concernant l'item sur le rôle du conducteur, et l'item sur les possibilités de vie à bord en conduite automatisée. Pour l'item sur la procédure de désactivation, les résultats du Participant 7 montrent aussi une amélioration, passant de 3/5 au questionnaire pré-test à 5/5 à tous les autres questionnaires. Lors de l'entretien de la Session 2, le participant nous partage une connaissance opérationnelle généralisée quant à l'attitude à adopter en conduite automatisée en lien avec une situation de la Classe C : *« Il faut anticiper, parce que si on n'est pas conscient de l'environnement, même quand on ne conduit pas, on ne voit pas le véhicule. On le voit au dernier moment quand il est collé à nous »*. Ces résultats montrent que ce participant à tout de suite su identifier les situations ambiguës, a été capable d'agir de lui-

même, sans être guidé par le système, et a su appliquer la procédure de reprise en main sans difficultés dès la première session. Cela traduit une éventuelle élaboration en cours d'un schème de reprise en main dans ces situations.

A propos des situations de désactivation de la Classe D, en Session 1 le Participant 7 a commis deux types d'erreurs : tentative de désactivation par le volant ratée, et décentrage important dans la voie après la reprise en main entraînant un changement de voie involontaire. Ces difficultés ne concernent qu'une seule situation de désactivation sur les quatre expérimentées en première session. Au contraire, lors de la Session 2 il n'a rencontré aucune difficulté et commis aucune erreur lors des deux reprises en main effectuées. Comme nous l'avons vu dans les paragraphes précédents, pour l'item sur les conditions de disponibilité du mode automatisé les notes du Participant 7 restent élevées tout au long de l'expérimentation, et pour l'item sur la procédure de désactivation les notes augmentent. Par ailleurs, lors de l'entretien de fin de Session 2, le participant nous partage une analyse critique de ses propres performances que l'on pourrait qualifier de méta-connaissance : « *Les désactivations, je me suis rendu compte que je me précipitais peut-être un petit peu trop, et du coup, il y avait un ralentissement, une baisse de vitesse, ou un coup de volant un peu brusque d'un coup, ou voilà. Je pense que c'est à force de faire, de l'utiliser, qu'on adapte beaucoup plus la façon de désengager le système* ». Nous observons donc une légère corrélation entre l'acquisition des connaissances concernant les reprises en main et l'amélioration des performances du participant dans les situations de la Classe D. Cela traduit potentiellement le développement d'un schème de désactivation de la conduite automatisée chez ce participant.

En conclusion, nous observons une adaptation du Participant 7 pour les classes B, C et D pouvant potentiellement traduire une amorce de transformation de schème. Ces résultats montrent qu'un processus de genèse instrumentale du véhicule automatisé est certainement en cours. Cependant, le participant aurait besoin de plus de pratique pour compléter ce processus, en particulier pour apprendre à mieux gérer les situations d'activation (Classe A).

11.5.1.8. Évolution du Participant 8

Concernant les situations d'activation de la Classe A, le Participant 8 a commis un type d'erreur et rencontré un type de difficulté en Session 1 (les deux étant très proches) : continuer de tourner le volant, et garder les mains sur le volant. Cela concerne toutes les situations d'activation rencontrées lors de la première session. En Session 2, ce participant n'a commis qu'un seul type d'erreur : activation décentrée. Cette erreur a été reproduite lors de trois situations d'activation sur les quatre expérimentées lors de cette session. Une amélioration significative des résultats aux différents questionnaires est constatée pour l'item concernant

la procédure d'activation de la conduite automatisée. En effet, le Participant 8 passe de 0/5 au premier questionnaire à 3/5 à tous les autres. Pour l'item sur les conditions de disponibilité du mode, les notes de ce participant n'évoluent pas de manière significative et passent de 7/10 à 8/10 entre le questionnaire pré-test et le dernier questionnaire (avec une note maximale de 9/10 à l'avant-dernier questionnaire). Ces résultats montrent que les connaissances générales acquises concernant cette tâche n'ont pas permis au participant de mieux gérer ces situations. Nous ne pouvons donc pas démontrer l'existence d'une quelconque transformation de schème liée à l'activation de la conduite automatisée.

Pour les situations gérées par la conduite automatisée de la Classe B, lors de la Session 1 le Participant 8 a expérimenté six situations, dont une situation de « *lane-merge* » que nous traiterons dans la Classe C car la simulation ne s'est pas déroulée comme prévu. Sur les cinq situations restantes, ce participant a repris la main une fois lors d'un ralentissement fort et soudain et n'a rencontré qu'un seul autre type de difficulté : gêne lors d'un dépassement du véhicule automatisé par un poids-lourd. En revanche, en Session 2 il n'a jamais repris la main lors des six situations de la Classe B expérimentées, et n'a rencontré que deux type de difficultés : sursauter et être gêné par un léger ralentissement lors d'un recentrage automatisé dans la voie, et sursauter et être gêné par le freinage du véhicule automatisé dans un embouteillage. Concernant les résultats aux questionnaires, pour l'item sur le rôle du conducteur en conduite automatisée, les notes passent de 8/10 à 10 entre le premier et le dernier questionnaire. Pour l'item sur les possibilités de vie à bord, les notes stagnent à 8/10 sauf à l'avant-dernier questionnaire qui présente une note de 10. Ces résultats montrent une légère amélioration des performances de ce participant dans les situations de la Classe B, qui semble corrélée avec l'acquisition de connaissances sur les possibilités du système dans ces situations. Par ailleurs, dès l'entretien de la première session, le Participant 8 compare le fonctionnement de la conduite automatisée à celui du régulateur de vitesse : « *C'est un régulateur de vitesse avec le respect des distances en plus que nous n'avons pas à faire normalement avec un régulateur normal* ». Le Participant 8 semble donc avoir appris à faire confiance au système et a potentiellement assimilé un schème d'usage du régulateur de vitesse pour inhiber ses schèmes de la conduite traditionnelle dans quasiment toutes les situations de la Classe B, en n'intervenant qu'une seule fois lors du premier scénario.

En ce qui concerne les situations ambiguës de la Classe C, le Participant 8 a commis deux types d'erreurs en Session 1. La première erreur concerne la situation avec le véhicule d'intervention. En effet, le participant a bien identifié la situation ambiguë et a bien repris la main, mais il a oublié d'accélérer à nouveau, faisant ralentir le véhicule dangereusement en pleine voie. La seconde erreur concerne la situation de « *lane-merge* » évoquée dans le

paragraphe précédent, dans laquelle le véhicule automatisé s'est rabattu sans prendre en compte le véhicule se trouvant à la même hauteur sur la voie de destination. Malgré qu'il ait perçu le risque, le Participant 8 n'a pas réagi et n'est pas intervenu pour éviter l'accident. Il a donc percuté le véhicule en question. Lors de la Session 2, ce même participant a hésité longuement avant de reprendre la main, un peu tard, lorsque la situation de circulation chaotique commençait à se résorber. Comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, les résultats aux questionnaires concernant l'item sur le rôle du conducteur, et l'item sur les possibilités de vie à bord en conduite automatisée, montrent une légère amélioration. Concernant l'item sur la procédure de désactivation, les résultats du Participant 8 s'améliorent drastiquement, passant de 0/5 au questionnaire pré-test à 5/5 à tous les autres questionnaires. Ces résultats montrent que les connaissances acquises concernant la tâche de reprise en main dans les situations ambiguës n'ont pas suffi au participant pour apprendre à mieux gérer ces situations. Néanmoins, même s'il ne les a pas bien gérées, nous pouvons noter qu'il a su identifier toutes les situations ambiguës. Par ailleurs, lors du premier entretien en fin de Session 1, il compare cette attitude à celle qu'il a lorsqu'il utilise le régulateur de vitesse : « *La seule différence avec un régulateur de vitesse c'est qu'il respecte les distances. On n'a rien à faire mais il faut quand même être prêt à reprendre le véhicule à tout moment* ». Nous n'observons donc pas de transformation de schème en lien avec cette tâche, si ce n'est une assimilation du schème de surveillance lié à l'usage du régulateur de vitesse.

A propos des situations de désactivation de la Classe D, en Session 1 le Participant 8 a commis un type d'erreur en désactivant sans accélérer faisant dangereusement ralentir le véhicule en pleine voie. Cette difficulté concerne une situation de désactivation sur les deux expérimentées en première session. Il a ensuite reproduit une fois cette même erreur lors de la Session 2, et a également commis un autre type d'erreur en attendant volontairement les dernières secondes du décompte avant de reprendre la main. Ces difficultés concernent deux situations de la Classe D sur les quatre expérimentées lors de cette session. Comme vu dans les paragraphes précédents, pour l'item sur les conditions de disponibilité du mode automatisé les notes du Participant 8 n'augmentent que très peu, alors que pour l'item sur la procédure de désactivation les notes augmentent significativement. Ces résultats montrent que les connaissances acquises concernant les reprises en main n'ont pas permis au participant de mieux gérer les situations de la Classe D. En effet, il reproduit la même erreur lors des deux sessions, ce qui prouve qu'il n'y a pas eu d'adaptation et donc pas de transformation de schème lié à la désactivation de la conduite automatisée. Notons que le Participant 8 semble avoir conscience de ses difficultés, faisant un parallèle avec la désactivation du régulateur de vitesse, dès l'entretien de la Session 1 : « *C'est comme quand on utilise un régulateur de vitesse : quand on coupe, il faut penser à réaccélérer et à mettre le pied sur l'accélérateur.*

Là, c'était un peu la même chose. Quand j'ai repris la vitesse, on ne sait pas trop quoi faire. On ne comprend pas tout de suite qu'il faut accélérer ».

Pour conclure, nous observons une adaptation du Participant 8 uniquement pour la Classe B, pouvant potentiellement traduire une amorce de transformation de schème. Ces résultats montrent qu'un processus de genèse instrumentale du véhicule automatisé semble tout juste débiter. En effet, le participant aurait besoin de plus de pratique pour compléter ce processus, précisément pour apprendre à mieux gérer les situations d'activation (Classe A), les situations ambiguës (Classe C), et les situations désactivation (Classe D).

11.5.2. Synthèse des résultats du Groupe 2 « sans didacticiel »

Pour le Groupe 2 « sans didacticiel », les réponses aux questionnaires montrent une évolution significative et positive des résultats des participants concernant les thèmes suivants :

- **Activation** : Un renforcement des connaissances sur l'activation de la conduite automatisée a été identifié après le premier briefing. Nous pouvons également dire que ces connaissances se sont stabilisées tout au long de l'expérimentation.
- **Désactivation de la conduite automatisée** : Nous constatons une évolution par étape de l'acquisition des connaissances concernant la désactivation de la conduite automatisée. En effet, les participants du Groupe 2 « sans didacticiel » acquièrent des connaissances lors du premier briefing, puis les stabilisent lors du premier scénario, pour ensuite les consolider lors du second briefing et les stabiliser à nouveau lors du second scénario.
- **Possibilités de vie à bord en conduite automatisée** : Dans ce cas nous observons une évolution très graduelle de l'acquisition des connaissances liées aux possibilités de vie à bord en conduite automatisée. Cette évolution ne devient significative qu'à la fin de l'expérimentation. Néanmoins, nous pouvons dire qu'elle intervient principalement après le briefing et le roulage de la première session, puis après le roulage de la seconde session.

Les observations et les verbalisations permettent d'analyser l'évolution des performances des participants dans les différentes situations sensibles lors des sessions 1 et 2. Les erreurs (situation mal gérées) et les difficultés (inconfort, gêne, surprise) vécues par chaque participant pendant les deux sessions de roulage sont recensées dans le Tableau 51 ci-dessous.

Participants	Nombres d'erreurs et difficultés par classe de situations en Session 1				Nombres d'erreurs et difficultés par classe de situations en Session 2			
	A	B	C	D	A	B	C	D
1	3/4	3/6	1/1	4/4	2/2	5/8	1/1	0/2
2	2/2	2/6	0/1	1/2	1/4	2/6	1/1	1/3
3	4/4	3/5	1/1	2/4	1/2	4/7	0/1	0/2
4	2/2	5/7	0/1	1/2	4/4	6/6	1/1	2/4
5	3/4	3/6	0/1	1/3	2/2	3/6	1/1	2/2
6	1/2	4/5	0/1	1/1	2/4	1/6	1/1	2/4
7	3/4	2/6	1/1	2/4	1/2	1/5	1/1	2/2
8	1/2	2/7	1/1	2/2	3/4	0/6	1/1	1/4
Total	19/24	24/48	4/8	14/22	16/24	22/50	7/8	10/23
Taux	79,2%	50%	50%	63,6%	66,7%	44%	87,5%	43,5%

Tableau 51 : Nombre d'erreurs et de difficultés des participants du Groupe 2 « sans didacticiel » par classe de situation en Session 1 et en Session 2.

Pour le Groupe 2 « sans didacticiel », la diminution du nombre d'erreurs et de difficultés rencontrées n'est pas aussi évidente que pour le Groupe 1 « didacticiel », et n'est vraie que pour les situations des classes A, B et D. En effet, les participants de ce groupe ont rencontré beaucoup plus de difficultés en Session 2 pour les situations de la Classe C. Cela pourrait potentiellement traduire une sur-confiance concernant les capacités du système automatisé. Les paragraphes qui suivent résument l'évolution individuelle de chaque participant de ce groupe en confrontant les connaissances générales et les performances en roulage de ces derniers. Le but étant de mettre en avant d'éventuels indices démontrant des amorces de transformations de schèmes.

11.5.2.1. Évolution du Participant 1

Concernant les situations d'activation de la Classe A, le Participant 1 a commis deux types d'erreurs et rencontré un type de difficulté en Session 1 : activation décentrée car trop concentré sur le tableau de bord, activation à l'entrée d'un virage, et garder le pied au-dessus des pédales après l'activation. Cela concerne trois situations d'activation sur les quatre rencontrées lors de la première session. En Session 2, ce participant a commis deux types d'erreurs et rencontré un type de difficulté, tous très similaires à la première session : manquer de percuter le véhicule précédent car trop concentré sur le tableau de bord avant d'activer, activation décentrée, et garder le pied au-dessus des pédales après l'activation. Ces difficultés concernent les deux situations d'activation expérimentées lors de cette session. Une amélioration significative des résultats aux différents questionnaires est constatée pour l'item concernant la procédure d'activation de la conduite automatisée. En effet, le Participant 1 passe de 1/5 à 4/5 entre le premier et le dernier questionnaire. Pour l'item sur les conditions de disponibilité du mode, les notes de ce participant s'améliorent également et passent de 8/10 à 10 entre le questionnaire pré-test et le dernier questionnaire (avec une note minimale

de 5/10 au questionnaire Q1). Ces résultats montrent que les connaissances générales acquises concernant cette tâche n'ont pas permis au participant de mieux gérer ces situations. En effet, le Participant 1 a reproduit les mêmes erreurs et rencontré les mêmes difficultés d'une session à l'autre, et n'a pas su s'adapter. Nous ne pouvons donc pas démontrer l'existence d'une quelconque transformation de schème liée à l'activation de la conduite automatisée.

Pour les situations gérées par la conduite automatisée de la Classe B, le Participant 1 n'a jamais repris la main sur les six situations expérimentées en Session 1. Néanmoins, il a rencontré le même type de difficulté dans trois situations différentes (embouteillage, voie d'insertion, et « *cut-in* ») lorsqu'il a rapproché les mains et/ou le pied des commandes. Ce participant a également rencontré cette même difficulté dans cinq des huit situations de la Classe B expérimentées en Session 2 : changement de voie automatisé, poids-lourd qui dépasse (deux fois), « *lane-split* », et « *lane-merge* ». Concernant les résultats aux questionnaires, pour l'item sur le rôle du conducteur en conduite automatisée, les notes stagnent à 7/10. Pour l'item sur les possibilités de vie à bord, les notes plafonnent à 10 tout au long de l'expérimentation. Ces résultats ne permettent pas d'identifier une adaptation de ce participant aux situations de la Classe B. En effet, il n'a pas su totalement inhiber ses automatismes de la conduite traditionnelle dans ces situations.

En ce qui concerne les situations ambiguës de la Classe C, le Participant 1 n'a commis aucune erreur en Session 1 puisqu'il a repris la main sans difficulté pour gérer la situation de circulation chaotique. En revanche, lors de la Session 2, ce participant n'a pas perçu le véhicule d'intervention car il était trop concentré sur le tableau de bord et n'a donc pas repris la main pour gérer la situation. Comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, les résultats aux questionnaires concernant l'item sur le rôle du conducteur, et l'item sur les possibilités de vie à bord en conduite automatisée, stagnent à un bon niveau tout au long de l'expérimentation. Concernant l'item sur la procédure de désactivation, les résultats du Participant 1 s'améliorent drastiquement, passant de 1/5 au questionnaire pré-test à 5/5 au dernier questionnaire. Ces résultats montrent que les connaissances acquises concernant la tâche de reprise en main dans les situations ambiguës n'ont pas suffi au participant pour apprendre à mieux gérer ces situations. Nous n'observons donc pas de transformation de schème en lien avec cette tâche.

A propos des situations de désactivation de la Classe D, en Session 1 le Participant 1 a commis trois types d'erreurs : désactiver et oublier d'accélérer entraînant un ralentissement en pleine voie et/ou un décentrage, désactiver et chercher l'accélérateur entraînant un décentrage, et attendre volontairement les dernières secondes du décompte pour reprendre

la main. Ces difficultés concernent toutes les situations de désactivation expérimentées en première session. En revanche, ce participant n'a commis aucune erreur et n'a rencontré aucune difficulté lors des deux situations de reprise en main de la Session 2. Comme vu dans les paragraphes précédents, pour l'item sur les conditions de disponibilité du mode automatisé les notes du Participant 1 augmentent, tout comme les notes de l'item sur la procédure de désactivation. Ces résultats montrent une corrélation entre les connaissances acquises concernant les reprises en main et l'amélioration des performances du participant dans les situations de la Classe D. Par ailleurs, pendant l'entretien de la deuxième session le Participant 1 nous partage son ressenti vis-à-vis des reprises en main : « *Non, je n'ai pas d'appréhension, parce que je pense qu'à partir du moment où il vous signale de reprendre le contrôle, il gère toujours la situation. [...] Donc ce n'est pas parce qu'il demande tout de suite que tu dois être tout de suite affolé, tu as le temps, tu peux y aller tranquille* ». Cela traduit donc potentiellement le développement d'un schème de désactivation de la conduite automatisée chez le Participant 1.

En conclusion, nous observons une adaptation du Participant 1 uniquement pour la Classe D, pouvant potentiellement traduire une amorce de transformation de schème. Ces résultats montrent qu'un processus de genèse instrumentale du véhicule automatisé semble tout juste débiter. En effet, le participant aurait besoin de plus de pratique pour compléter ce processus, précisément pour apprendre à mieux gérer les situations d'activation (Classe A), les situations gérées par la conduite automatisée (Classe B), et les situations ambiguës (Classe C).

11.5.2.2. Évolution du Participant 2

Concernant les situations d'activation de la Classe A, le Participant 2 a commis un type d'erreur et rencontré un type de difficultés en Session 1 : activation décentrée, et garder les mains et/ou le pied proche des commandes après l'activation. Cela concerne toutes les situations d'activation rencontrées lors de la première session. En Session 2, ce participant a commis deux types d'erreurs dont une similaire à la première session : tentative d'activation ratée, et activation décentrée. Néanmoins, ces difficultés ne concernent qu'une seule situation d'activation sur les quatre expérimentées lors de cette session. Nous observons une amélioration des résultats aux différents questionnaires pour l'item concernant la procédure d'activation de la conduite automatisée. En effet, les notes passent de 1/5 à 3/5 entre le premier et le dernier questionnaire (avec une note maximale de 4/5 aux questionnaires Q1 et Q2). Pour l'item sur les conditions de disponibilité du mode, les notes de ce participant s'améliorent également passant de 7/10 à 10 entre le questionnaire pré-test et le dernier questionnaire. Malgré qu'il ait reproduit une même erreur dans les deux sessions, ces résultats montrent une corrélation entre l'acquisition de connaissances concernant cette tâche

et l'amélioration des performances du Participant 2 dans ces situations. Par ailleurs, dès l'entretien de la première session le participant nous dit qu'il s'est habitué rapidement à la façon d'activer la conduite automatisée : « *Il y a toujours une prise en main, donc tu t'habitues. Là, ça m'a surpris, au départ. Il faut regarder, il faut bien appuyer sur les deux, mais bon, c'est hyper rapide par contre* ». Cela traduit donc potentiellement le développement d'un schème d'activation de la conduite automatisée chez ce participant.

Pour les situations gérées par la conduite automatisée de la Classe B, le Participant 2 a tenté de reprendre la main une fois sur les six situations expérimentées en Session 1, mais a échoué. Il a ensuite gardé son pied au-dessus des pédales tout au long de cette situation dans laquelle il se faisait dépasser par un poids-lourd. Il a également rapproché son pied des pédales lors d'un ralentissement fort et soudain. Lors de la Session 2, le Participant 2 a repris la main lors d'un recentrage automatisé et à encore une fois rapproché le pied des pédales dans une situation d'embouteillage. Concernant les résultats aux questionnaires, pour l'item sur le rôle du conducteur en conduite automatisée, les notes diminuent et passent de 10 à 8/10 entre le premier et le dernier questionnaire. Pour l'item sur les possibilités de vie à bord, les notes passent de 7/10 à 8/10 entre le questionnaire pré-test et le dernier questionnaire. Ces résultats ne permettent pas d'identifier une adaptation de ce participant aux situations de la Classe B. En effet, il n'a pas totalement su inhiber tous ses automatismes de la conduite traditionnelle dans ces situations d'une session à l'autre.

En ce qui concerne les situations ambiguës de la Classe C, le Participant 2 n'a commis aucune erreur en Session 1 puisqu'il a repris la main sans difficulté pour laisser passer le véhicule d'intervention. En revanche, lors de la Session 2, ce participant n'a pas réagi face à la circulation chaotique et n'a donc pas repris la main pour gérer la situation. Comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, les résultats aux questionnaires concernant l'item sur le rôle du conducteur, et l'item sur les possibilités de vie à bord en conduite automatisée, n'évoluent pas significativement et positivement. Concernant l'item sur la procédure de désactivation, les résultats du Participant 2 s'améliorent et passent de 3/5 au questionnaire pré-test à 5/5 au dernier questionnaire. Ces résultats montrent que les connaissances acquises concernant la tâche de reprise en main dans les situations ambiguës n'ont pas suffi au participant pour apprendre à mieux gérer ces situations. Nous n'observons donc pas de transformation de schème en lien avec cette tâche. Néanmoins, ces résultats sont d'autant plus troublants que le Participant 2 compare sa réceptivité en conduite automatisée à celle qu'il adopte avec le régulateur de vitesse : « *C'est un peu comme un régulateur de vitesse où tu es obligé de regarder quand même la route, de savoir ce qu'il se passe, tout ça. Là, ça va être une aide sur certaines voies, mais tu es obligé de rester vigilant* ».

A propos des situations de désactivation de la Classe D, en Session 1 le Participant 2 n'a rencontré qu'une seule difficulté lors d'une seule situation sur les deux expérimentées dans cette session : manque d'informations sur le tableau de bord lors d'une demande de reprise en main rapide pour cause de brouillard dense. Lors de la Session 2, il n'a commis qu'une erreur lors d'une seule situation de désactivation sur les trois expérimentées : attendre volontairement les dernières secondes du décompte pour reprendre la main. Comme vu dans les paragraphes précédents, pour l'item sur les conditions de disponibilité du mode automatisé les notes du Participant 2 augmentent, tout comme pour l'item sur la procédure de désactivation. Étant donné la nature de l'erreur lors de la Session 2, nous pouvons dire que ces résultats montrent une corrélation entre les connaissances acquises concernant les reprises en main et l'amélioration des performances du participant dans les situations de la Classe D. Par ailleurs, lors de l'entretien de la seconde session le Participant 2 compare la désactivation de la conduite automatisée avec la désactivation du régulateur de vitesse : « *Il y a des moments où il te demande de le désactiver, mais tu n'as pas besoin de freiner les trois quarts du temps. Le régulateur de vitesse, quand tu l'enlèves, c'est que tu as besoin de freiner ou d'accélérer. Donc freiner, forcément, j'utilise le frein. Si par exemple, j'arrive sur une voiture devant, et que je ne peux pas déboîter, je vais utiliser le frein* ». Le participant a donc potentiellement assimilé son schème de désactivation du régulateur de vitesse pour s'adapter et développer un schème de désactivation de la conduite automatisée.

Pour conclure, nous observons une adaptation du Participant 2 pour les classes A et D, pouvant potentiellement traduire une amorce de transformation de schème. Ces résultats montrent qu'un processus de genèse instrumentale du véhicule automatisé semble en cours. Néanmoins, le participant aurait besoin de plus de pratique pour compléter ce processus, en particulier pour apprendre à mieux gérer les situations de la Classe B, et les situations ambiguës (Classe C).

11.5.2.3. Évolution du Participant 3

Concernant les situations d'activation de la Classe A, le Participant 3 a commis quatre types d'erreurs et rencontré un type de difficulté en Session 1 : tentative d'activation avant disponibilité du mode, tentative d'activation ratée, activation décentrée, erreur sur l'état d'activation de la conduite automatisée suivi d'un relâchement des commandes, et garder les mains et/ou le pied proches des commandes. Ces difficultés concernent l'ensemble des situations d'activation rencontrées lors de la première session. En Session 2, ce participant a commis un type d'erreur et rencontré un type de difficulté similaire à la première session : freiner brusquement et activer en même temps, et garder les mains et le pied proches des commandes. Cela ne concerne qu'une situation d'activation sur les deux expérimentées lors

de cette session. Nous n'observons pas d'amélioration significative des résultats aux différents questionnaires pour l'item concernant la procédure d'activation de la conduite automatisée. En effet, les notes du participant passent de 1/5 à 2/5 entre le premier et le dernier questionnaire. En revanche, pour l'item sur les conditions de disponibilité du mode, les notes de ce participant s'améliorent nettement, passant de 4/10 à 7/10 entre le premier et le dernier questionnaire (avec une note maximale de 9/10 au questionnaire Q2). Ces résultats, bien qu'intéressants, mériteraient d'être complétés par une troisième session afin de confirmer l'amélioration des performances du Participant 3 dans les situations de la Classe A. A ce stade, les résultats sont trop légers pour décrire une quelconque transformation de schème lié à l'activation de la conduite automatisée.

Pour les situations gérées par la conduite automatisée de la Classe B, le Participant 3 a repris la main une fois sur les cinq situations expérimentées en Session 1. Il a également rencontré deux types de difficultés : rapprocher les mains et le pied des commandes dans un embouteillage, et gêne concernant le placement dans la voie du véhicule automatisé lorsqu'un poids-lourd le dépassait. Lors de la Session 2, ce participant a désactivé la conduite automatisée une fois sur les sept situations expérimentées, et a rencontré deux autres types de difficultés : gêne concernant le freinage du véhicule automatisé lors d'un ralentissement fort et soudain, et gêne vis-à-vis d'un changement de voie automatisé (lors d'un « *lane-split* » et d'un « *lane-merge* »). Concernant les résultats aux questionnaires, pour l'item sur le rôle du conducteur en conduite automatisée, les notes baissent de 10 à 8/10 entre le premier et le dernier questionnaire. Pour l'item sur les possibilités de vie à bord, les notes augmentent de 7/10 au premier questionnaire à 9/10 à tous les autres. Ces résultats montrent que malgré l'acquisition de certaines connaissances, ce participant n'a pas su s'adapter aux situations de la Classe B. En effet, il n'a pas toujours compris le comportement du véhicule automatisé, et n'a pas su totalement inhiber ses automatismes de la conduite traditionnelle dans ces situations.

En ce qui concerne les situations ambiguës de la Classe C, le Participant 3 a commis aucune erreur en Session 1 après avoir repris la main pour gérer la situation de circulation chaotique, car il a percuté un véhicule qui souhaitait s'insérer. En revanche, lors de la Session 2, ce participant n'a commis aucune erreur puisqu'il a repris la main sans difficulté pour laisser passer le véhicule d'intervention. Comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, les résultats aux questionnaires concernant l'item sur le rôle du conducteur ont baissé au cours de l'expérimentation, alors que pour l'item sur les possibilités de vie à bord en conduite automatisée elles ont augmenté. Concernant l'item sur la procédure de désactivation, les résultats du Participant 3 s'améliorent, passant de 2/5 au questionnaire pré-test à 4/5 au

dernier questionnaire (avec une note maximale de 5/5 aux questionnaires Q1 et Q3). Ces résultats montrent une corrélation entre les connaissances acquises concernant la tâche de reprise en main et l'amélioration des performances du participant dans les situations de la Classe C. Cela traduit potentiellement le développement d'un schème de reprise en main dans les situations ambiguës de la conduite automatisée.

A propos des situations de désactivation de la Classe D, en Session 1 le Participant 3 a commis deux types d'erreurs : tentative de désactivation par l'accélérateur ratée, et attendre volontairement les dernières secondes du décompte pour reprendre la main. Ces difficultés concernent deux situations de désactivation sur les quatre expérimentées en première session. En revanche, ce participant n'a commis aucune erreur et n'a rencontré aucune difficulté lors des deux situations de reprise en main de la Session 2. Comme vu dans les paragraphes précédents, pour l'item sur les conditions de disponibilité du mode automatisé les notes du Participant 3 augmentent, tout comme les notes de l'item sur la procédure de désactivation. Ces résultats montrent une corrélation entre les connaissances acquises concernant les reprises en main et l'amélioration des performances du participant dans les situations de la Classe D. Cette adaptation traduit potentiellement le développement d'un schème de désactivation de la conduite automatisée chez le Participant 3.

En conclusion, nous observons une adaptation du Participant 3 pour les classes C et D, pouvant potentiellement traduire une amorce de transformation de schème. Ces résultats montrent qu'un processus de genèse instrumentale du véhicule automatisé semble en cours. Néanmoins, le participant aurait besoin de plus de pratique pour compléter ce processus, précisément pour apprendre à mieux gérer les situations d'activation de la conduite automatisée (Classe A), ainsi que les situations de la Classe B.

11.5.2.4. Évolution du Participant 4

Concernant les situations d'activation de la Classe A, le Participant 4 n'a rencontré qu'un seul type de difficulté en Session 1 : garder les mains et/ou le pied proches des commandes après l'activation. Cela concerne toutes les situations d'activation expérimentées lors de la première session. En Session 2, ce participant a commis cinq types d'erreurs et rencontré un type de difficulté : tentative d'activation ratée, tentative d'activation avant disponibilité du mode, erreur sur l'état d'activation suivi d'un relâchement des commandes entraînant une sortie de route, activation décentrée, activation dans un virage, et garder le pied au-dessus des pédales après l'activation. Ces difficultés concernent à nouveau toutes les situations d'activation expérimentées lors de cette session. Nous n'observons pas d'amélioration significative des résultats aux différents questionnaires concernant l'item sur la procédure d'activation de la

conduite automatisée. En effet, les notes du Participant 4 passent de 1/5 à 2/5 entre le premier et le dernier questionnaire. En revanche, pour l'item sur les conditions de disponibilité du mode, les notes de ce participant s'améliorent significativement et passent de 3/10 à 7/10 entre le questionnaire pré-test et le dernier questionnaire (avec une note maximale de 8/10 à l'avant-dernier questionnaire). Ces résultats montrent que le Participant 4 n'a pas su s'adapter pour mieux gérer les situations d'activation de la Classe A. Nous ne pouvons donc pas démontrer l'existence d'une quelconque transformation de schème liée à l'activation de la conduite automatisée.

Pour les situations gérées par la conduite automatisée de la Classe B, le Participant 4 n'a jamais repris la main lors des sept situations expérimentées en Session 1. Il a cependant rencontré un type de difficulté lorsqu'il a rapproché le pied des pédales dans quatre situations différentes : ralentissement fort et soudain, embouteillage, remontée de file de motards, et lorsqu'un poids-lourd le dépassait. Lors de la Session 2, ce participant a de nouveau rencontré cette même difficulté dans toutes les situations de la Classe B expérimentées dans cette session. Concernant les résultats aux questionnaires, pour l'item sur le rôle du conducteur en conduite automatisée, les notes baissent de 9/10 à 7/10 entre le premier et le dernier questionnaire. Pour l'item sur les possibilités de vie à bord, les notes n'augmentent pas significativement, passant de 7/10 à 8/10 entre le premier et le dernier questionnaire. Ces résultats montrent que les connaissances et la confiance de ce participant n'ont pas évoluées, et qu'il n'a pas su s'adapter aux situations de la Classe B d'une session à l'autre. En effet, il n'a pas été capable de complètement inhiber ses automatismes de la conduite traditionnelle dans ces situations.

En ce qui concerne les situations ambiguës de la Classe C, le Participant 4 n'a commis aucune erreur en Session 1 puisqu'il a repris la main sans difficulté pour laisser passer le véhicule d'intervention. En revanche, lors de la Session 2 ce participant n'a pas réagi face à la circulation chaotique et n'a donc pas repris la main pour gérer cette situation. Comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, les résultats aux questionnaires concernant l'item sur le rôle du conducteur sont en baisse, et pour l'item sur les possibilités de vie à bord en conduite automatisée ces dernières n'évoluent pas significativement. Concernant l'item sur la procédure de désactivation, les résultats du Participant 4 s'améliorent drastiquement, passant de 1/5 au questionnaire pré-test à 5/5 au dernier questionnaire. Ces résultats montrent que les connaissances acquises concernant la tâche de reprise en main n'ont pas suffi au participant pour apprendre à mieux gérer les situations de la Classe C. Nous n'observons donc pas de transformation de schème en lien avec la gestion des situations ambiguës de la conduite automatisée.

A propos des situations de désactivation de la Classe D, en Session 1 le Participant 4 a commis deux types d'erreurs : tentative de désactivation par l'accélérateur ratée, et erreur sur l'état de désactivation entraînant le déclenchement d'une manœuvre de refuge automatique. Ces difficultés ne concernent qu'une seule des deux situations de désactivation expérimentées en première session. Lors de la Session 2, ce participant a rencontré deux types de difficultés : incompréhension lors d'une demande de reprise en main rapide pour cause de capteur défaillant, et attendre les dernières secondes du décompte pour reprendre la main. Ces difficultés concernent deux situations sur les quatre expérimentées lors de la deuxième session. Comme vu dans les paragraphes précédents, pour l'item sur les conditions de disponibilité du mode automatisé les notes du Participant 4 augmentent nettement, tout comme pour l'item sur la procédure de désactivation. Ces résultats montrent une corrélation entre les connaissances acquises concernant les reprises en main et une légère amélioration des performances du participant dans les situations de la Classe D. Par ailleurs, lors du second entretien le Participant 4 explique qu'il a déjà pris l'habitude de n'utiliser que les boutons pour désactiver la conduite automatisée : « *Maintenant, ça va être plus simple. J'active, je désactive toujours avec les boutons. C'est vrai qu'on peut le faire aussi avec le coup de volant, la pédale, tout ça. J'ai l'habitude, comme ça. Je fais comme ça* ». Cette adaptation traduit potentiellement le développement d'un schème de désactivation de la conduite automatisée chez le Participant 4.

Pour conclure, nous observons une adaptation du Participant 4 seulement pour la Classe D, pouvant potentiellement traduire une amorce de transformation de schème. Ces résultats montrent qu'un processus de genèse instrumentale du véhicule automatisé semble tout juste commencer. Néanmoins, le participant aurait besoin de plus de pratique pour compléter ce processus, en particulier pour apprendre à mieux gérer les situations d'activation (Classe A), les situations de la Classe B, et les situations ambiguës (Classe C).

11.5.2.5. Évolution du Participant 5

Concernant les situations d'activation de la Classe A, le Participant 5 a commis un type d'erreur et rencontré un type de difficulté en Session 1 : activation décentrée à l'entrée d'un virage, et garder les mains et/ou le pied proches des commandes après l'activation. Cela concerne trois situations d'activation sur les quatre rencontrées lors de la première session. En Session 2, ce participant a commis à nouveau un type d'erreur et rencontré un type de difficulté similaire à la première session : freiner et appuyer sur les boutons pour activer en même temps, et garder les mains et/ou le pied proches des commandes après l'activation. Ces difficultés concernent les deux situations d'activation expérimentées lors de cette session. Une amélioration significative des résultats aux différents questionnaires est constatée pour

l'item concernant la procédure d'activation de la conduite automatisée. En effet, les notes du Participant 5 passent de 1/5 au premier questionnaire à 4/5 à tous les autres. En revanche, pour l'item sur les conditions de disponibilité du mode, les notes de ce participant baissent de 9/10 à 7/10 entre le questionnaire pré-test et le dernier questionnaire (en passant par 10 au questionnaire Q1). Ces résultats montrent que le Participant 5 n'a pas su s'adapter pour mieux gérer les situations d'activation de la Classe A. Nous ne pouvons donc pas démontrer l'existence d'une quelconque transformation de schème liée à l'activation de la conduite automatisée.

Pour les situations gérées par la conduite automatisée de la Classe B, le Participant 5 a repris la main une fois sur les six situations expérimentées en Session 1, lors d'un recentrage automatisé dans la voie. Il a également rencontré deux types de difficultés assez similaires : rapprocher le pied du frein dans un embouteillage, et poser les mains sur le volant et le pied sur l'accélérateur pour désactiver puis se raviser juste avant un changement de voie automatisé. Lors de la Session 2, ce participant a rencontré les deux mêmes types de difficultés : rapprocher les mains et/ou pied des commandes (ralentissement fort et soudain, et remontée de file de motards), et poser les mains sur le volant pour empêcher un changement de voie automatisé sans y parvenir (« *lane-split* »). Ces difficultés concernent trois situations de la Classe B sur les six expérimentées lors de la seconde session. Concernant les résultats aux questionnaires, pour l'item sur le rôle du conducteur en conduite automatisée, les notes stagnent à 8/10 tout au long de l'expérimentation. Pour l'item sur les possibilités de vie à bord, les notes augmentent de 8/10 au premier questionnaire à 10 aux questionnaires Q1, Q2 et Q3, puis rebaissent d'un point au dernier questionnaire. Ces résultats montrent que les connaissances et la confiance du participant n'ont presque pas évoluées, et qu'il ne s'est pas adapté aux situations de la Classe B d'une session à l'autre. En effet, il n'a pas été capable d'inhiber totalement ses automatismes de la conduite traditionnelle dans ces situations.

En ce qui concerne les situations ambiguës de la Classe C, le Participant 5 n'a commis aucune erreur en Session 1 puisqu'il a repris la main sans difficulté pour gérer la situation de circulation chaotique. Lors de la Session 2, ce participant a perçu le véhicule d'intervention et s'est rapproché des commandes mais n'a finalement pas repris la main pour gérer la situation. Comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, les résultats aux questionnaires concernant l'item sur le rôle du conducteur, et l'item sur les possibilités de vie à bord en conduite automatisée, n'évoluent pas significativement tout au long de l'expérimentation. En revanche, concernant l'item sur la procédure de désactivation, les résultats du Participant 5 s'améliorent drastiquement, passant de 1/5 au questionnaire pré-test à 5/5 au dernier

questionnaire. Ces résultats montrent que les connaissances acquises concernant la tâche de reprise en main dans les situations ambiguës n'ont pas suffi au participant pour apprendre à mieux gérer ces situations. Nous n'observons donc pas de transformation de schème en lien avec cette tâche.

A propos des situations de désactivation de la Classe D, en Session 1 le Participant 5 n'a commis qu'une petite erreur en attendant les dernières secondes du décompte pour reprendre la main dans une des trois situations expérimentées dans cette session. En revanche, il a commis deux types d'erreurs et rencontré un type de difficulté lors de la Session 2 : décentrage dans la voie après la désactivation, désactiver mais ne pas retrouver les pédales entraînant un décentrage, et sursauter lors d'une demande de reprise en main. Ces difficultés concernent les deux situations rencontrées dans le deuxième scénario. Comme vu dans les paragraphes précédents, pour l'item sur les conditions de disponibilité du mode automatisé les notes du Participant 5 baissent, alors que les notes de l'item sur la procédure de désactivation augmentent nettement. Ces résultats ne permettent pas d'identifier une évolution positive du participant dans sa gestion des situations de la Classe D. Nous ne pouvons donc pas décrire une quelconque transformation de schème lié à la désactivation de la conduite automatisée.

En conclusion, nous n'observons aucune adaptation pouvant potentiellement traduire une amorce de transformation de schème chez le Participant 5, quelle que soit la classe de situations. Aucun processus de genèse instrumentale du véhicule automatisé ne semble donc en cours. Le participant aurait besoin de plus de pratique pour apprendre à mieux gérer les situations d'activation (Classe A), les situations de la Classe B, les situations ambiguës (Classe C), et les situations de désactivation (Classe D) de la conduite automatisée.

11.5.2.6. Évolution du Participant 6

Concernant les situations d'activation de la Classe A, le Participant 6 a rencontré deux types de difficultés en Session 1 : décentrage puis recentrage dans la voie juste avant l'activation, et activation à l'entrée d'un virage, et garder les mains et le pied proches des commandes après l'activation. Cela ne concerne qu'une situation d'activation sur les deux expérimentées lors de la première session. En revanche, lors de la Session 2, ce participant a commis trois types d'erreurs et rencontré un type de difficulté similaire à la première session : activation décentrée, tentative d'activation ratée, erreur sur l'état d'activation suivi d'un relâchement des commandes, et garder les mains sur le volant après l'activation de la conduite automatisée. Ces difficultés concernent deux situations d'activation sur les quatre expérimentées lors de cette session. Nous n'observons pas d'amélioration significative des résultats aux différents

questionnaires concernant l'item sur la procédure d'activation de la conduite automatisée. En effet, les notes du Participant 6 passent de 2/5 au premier questionnaire à 3/5 à tous les autres. Pour l'item sur les conditions de disponibilité du mode, les notes de ce participant stagnent à 5/10. Ces résultats ne montrent pas d'adaptation de ce participant pour mieux gérer les situations de la Classe A. Nous ne pouvons donc pas démontrer l'existence d'une quelconque transformation de schème liée à l'activation de la conduite automatisée.

Pour les situations gérées par la conduite automatisée de la Classe B, le Participant 6 a repris la main deux fois sur les cinq situations expérimentées en Session 1, lors d'un ralentissement fort et soudain et d'un « *lane-merge* ». Il a également rencontré deux types de difficultés : gêne concernant le freinage du véhicule automatisé dans un embouteillage, et gêne concernant un changement de voie automatisé dans un « *lane-split* ». Lors de la Session 2, ce même participant n'a rencontré qu'une seule difficulté en sursautant lors d'un recentrage automatisé dans la voie. Concernant les résultats aux questionnaires, pour l'item sur le rôle du conducteur en conduite automatisée, les notes augmentent significativement en passant de 5/10 à 8/10 entre le premier et le dernier questionnaire. Pour l'item sur les possibilités de vie à bord, les notes augmentent également, passant de 6/10 à 8/10 entre le premier et le dernier questionnaire (avec une note maximale de 9/10 au questionnaire Q2). Ces résultats montrent une corrélation entre l'acquisition de connaissances, l'amélioration de la confiance, et l'amélioration des performances de ce participant dans les situations de la Classe B. Par ailleurs, lors de l'entretien de fin de de Session 2 le participant partage sa compréhension du fonctionnement du système et l'évolution de sa gestion des situations de la Classe B : « *Le clignotant s'est mis automatiquement, elle accélérerait quand elle devait accélérer, elle a doublé les voitures quand il y a eu un ralentissement... Vraiment nickel. Je suis agréablement surprise, par rapport à la première fois où j'étais aux aguets à chaque fois* ». Le Participant 6 semble donc avoir appris à faire confiance au système et à inhiber ses schèmes de la conduite traditionnelle dans toutes les situations gérées par le véhicule automatisé en Session 2.

En ce qui concerne les situations ambiguës de la Classe C, le Participant 6 n'a commis aucune erreur en Session 1 puisqu'il a repris la main sans difficulté pour laisser passer le véhicule d'intervention. En revanche, lors de la Session 2, ce participant n'a pas réagi face à la circulation car il était occupé sur son téléphone et n'a donc pas repris la main pour gérer la situation. Comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, les résultats aux questionnaires concernant l'item sur le rôle du conducteur, et l'item sur les possibilités de vie à bord en conduite automatisée, augmentent tout au long de l'expérimentation. Concernant l'item sur la procédure de désactivation, les résultats du Participant 6 n'évoluent quasiment pas car elles passent de 1/5 au questionnaire pré-test à 2/5 à tous les autres questionnaires.

Ces résultats ne montrent pas d'évolution positive de ce participant pour la gestion des situations de la Classe C. Nous ne pouvons donc pas décrire une quelconque transformation de schème en lien avec la gestion des situations ambiguës de la conduite automatisée chez le Participant 6.

A propos des situations de désactivation de la Classe D, en Session 1 le Participant 6 a rencontré une difficulté et commis une erreur lors de l'unique situation expérimentée : incompréhension lors d'une demande de reprise en main rapide pour cause de brouillard dense, et oublier comment désactiver suivi d'un appui sur les deux pédales en même temps. Lors de la Session 2 il a commis deux types d'erreurs : hésiter longuement entre le frein et l'accélérateur et désactiver tardivement, et attendre volontairement les dernières secondes pour reprendre la main. Ces difficultés concernent deux situations de reprise en main sur les quatre expérimentées en deuxième session. Comme vu dans les paragraphes précédents, pour l'item sur les conditions de disponibilité du mode automatisé les notes du Participant 6 stagnent, et les notes de l'item sur la procédure de désactivation n'évoluent quasiment pas et restent très basses. Ces résultats ne permettent pas d'identifier une évolution positive du participant dans sa gestion des situations de la Classe D. Nous ne pouvons donc pas décrire une quelconque transformation de schème lié à la désactivation de la conduite automatisée.

Pour conclure, nous observons une adaptation du Participant 6 uniquement pour la Classe B, pouvant potentiellement traduire une amorce de transformation de schème. Ces résultats montrent qu'un processus de genèse instrumentale du véhicule automatisé semble tout juste débuter. Néanmoins, le participant aurait besoin de plus de pratique pour compléter ce processus, en particulier pour apprendre à mieux gérer les situations d'activation (Classe A), les situations ambiguës (Classe C), et les situations de désactivation (Classe D).

11.5.2.7. Évolution du Participant 7

Concernant les situations d'activation de la Classe A, le Participant 7 a commis trois types d'erreurs assez similaires et rencontré un type de difficulté en Session 1 : activation décentrée, activation décentrée à l'entrée d'un virage, activation en étant entre deux voies, et garder les mains sur le volant après l'activation. Cela concerne trois situations d'activation sur les quatre rencontrées lors de la première session. En Session 2, ce participant a commis un type d'erreur concernant l'état d'activation de la conduite automatisé suivi d'un relâchement des commandes entraînant un ralentissement important et risqué en pleine voie. Cette difficulté ne concerne qu'une situation sur les deux expérimentées lors de cette session. Nous n'observons pas d'amélioration significative des résultats aux différents questionnaires pour l'item concernant la procédure d'activation de la conduite automatisée. En effet, les notes du

Participant 7 passent de 1/5 à 2/5 entre le premier et le dernier questionnaire. Il en est de même pour l'item sur les conditions de disponibilité du mode puisque les notes de ce participant stagnent à 3/10 tout au long de l'expérimentation. Ces résultats montrent que les connaissances du participant concernant cette tâche n'ont pas évoluées, et que ses performances ne sont pas suffisantes pour démontrer l'existence d'une quelconque transformation de schème liée à l'activation de la conduite automatisée.

Pour les situations gérées par la conduite automatisée de la Classe B, le Participant 7 a repris la main une fois sur les six situations expérimentées en Session 1, lors d'un recentrage automatisé dans la voie. Il a également rencontré une difficulté en rapprochant les mains du volant et les deux pieds du frein dans un embouteillage. Lors de la Session 2, ce participant a désactivé la conduite automatisée une fois sur les cinq situations expérimentées, lors d'un ralentissement fort et soudain. Concernant les résultats aux questionnaires, pour l'item sur le rôle du conducteur en conduite automatisée, les notes baissent très légèrement de 8/10 à 7/10 entre le premier et le dernier questionnaire. En revanche, pour l'item sur les possibilités de vie à bord, les notes augmentent de 5/10 à 7/10 entre le premier et le dernier questionnaire. Ces résultats sont intéressants mais mériteraient d'être complétés lors d'une troisième session pour confirmer une adaptation de ce participant aux situations de la Classe B. En effet, en l'état actuel ils ne sont pas suffisamment robustes pour dire que le Participant 7 a appris à inhiber ses schèmes de la conduite traditionnelle dans ces situations.

En ce qui concerne les situations ambiguës de la Classe C, le Participant 7 a commis deux fois la même erreur d'une session à l'autre. En effet, que ce soit pour la situation de circulation chaotique (Session 1) ou pour la situation avec le véhicule d'intervention (Session 2), le participant a hésité trop longtemps avant de reprendre la main. Il a donc réagi lorsque cela n'était plus nécessaire, augmentant le risque encouru dans ces situations ambiguës. Comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, les résultats aux questionnaires concernant l'item sur le rôle du conducteur baissent légèrement, alors que pour l'item sur les possibilités de vie à bord en conduite automatisée ils augmentent. Concernant l'item sur la procédure de désactivation, les résultats du Participant 7 s'améliorent drastiquement, passant de 1/5 au questionnaire pré-test à 4/5 au dernier questionnaire. Ces résultats montrent que les connaissances acquises concernant la tâche de reprise en main dans les situations ambiguës n'ont pas suffi au participant pour apprendre à mieux gérer ces situations. Nous n'observons donc pas de transformation de schème en lien avec cette tâche.

A propos des situations de désactivation de la Classe D, en Session 1 le Participant 7 a commis deux erreurs : désactiver et oublier d'accélérer entraînant un ralentissement en pleine voie, et attendre les dernières secondes pour reprendre la main. Ces difficultés concernent

deux des quatre situations de désactivation expérimentées en Session 1. Lors de la Session 2, il a commis deux nouveaux types d'erreurs similaires : désactiver et chercher la pédale entraînant un décentrage dans la voie, et décentrage après la désactivation. Ces difficultés concernent les deux situations rencontrées dans le deuxième scénario. Comme vu dans les paragraphes précédents, pour l'item sur les conditions de disponibilité du mode automatisé les notes du Participant 7 stagnent à 3/10, alors que les notes de l'item sur la procédure de désactivation augmentent nettement. Ces résultats ne permettent pas d'identifier une évolution positive du participant dans sa gestion des situations de la Classe D. Nous ne pouvons donc pas décrire une quelconque transformation de schème lié à la désactivation de la conduite automatisée.

En conclusion, nous n'observons aucune adaptation pouvant potentiellement traduire une amorce de transformation de schème chez le Participant 7, quelle que soit la classe de situations. Aucun processus de genèse instrumentale du véhicule automatisé ne semble donc en cours. Le participant aurait besoin de plus de pratique pour apprendre à mieux gérer les situations d'activation (Classe A), les situations de la Classe B, les situations ambiguës (Classe C), et les situations de désactivation (Classe D) de la conduite automatisée.

11.5.2.8. Évolution du Participant 8

Concernant les situations d'activation de la Classe A, le Participant 8 n'a rencontré qu'un type de difficulté en Session 1 : garder les mains et le pied proches des commandes après l'activation. Cette difficulté ne concerne qu'une situation d'activation sur les deux rencontrées lors de la première session. En revanche, lors de la Session 2, ce participant a commis trois fois le même type d'erreur en activant la conduite automatisée en étant décentré dans la voie. Cela concerne donc trois situations d'activation sur les quatre expérimentées lors de cette session. Une amélioration des résultats aux différents questionnaires est constatée pour l'item concernant la procédure d'activation de la conduite automatisée. Les notes du Participant 8 passant de 1/5 au premier questionnaire à 3/5 à tous les autres. Au contraire, pour l'item sur les conditions de disponibilité du mode, les notes de ce participant baissent drastiquement et passent de 8/10 au questionnaire pré-test à 5/10 à tous les autres questionnaires. Ces résultats montrent que les connaissances du participant concernant cette tâche n'ont quasiment pas évoluées, et que ses performances ne permettent pas de démontrer l'existence d'une quelconque transformation de schème liée à l'activation de la conduite automatisée.

Pour les situations gérées par la conduite automatisée de la Classe B, le Participant 8 a repris la main une fois sur les sept situations expérimentées en Session 1, pour aller plus vite lorsqu'un poids-lourd le dépassait. Il a également rencontré une difficulté en ressentant un

manque de confiance et de l'ennui dans une situation d'embouteillage. En revanche, lors de la Session 2 ce participant n'a rencontré aucune difficulté et n'a jamais repris la main sur les six situations de la Classe B expérimentées dans cette session. Concernant les résultats aux questionnaires, pour l'item sur le rôle du conducteur en conduite automatisée, les notes augmentent drastiquement de 4/10 à 8/10 entre le premier et le dernier questionnaire. Pour l'item sur les possibilités de vie à bord, les notes augmentent également significativement, passant de 6/10 à 9/10 entre le premier et le dernier questionnaire. Ces résultats montrent une corrélation entre l'acquisition de connaissances et l'amélioration des performances de ce participant dans les situations de la Classe B. D'ailleurs, lors de l'entretien de la seconde session, ce participant évoque son évolution vis-à-vis des situations de la Classe B : « *J'avais un peu plus confiance qu'hier. Parce que j'avais un peu plus l'habitude [...] J'avais plus de facilité à lâcher le volant. Je pense que c'est parce que je l'avais déjà fait.* ». Le Participant 8 semble donc avoir appris à inhiber ses schèmes de la conduite traditionnelle dans toutes les situations gérées par le véhicule automatisé en Session 2.

En ce qui concerne les situations ambiguës de la Classe C, le Participant 8 n'a pas repris la main en Session 1 alors qu'il avait bien identifié le véhicule d'intervention dans le rétroviseur. En Session 2, le participant a hésité trop longtemps avant de reprendre la main et a donc réagi lorsque cela n'était plus nécessaire, augmentant le risque encouru dans la situation de circulation chaotique. De plus, lorsqu'il a finalement repris la main il a légèrement paniqué et n'a pas retrouvé l'accélérateur immédiatement. Comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, les résultats aux questionnaires concernant l'item sur le rôle du conducteur, et l'item sur les possibilités de vie à bord en conduite automatisée augmentent tout au long de l'expérimentation. Concernant l'item sur la procédure de désactivation, les résultats du Participant 8 s'améliorent drastiquement, passant de 1/5 au questionnaire pré-test à 5/5 au dernier questionnaire. Ces résultats montrent que les connaissances acquises concernant la tâche de reprise en main dans les situations ambiguës n'ont pas permis au participant d'apprendre à mieux gérer ces situations. Nous n'observons donc pas de transformation de schème en lien avec cette tâche.

A propos des situations de désactivation de la Classe D, en Session 1 le Participant 8 a commis deux types d'erreurs : désactiver et oublier d'accélérer entraînant un ralentissement important en pleine voie, et désactiver dans un virage entraînant un décentrage dans la voie. Ces difficultés concernent les deux situations de désactivation expérimentées en première session. Lors de la Session 2, ce participant n'a commis qu'une petite erreur lors d'une seule situation sur les quatre expérimentées, en attendant les dernières secondes du décompte pour reprendre la main. Comme vu dans les paragraphes précédents, pour l'item sur les

conditions de disponibilité du mode automatisé les notes du Participant 8 baissent nettement, alors que pour l'item sur la procédure de désactivation elles augmentent significativement. Ces résultats montrent une corrélation entre les connaissances acquises concernant la procédure de reprise en main et une amélioration des performances du participant dans les situations de la Classe D. Lors du dernier entretien, ce participant nous partage une connaissance opérationnelle généralisée concernant les demandes de reprise en main : « *À chaque fois qu'il y a un obstacle, elle me demande de reprendre le volant. J'ai l'impression que c'est ça* ». Cette adaptation traduit potentiellement le développement d'un schème de désactivation de la conduite automatisée chez le Participant 8.

Pour conclure, nous observons une adaptation du Participant 8 pour les classe B et D, pouvant potentiellement traduire une amorce de transformation de schème. Ces résultats montrent qu'un processus de genèse instrumentale du véhicule automatisé semble en cours. Néanmoins, le participant aurait besoin de plus de pratique pour compléter ce processus, en particulier pour apprendre à mieux gérer les situations d'activation (Classe A), et les situations ambiguës (Classe C).

11.5.3. Comparaison de l'activité de conduite automatisée des deux groupes en fonction des classes de situations

Dans cette section nous comparons l'activité des deux groupes pour chaque classe de situations, en mettant l'accent sur les transformations de schèmes potentiellement identifiées dans les sections précédentes.

11.5.3.1. Comparaison de l'activité des groupes 1 « didacticiel » et 2 « sans didacticiel » pour les situations de la Classe A

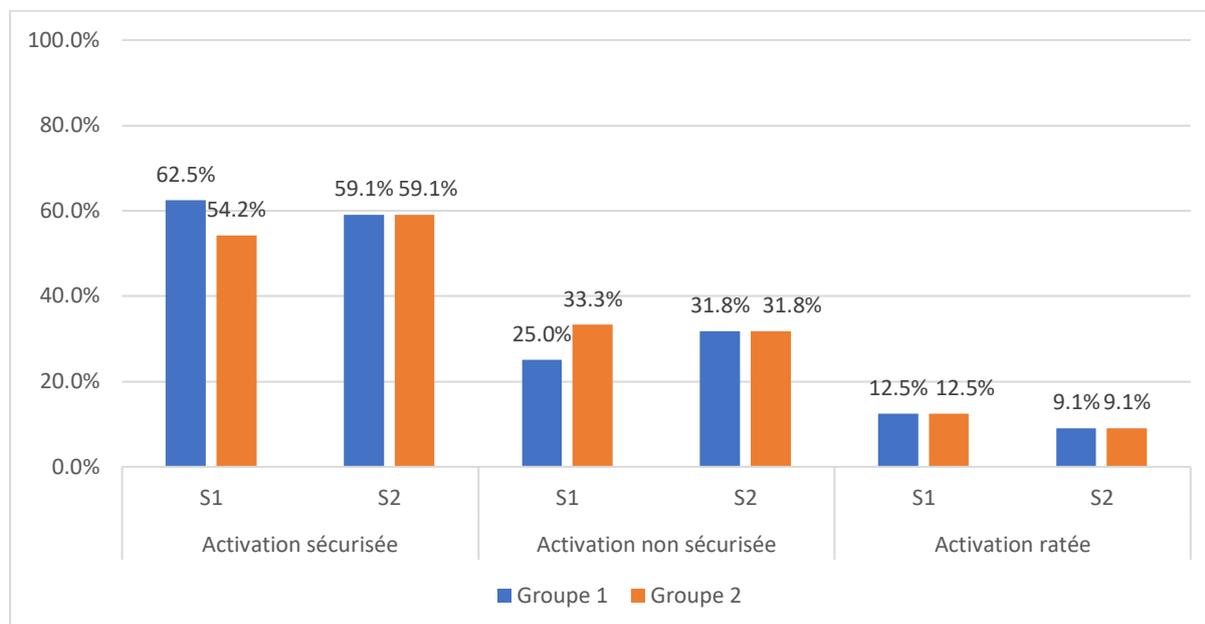


Figure 84 : Comparaison de l'activité du Groupe 1 « didacticiel » et du Groupe 2 « sans didacticiel » dans les situations d'activation de la Classe A.

Suite à l'analyse des données présentées dans la Figure 84, nous n'observons pas de différence significative dans l'activité des deux groupes pour les situations d'activation de la Classe A. De plus, seuls deux participants du Groupe 1 « didacticiel » et un participant du Groupe 2 « sans didacticiel » montrent une évolution positive au cours de l'expérimentation, laissant penser à une potentielle transformation de schème vers un schème d'activation de la conduite automatisée. Ces résultats permettent de dire que l'utilisation du didacticiel « AUTO-DIDACT' » n'a pas eu d'impact sur les participants du Groupe 1, par rapport à ceux du Groupe 2, concernant la gestion des situations de la Classe A. Néanmoins, la légère amélioration de la gestion de ces situations par les deux groupes laisse penser que la réalisation des scénarios de simulation a potentiellement eu un effet sur cet apprentissage.

11.5.3.2. Comparaison de l'activité des groupes 1 « didacticiel » et 2 « sans didacticiel » pour les situations de la Classe B

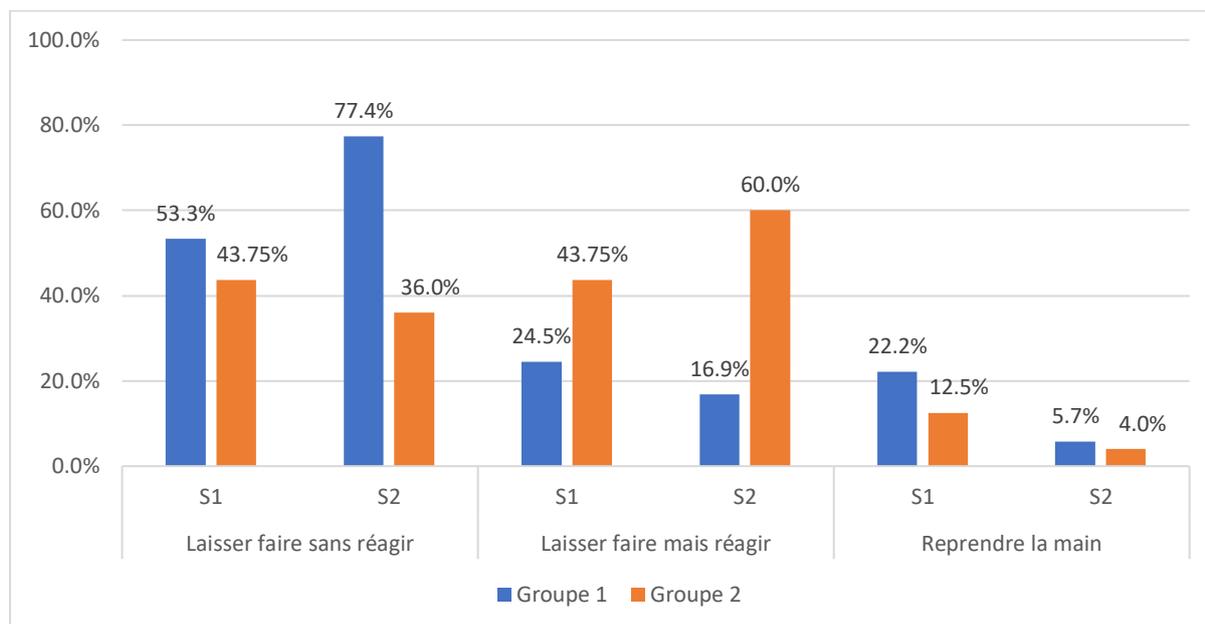


Figure 85 : Comparaison de l'activité du Groupe 1 « didacticiel » et du Groupe 2 « sans didacticiel » dans les situations de la Classe B.

Pour les situations gérées par la conduite automatisée de la Classe B, après analyse des données présentées dans la Figure 85, nous observons des différences significatives dans l'activité des deux groupes principalement lors de la Session 2. En effet, les résultats de tous les participants du Groupe 1 « didacticiel » ont évolué positivement au cours de l'expérimentation. Ces derniers sont parvenus à inhiber des schèmes automatisés de la conduite traditionnelle pour cette classe de situations, contre seulement deux participants pour le Groupe 2 « sans didacticiel ». Ces résultats permettent de dire que l'utilisation du didacticiel « AUTO-DIDACT' » a eu un impact positif sur les participants du Groupe 1, par rapport à ceux du Groupe 2, concernant la gestion des situations gérées par la conduite automatisée de la Classe B.

11.5.3.3. Comparaison de l'activité des groupes 1 « didacticiel » et 2 « sans didacticiel » pour les situations de la Classe C

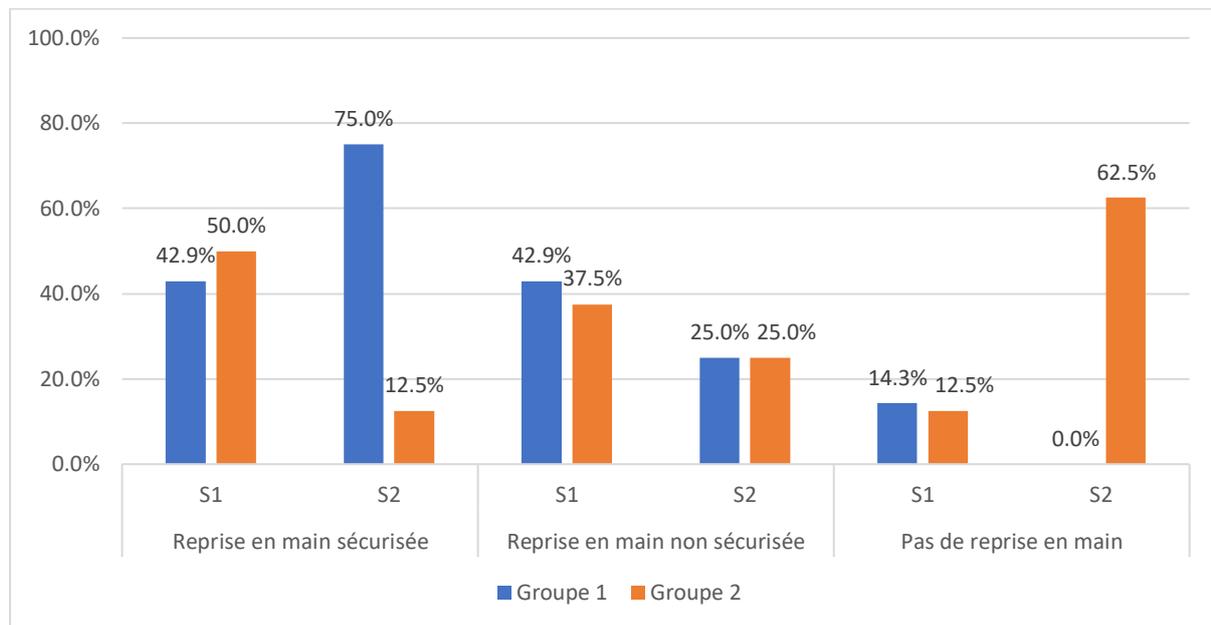


Figure 86 : Comparaison de l'activité du Groupe 1 « didacticiel » et du Groupe 2 « sans didacticiel » dans les situations ambiguës de la Classe C.

L'analyse des données présentées dans la Figure 86 nous permet d'observer des différences significatives, en particulier lors de la Session 2, dans la gestion des situations ambiguës de la Classe C des deux groupes. En effet, cinq participants du Groupe 1 « didacticiel » montrent une évolution positive de leur gestion de ces situations, laissant penser à une potentielle transformation de schème vers un schème de reprise en main dans les situations ambiguës, contre un seul participant pour le Groupe 2 « sans didacticiel ». Ces résultats permettent de dire que l'utilisation du didacticiel « AUTO-DIDACT' » a eu un impact positif sur les participants du Groupe 1, par rapport à ceux du Groupe 2, concernant la gestion des situations ambiguës de la Classe C.

11.5.3.4. Comparaison de l'activité des groupes 1 « didacticiel » et 2 « sans didacticiel » pour les situations de la Classe D

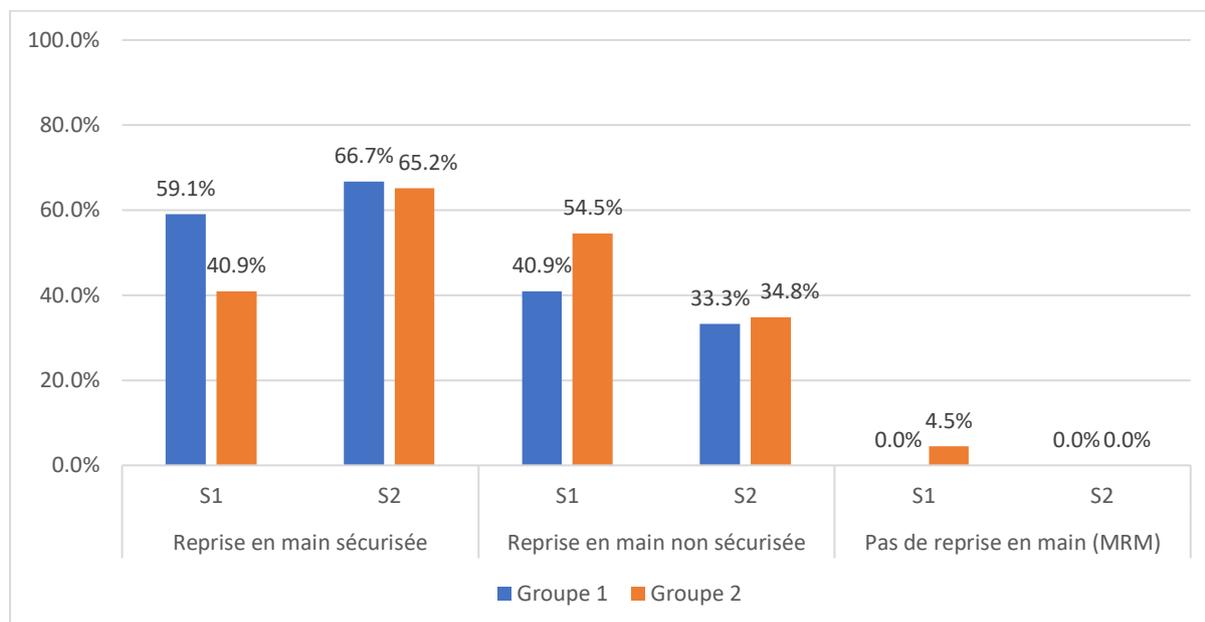


Figure 87 : Comparaison de l'activité du Groupe 1 « didacticiel » et du Groupe 2 « sans didacticiel » dans les situations de désactivation de la Classe D.

Pour les situations de désactivation de la conduite automatisée de la Classe D, suite à l'analyse des données présentées dans la Figure 87, nous observons des différences dans l'activité des deux groupes uniquement lors de la Session 1. De plus, les résultats montrent que quatre participants du Groupe 1 « didacticiel », et cinq participants du Groupe 2 « sans didacticiel », ont fait évoluer positivement leur gestion de ces situations au cours de l'expérimentation, laissant penser à une potentielle transformation de schème vers un schème de désactivation de la conduite automatisée. Nous pensons que l'utilisation du didacticiel « AUTO-DIDACT' » a peut-être permis aux participants du Groupe 1 d'apprendre plus rapidement que ceux du Groupe 2 « sans didacticiel » à désactiver la conduite automatisée. Cependant, sur l'ensemble de l'expérimentation nous ne pouvons pas dire que le didacticiel a eu un impact significatif concernant cette tâche. En revanche, l'évolution positive des résultats du Groupe 2 « sans didacticiel » laisse penser que la réalisation des scénarios de simulation a eu un effet positif sur cet apprentissage.

11.6. Données d'utilisation du didacticiel embarqué « AUTO-DIDACT' »

Nous nous sommes demandés quels modules avaient été explorés par les participants du Groupe 1 « didacticiel », et ce qu'ils en avaient pensé du point de vue de l'apport pour l'activité de conduite automatisée, puis du point de vue de l'expérience utilisateur.

11.6.1. Apport du didacticiel pour l'activité de conduite automatisée

Afin de répondre à la première question, nous avons analysé les entretiens en identifiant et en recueillant les types de connaissances que les participants ont mobilisé pendant les scénarios de conduite automatisée. Pour rappel, la répartition des types de connaissances au sein des différents modules du didacticiel « AUTO-DIDACT' » s'est faite de la manière suivante, mais les participants étaient libres de naviguer dans le didacticiel comme ils le souhaitaient :

Module « Mes premiers pas » : raccourcis vers les autres modules.

Module « Présentation générale » :

- Connaissances sur le fonctionnement du système (technologies, capacités, limites, interfaces de la conduite automatisée, rôle du conducteur et possibilités de vie à bord).
- Connaissances sur les procédures d'activation et de désactivation de la conduite automatisée.

Module « Guide interactif » :

- Connaissances sur le fonctionnement du système (technologies, capacités, limites, interfaces de la conduite automatisée, rôle du conducteur et possibilités de vie à bord).
- Connaissances sur les procédures d'activation et de désactivation de la conduite automatisée.
- Méta-connaissances des conducteurs (mini-quizz).

Module « Situations types » :

- Connaissances sur les procédures d'activation et de désactivation de la conduite automatisée.
- Connaissances sur les situations sensibles de la conduite automatisée.

Module « Simulation embarquée » :

- Connaissances sur les procédures d'activation et de désactivation de la conduite automatisée.
- Connaissances sur les situations sensibles de la conduite automatisée.
- Méta-connaissances des conducteurs (feedbacks).

Le Tableau 52 présente une vue d'ensemble des types de connaissances mobilisés par les participants en fonction des classes de situations expérimentées lors des deux scénarios de conduite automatisée :

	Connaissances du fonctionnement	Connaissances des procédures	Connaissances des situations	Méta-connaissances
Classe A	P6	P3, P4, P5, P6, P8	P5	P5, P7
Classe B	P1, P2, P3, P4, P5, P7, P8	-	P3, P5, P6, P8	P1, P5, P6
Classe C	-	P5, P7	P3, P5, P6, P7	-
Classe D	P2, P6, P8	P2, P3, P4, P5, P6, P8	P1, P2, P3, P4, P5, P6, P8	P4, P7

Tableau 52 : Types de connaissances mobilisées par les participants du Groupe 1 « didacticiel » en fonction des classes de situations de la conduite automatisée.

En synthèse, les huit participants ont passé entre 11 minutes 45 secondes et 47 minutes 42 secondes à explorer le didacticiel lors de la première session (moyenne = 24 minutes 17 secondes ; σ = 12 minutes 9 secondes), et entre 4 minutes 13 secondes et 25 minutes 39 secondes (moyenne = 17 minutes 18 secondes ; σ = 7 minutes 26 secondes) lors de la seconde session. La tendance montre donc un temps d'utilisation qui régresse en Session 2 par rapport à la Session 1. Dans cette section nous prenons l'exemple des participants 1 et 2 pour détailler leur utilisation du didacticiel, le détail pour les autres participants étant disponible dans les annexes 43 à 48.

11.6.1.1. Exemple de l'utilisation du didacticiel « AUTO-DIDACT' » par le Participant 1

Le Participant 1 a passé 15 minutes et 50 secondes sur le didacticiel lors de la phase de « formation » de la Session 1. Il a ainsi pu explorer le module vidéo « Présentation générale » (14 secondes), le module « Guide interactif » (14 secondes), le module vidéo « Situations types » (2 minutes et 41 secondes), et le module « Simulation embarquée » (11 minutes et 33 secondes). Concernant l'apport du didacticiel pour l'activité de conduite automatisée, ce participant évoque des connaissances sur les capacités du système : « *Ça m'a permis de comprendre ce qui était vraiment actif dans les lignes droites et qu'en général, il n'y avait pas non plus trop de problèmes* » ; il nous partage également sa représentation (pas tout à fait juste) des situations de désactivation (Classe D) : « *Dans des virages ou des situations un peu... pas dangereuses, mais des situations de travaux ou de bouchons ou autres, là, il fallait vraiment reprendre la main* » ; et enfin, il évoque les limites du système : « *Sur les vidéos que j'ai vues, je pense que c'est quand même intéressant, éventuellement, de voir quelles sont, non pas les failles, mais les limites de l'intelligence artificielle* ». En Session 2, le Participant 1 a passé 12 minutes et 38 secondes sur le didacticiel. Il a exploré les modules vidéo « Présentation générale » (3 minutes et 38 secondes) et « Situations types » (2 minutes), ainsi

que le module « Simulation embarquée » (6 minutes et 31 secondes). Lors de l'entretien de fin de session, concernant l'apport du didacticiel, ce participant évoque les limites du système et le rôle du conducteur : « *Ça donne des avertissements, enfin, ce qu'il faut faire, il ne faut pas faire, ce qu'il faut éviter. Elle est limitée, du coup, la possibilité de l'intelligence artificielle. Donc pour pouvoir éventuellement par la suite réagir, enfin savoir ce qu'il faudra vraiment faire sur la route* » ; ainsi que des méta-connaissances sur sa capacité à faire confiance au système : « *Lui laisser un peu de liberté, décrocher un peu le regard quelques secondes. Je n'irai peut-être pas jusqu'à quelques minutes, je pense qu'il faudrait encore que je conduise un petit peu plus, mais lui donner un petit peu plus confiance, et voir ce qu'il peut faire, et ne pas faire* ».

11.6.1.2. Exemple de l'utilisation du didacticiel « AUTO-DIDACT' » par le Participant 2

Lors de la phase de « formation » de la Session 1, le Participant 2 a exploré le didacticiel pendant 9 minutes et 26 secondes. Durant cette utilisation il est passé par le module « Mes premiers pas » (3 minutes et 47 secondes), le module vidéo « Présentation générale » (2 minutes et 33 secondes), le module vidéo « Situations types » (13 secondes), et le module « Simulation embarquée » (37 secondes). Pendant le scénario de cette session, il a également ouvert le didacticiel pendant la conduite automatisée, pour une durée totale d'utilisation de 8 minutes et 15 secondes. Lors de cette utilisation, il a visité le module « Présentation générale » (2 minutes et 10 secondes), et le module « Guide interactif » (6 minutes et 5 secondes). En ce qui concerne l'apport du didacticiel pour l'activité de conduite automatisée, ce participant évoque les délais pour désactiver dans les différents types de demande de reprise en main : « *Le temps de réaction quand la voiture me demande de reprendre la conduite. [...] je sais combien de temps. Chaque cas, avant chaque danger, il y a un temps de réaction, et c'est bien indiqué dedans. Je me dis que j'ai un laps de temps pour faire ça, et je dois le faire dans ce laps de temps pour que je sois en sécurité* » ; il évoque aussi une situation de changement de voie automatisé (Classe B) : « *Je me suis dit c'est la voiture qui décide. Elle a pu anticiper où elle va, elle a pris les paramètres en compte. Dans le didacticiel, j'ai vu qu'il y avait justement cette histoire de paramètres qu'elle prenait en compte* » ; il nous partage également sa représentation du fonctionnement du système : « *Faisant partie du didacticiel, c'est très, très bien, parce que je sais que ça respectera la conduite, ça n'ira pas au-delà de la conduite. Ça respectera les limites, les distances de sécurité. La voiture prend tout en compte. C'est la sécurité* » ; et enfin, il évoque les possibilités de vie à bord et le rôle du conducteur en conduite automatisée : « *Il faut toujours rester à la place du chauffeur. On est quand même avant tout conducteur. On est à la place du conducteur, on peut regarder son téléphone, lire ses mails vite fait, on peut faire des choses, mais tout en restant dans le cadre de la conduite* ». Lors de la Session 2, le Participant

2 a passé 17 minutes et 25 secondes sur le didacticiel. Il a visité le module « Mes premiers pas » (1 minute et 54 secondes), les modules vidéo « Présentation générale » (2 minutes et 23 secondes) et « Situations types » (6 minutes et 40 secondes), ainsi que le module « Simulation embarquée » (5 minutes et 35 secondes). Concernant l'apport du didacticiel, lors de l'entretien de cette même session ce participant évoque les limites du système : « *Le didacticiel n'a pas peur de dire qu'il y a des faiblesses, en temps de pluie forte. Il y a des endroits où il dit qu'on ne peut pas adapter ce mode de conduite. Il dit les paramètres où il ne peut pas, et je trouve que c'est très bien de confirmer ses faiblesses. On sait là où il est fort, on sait là où il est faible* » ; ainsi que les demandes de reprise en main et la manœuvre de refuge automatique : « *J'ai eu peur de ne pas pouvoir reprendre, sachant qu'on a le didacticiel. J'ai vu que quand il me demandait de reprendre la main, il se mettait en sécurité sur le côté, et je ne voulais pas que ça arrive* ».

11.6.1.3. Synthèse de l'utilisation du didacticiel « AUTO-DIDACT' » par le Groupe 1

Nous avons résumé ces résultats dans le Tableau 53 qui permet d'avoir une vue globale pour l'ensemble du Groupe 1 « didacticiel ». Nous avons converti les durées d'utilisation en pourcentages de temps passé sur les différents modules afin de pouvoir comparer de manière plus juste ces résultats avec les évolutions de chaque participant. Nous pensons que cette comparaison peut nous donner des informations sur l'efficacité des différents contenus pédagogiques et des différents modules du didacticiel « AUTO-DIDACT' ».

Participants	« Présentation générale »	« Guide interactif »	« Situations types »	« Simulation embarquée »
P1	13,6%	0,8%	16,5%	63,5%
P2	20,7%	17,3%	19,6%	17,7%
P3	26,6%	4,8%	21,7%	39,8%
P4	27,8%	22,0%	9,9%	25,7%
P5	16,1%	20,7%	29,4%	27,0%
P6	7,6%	46,4%	37,2%	0%
P7	17,2%	21,0%	21,6%	31,4%
P8	27,6%	72,1%	0%	0%

Tableau 53 : Pourcentage de temps passé sur les différents modules du didacticiel « AUTO-DIDACT' » pour chaque participant du Groupe 1 toutes sessions confondues.

Le Participant 1 a principalement utilisé le module « Simulation embarqué ». En revanche, il a très peu utilisé les modules « Situations types » et « Présentation générale », et n'a quasiment pas utilisé le module « Guide interactif ». Cela signifie que ce sont principalement les connaissances sur les situations sensibles, les connaissances sur les procédures et éventuellement des méta-connaissances qui lui ont permis de s'adapter aux situations de la Classe B et de la Classe D.

Le Participant 2 a utilisé tous les modules de manière quasi équitable. Nous ne pouvons donc pas précisément dire si un type de connaissances plus qu'un autre lui a permis de s'adapter aux situations de la Classe B et de la Classe C.

Le Participant 3 a beaucoup utilisé le module « Simulation embarqué », il a également utilisé les modules « Présentation générale » et « Situations types », mais très peu le module « Guide interactif ». Nous pensons donc que ce sont majoritairement les connaissances sur les situations sensibles, sur les procédures, d'éventuelles méta-connaissances, et dans une moindre mesure, les connaissances générales sur le fonctionnement, qui lui ont permis de s'adapter aux situations des classes B et C.

Le Participant 4 a utilisé de façon quasi équitable les modules « Présentation générale », « Simulation embarquée », et « Guide interactif ». Il a, en revanche, très peu utilisé le module « Situations types ». Cela signifie qu'il a principalement mobilisé des connaissances générales, des connaissances sur les procédures, et d'éventuelles méta-connaissances pour s'adapter aux situations de la Classe B et de la Classe C. Pour cela il a également pu être aidé par des connaissances sur les procédures et des connaissances sur les situations sensibles.

Le Participant 5 a principalement utilisé les modules « Situations types » et « Simulation embarquée ». Il a un peu moins utilisé les modules « Guide interactif » et « Présentation générale ». Nous pensons que ce sont donc principalement les connaissances sur les situations sensibles, les connaissances sur les procédures, et éventuellement des méta-connaissances qui ont aidé ce participant à s'adapter aux situations des classes A, B, C et D. Des connaissances générales sur le fonctionnement du système ont potentiellement pu jouer un rôle également.

Le Participant 6 beaucoup utilisé le module « Guide interactif » et le module « Situations types ». Tous les types de connaissances ont donc pu aider ce participant à s'adapter dans les situations de la Classe A, de la Classe B et de la Classe D.

Le Participant 7 a majoritairement utilisé le module « Simulation embarqué », mais il a aussi utilisé les modules « Situations types » et « Guide interactif », et dans une moindre mesure le module « Présentation générale ». Cela signifie que tous les types de connaissances ont pu aider ce participant à s'adapter aux situations des classes B, C et D, mais que les connaissances sur les situations, les connaissances sur les procédures et éventuellement des méta-connaissances ont possiblement joué un rôle plus important.

Pour terminer, le Participant 8 n'a utilisé que deux modules lors des deux sessions. Il a beaucoup utilisé le module « Guide interactif », et un peu le module « Présentation générale ». Nous pensons donc que ce sont majoritairement les connaissances générales sur le fonctionnement du système et éventuellement des méta-connaissances qui lui ont permis de s'adapter aux situations de la Classe B.

11.6.2. Évaluation de l'expérience utilisateur du didacticiel

Pour répondre à la seconde question, nous avons recueilli quelques données liées à l'utilisabilité du didacticiel afin d'en améliorer son expérience utilisateur dans les futures versions. Les observations et entretiens nous ont permis d'identifier les forces et les faiblesses des différents modules et écrans, que nous avons répertoriés dans le Tableau 54.

Interfaces / modules	Forces	Faiblesse
Page d'accueil	<ul style="list-style-type: none"> • Choix libre des modules – 2/8 • Suivi de l'avancement – 1/8 	<ul style="list-style-type: none"> • Ne pas savoir par où commencer – 1/8
« Mes premiers pas »	<ul style="list-style-type: none"> • Situations les plus importantes – 2/8 • Raccourcis pratiques – 2/8 • Image avec la route très parlante – 2/8 • Devrait remplacer la page d'accueil – 1/8 	<ul style="list-style-type: none"> • Lien avec les autres modules pas très clair – 2/8 • Ne pas comprendre l'icône du véhicule automatisé – 1/8 • Ne pas comprendre la signification des événements représentés – 1/8 • Boutons cliquables pas assez explicites – 1/8
« Présentation générale »	<ul style="list-style-type: none"> • Lecture sur l'écran du tableau de bord – 2/8 • Complet – 1/8 • Procédure d'activation – 1/8 • Demandes de reprise en main – 1/8 • Permet un rappel rapide – 1/8 • Suivi de l'avancement du visionnage – 1/8 • Vidéo plus facile à assimiler – 1/8 	<ul style="list-style-type: none"> • Lecture trop rapide – 2/8 • Manque d'interactivité avec commandes – 2/8 • Trop de contenu vidéo – 1/8 • Ne pas savoir où cliquer pour lire la vidéo – 1/8 • Manque de son – 1/8 • Lecture trop lente – 1/8
« Guide interactif »	<ul style="list-style-type: none"> • Mini-quizz - 5/8 • Format ludique, interactif – 2/8 • Procédure de désactivation – 1/8 • Rôle du conducteur – 1/8 • Permet un rappel rapide – 1/8 • Vocabulaire simple – 1/8 	<ul style="list-style-type: none"> • Manque d'interactivité avec commandes – 2/8 • Trop de contenu – 1/8 • Vocabulaire complexe (AD, LEDs, pulser vs. clignoter) – 1/8
« Situations types »	<ul style="list-style-type: none"> • Situations gérées par la conduite automatisée – 2/8 • Contenu intéressant et bien expliqué – 2/8 • Situations d'activation – 1/8 • Situations réelles – 1/8 • Lecture sur l'écran du tableau de bord – 1/8 	<ul style="list-style-type: none"> • Lecture trop lente – 2/8 • Ne pas savoir où cliquer pour lire la vidéo – 1/8 • Manque de son – 1/8 • Lecture trop rapide – 1/8

« Simulation embarquée »	<ul style="list-style-type: none"> • Mettre en pratique les connaissances – 2/8 • S'entraîner à activer et désactiver – 2/8 • Se familiariser et faire confiance à la conduite automatisée – 2/8 • Prendre en main le véhicule – 2/8 • Comprendre demandes de reprise en main – 1/8 • Comprendre interfaces – 1/8 • S'entraîner en sécurité à l'arrêt – 1/8 	<ul style="list-style-type: none"> • Ne pas comprendre comment faire avancer la voiture dès le premier essai – 3/8 • Difficile à conduire – 3/8 • Voies trop étroites – 1/8 • Ne pas comprendre une demande de reprise en main – 1/8
Autres / Général	<ul style="list-style-type: none"> • Utile (sur la durée, rappels) – 6/8 • Améliore la confiance (sécurisant) – 6/8 • Facile à utiliser – 4/8 • Complet – 4/8 • Attrayant et ludique – 3/8 • Nécessaire (voire obligatoire) – 3/8 • Modules complémentaires – 2/8 • Disponible en conduite automatisée - 2/8 	<ul style="list-style-type: none"> • Trop de contenu – 2/8 • Manque d'interaction vocale (voire un avatar) – 2/8 • Ne s'adapte pas au niveau de l'utilisateur – 2/8 • Devrait être disponible sur mobile et sur internet – 1/8 • Manque une barre de recherche – 1/8

Tableau 54 : Récapitulatif des forces et des faiblesses de chaque interfaces et modules du didacticiel « AUTO-DIDACT' ».

Ce tableau indique que les participants n'ont pas particulièrement eu de difficulté avec la page d'accueil du didacticiel « AUTO-DIDACT' », et que deux des huit participants ont apprécié avoir la liberté de consulter les modules qu'ils souhaitaient, dans l'ordre qu'ils souhaitaient. A ce propos, le Participant 5 dit : « *C'est justement d'avoir le choix en fait de ne pas être bloqué, j'ai trouvé ça plutôt bien. Suivant la personne, si elle préfère suivre du début jusqu'à la fin ou aller simplement à l'essentiel* ».

Concernant le module « Mes premiers pas », les participants n'ont pas eu de difficulté à l'utiliser, si ce n'est deux participants qui n'ont pas immédiatement compris le lien avec les autres modules. Le Participant 6 a apprécié ce module mais était quelque peu confus : « *Franchement, j'aime beaucoup cette présentation. Mais après, il y a trop de liens possibles vers différentes façons d'avoir l'information et du coup, j'étais perdue* ». En revanche, la majorité des participants a apprécié ce module pour différentes raisons. Par exemple, deux d'entre eux ont approuvé la pertinence des situations présentes sur l'infographie. La représentation de la route sur l'infographie a plu également à deux participants, dont le Participant 5 qui nous partage son avis : « *J'ai trouvé ça bien, avec la petite route qui met le départ, l'arrivée, les périodes où il faut désactiver...* ». Ce même participant, tout comme un autre, trouve les raccourcis pratiques : « *j'ai trouvé bien cette forme "premier pas" où après on peut aller directement sur chaque module* ».

Le module vidéo « Présentation générale » a causé plus de difficultés. Deux participants rapportent ne pas avoir eu le temps de lire les textes présents à l'écran. Par exemple, le Participant 3 aimerait avoir de l'audio pour faciliter le visionnage : « *Parce qu'on voit les images, mais pour regarder et les images et lire en même temps, parfois le texte est déjà parti, quoi. Ouais, ou alors un truc plus audio* ». Aussi, deux participants, dont le Participant 8, ont pensé qu'il fallait interagir avec les commandes ou l'écran pour faire avancer la vidéo : « *Les petites vidéos ne sont pas bien. Il y a des moments où il y a des phrases qui sont à l'écran, on ne sait pas si on doit cliquer sur l'écran pour avancer, pour voir autre chose ou alors si c'est une information qui est donnée comme ça* ». Les participants ont quand même apprécié ce module pour diverses raisons, notamment la possibilité de jouer la vidéo sur l'écran du tableau de bord au lieu de l'écran central pour des raisons de confort. A ce sujet, le Participant 7 dit : « *C'est intuitif. Le fait qu'on puisse choisir s'il est sur l'écran sur le côté ou sur l'écran principal au milieu, c'est assez pratique : au lieu d'avoir la tête tournée, de l'avoir bien en face* ». Le Participant 2, lui, pense que le format vidéo est plus adapté à l'apprentissage et que ce module est complet : « *En vidéo c'est plus facile à assimiler qu'en écoutant. C'est très bien. [...] Je remarque que la présentation générale est complète et puis les chapitres se suivent et on a tout dedans* ».

Le module « Guide interactif » a également été assez apprécié, notamment pour son format interactif et ludique, mais aussi en grande partie grâce au mini-quiz. Concernant le format, le Participant 7 dit : « *le format cliquable, du coup, parce que c'est plus interactif, ça permet, entre guillemets, d'échanger avec le véhicule, de dire... ça nous donne de l'information, "ok d'accord, c'est bon, j'ai lu", plutôt en allant cliquer. C'est plus ludique, ça nous met plus dans l'apprentissage du fonctionnement, en fait* ». La majorité des participants pensent que le mini-quiz permet de vérifier leurs connaissances, mais également de rappeler certaines informations. A ce propos, le Participant 5 dit : « *J'ai refait le quiz pour être sûr d'avoir les bonnes réponses. Parce que ça permet de bien se rappeler les bonnes choses, les bons boutons, ce qu'il faut faire, ne pas faire, les bonnes pratiques. Je pense juste que c'est de l'apprentissage* » ; et le Participant 8 confirme : « *Même le quiz, ce n'était pas inutile de le revoir et ne pas refaire les mêmes erreurs que la fois précédente. Pour vérifier qu'on a bien assimilé les choses* ». Néanmoins, quelques difficultés ont été identifiées comme le fait que deux participants aient essayé d'appuyer sur les commandes en consultant le chapitre sur les interfaces de la conduite automatisée, et ont été déçus de ne pas voir de résultats.

Pour le module « Situations types », deux participants ont apprécié avoir des informations sur les situations qui sont gérées par la conduite automatisée, et celles qui ne le sont pas. Par exemple, avant de consulter ce module, le Participant 4 ne se doutait pas que le véhicule

automatisé était capable d'effectuer un changement de voie automatisé : « *Déjà je pensais pas qu'il pouvait faire des dépassements* ». Deux autres participants, dont le Participant 6, trouvent que le contenu est intéressant et bien expliqué, même si la vitesse de lecture peut parfois être lente : « *C'était bien mais c'était trop lent, mais c'est parce que c'est des situations qui sont bien expliquées* ». Tout comme pour l'autre module vidéo, le Participant 3 estime qu'un accompagnement audio serait pertinent pour ces vidéos : « *Je trouve que c'est dommage qu'il n'y ait pas de son, ça permettrait d'être plus concentré sur l'image qui est parfois un peu trop rapide* ».

En ce qui concerne le module « Simulation embarquée », ce dernier a été très apprécié par les participants malgré des grosses difficultés d'utilisation. En effet, trois participants n'ont pas immédiatement compris qu'il fallait utiliser les commandes réelles du véhicule pour conduire la simulation dans le tableau de bord. Le Participant 2 nous partage sa confusion à ce sujet : « *Je pensais que c'était juste des exemples que je regardais. J'ai pas trop compris. Ah d'accord là c'est moi-même qui décide si je commence autonome ou normal je pense* ». De plus, trois participants, dont le Participant 3, ont trouvé la simulation embarquée difficile à conduire car trop sensible et avec des voies trop étroites : « *C'est vrai qu'il n'est pas facile à conduire dans le didacticiel. C'est vrai que les voies sont très étroites* ». En revanche, la majorité des participants ont fortement apprécié pouvoir mettre en pratique des connaissances acquises dans les autres modules comme les procédures d'activation et de désactivation de la conduite automatisée. C'est le cas du Participant 7 qui tient les propos suivants : « *Ça aide à mettre en pratique ce qu'on a lu. C'est-à-dire appuyer sur les deux boutons en même temps, freiner, ralentir, anticiper... Parce que du coup c'est ça le principe : c'est que oui, ça roule tout seul, mais il faut quand même faire attention à ce qu'il se passe autour de nous. Donc non, c'est un bon exercice avant vraiment de prendre la route, ce genre de véhicule. Si on ne veut pas tout casser au premier croisement, c'est un bon exercice* ». D'autres participants, comme le Participant 4, estiment que ce module aide pour la prise en main du véhicule, mais aussi à se familiariser avec la conduite automatisée et à faire confiance au système : « *Ça donne déjà une première idée de comment prendre le véhicule en main, comment conduire* », et « *Et là on est censé effectivement faire autre chose mais c'est quand même compliqué de faire autre chose et de plus surveiller. C'est là qu'on voit la notion de confiance réelle ou fictive* ». A ce sujet, le Participant 5 dit : « *C'est important aussi pour moi les simulations parce qu'avant de reprendre la route, de refaire un test dans le parking. On refait un test sur toutes les situations, comment ça peut se passer. C'est un petit rappel de la théorie avec les didacticiels et les vidéos, et après il y a la pratique* ».

Pour terminer, nous avons également recueilli des données nous permettant d'affirmer que le didacticiel « AUTO-DIDACT' » a été grandement apprécié par l'ensemble des participants du Groupe 1. Plusieurs raisons sont évoquées par ces derniers, par exemple la majorité des participants, dont le Participant 5, évoquent son utilité sur la durée : « *J'ai encore plus lu le didacticiel, donc c'est plus rentré en fait. J'ai consolidé, j'ai les informations. La première fois, je les ai comprises. Mais c'est vrai que plus on le fait et plus ça rentre et après, plus on a confiance dans les gestes à faire* ». D'autres participants pensent que le didacticiel améliore la confiance envers le système car il est sécurisant et réconfortant. Le Participant 2 et le Participant 4 disent respectivement : « *Pour la prise en main, c'est important. C'est vraiment important, c'est réconfortant* » et « *Je pense que ça prépare quand même à faire confiance à la machine* ». La moitié des participants nous font part d'une facilité d'utilisation, comme le Participant 7 qui dit très simplement : « *La prise en main est assez facile, le didacticiel est intuitif* ». La moitié des participants trouvent également le didacticiel complet, le Participant 2 pense que « *le didacticiel est très complexe et en même temps très complet* », et le Participant 5 qui nous rapporte les mots suivants : « *Je trouve que ça reprend un peu tout, justement. Ça reprend justement l'ensemble des caractéristiques qu'on peut rencontrer* ». Trois participants apprécient le côté attrayant et ludique du didacticiel. A ce propos, le Participant 4 nous donne son avis : « *Je pense que c'est une façon plus attractive et plus ludique d'avoir les informations [...] si vous m'aviez envoyé un méga bouquin de mode d'emploi de la voiture à la maison, à potasser pendant 3 jours avant, je ne suis pas sûre que ça aurait été mieux* ». Le Participant 8, lui aussi, fait une comparaison avec les notices d'utilisation : « *C'est mieux qu'une notice : je n'aime pas lire ces trucs-là, c'est renvoyé à chaque fois à la page machin. Là il y a les photos, c'est un outil indispensable pour un véhicule autonome. C'est le meilleur moyen le didacticiel* ». Trois autres participants, comme le Participant 4, sont convaincus de la nécessité d'avoir ce type d'accompagnement dans les véhicules automatisés : « *Je pense que c'est pertinent et je pense que c'est même nécessaire pour justement ça. C'est quand même une révolution et je pense qu'il est nécessaire d'avoir cette petite mise en route progressive* ». Certains souhaitent même que cela soit obligatoire, c'est le cas du Participant 5 : « *Je dirais même qu'il faut que ce soit obligatoire avant d'activer le mode, d'avoir vraiment passé tous les modules, d'avoir bien compris comment ça fonctionne pour pouvoir activer* ». Le Participant 3 va encore plus loin en proposant le didacticiel « AUTO-DIDACT' » comme support de mise en main en concession : « *Le didacticiel, il doit être montré par le concessionnaire. Pour le premier achat d'un véhicule automatisé, le didacticiel devrait être vu avec le concessionnaire. Et après tranquillement, oui une fois qu'on est revenu chez soi, pour le premier trajet, voilà on re-visionne tranquillement les choses* ». Enfin, deux participants ont apprécié la complémentarité des modules et des différents formats. A ce sujet, le Participant 6 dit : « *Il est bien parce que tu as toutes les informations. Je ne sais pas si je l'ai dit la dernière*

fois mais tu as les vidéos, en fait tu as plusieurs façons de regarder et d'avoir l'information, donc c'est bien ». Ce même participant, ainsi qu'un autre, a utilisé le didacticiel pendant la conduite automatisée et a apprécié pouvoir le faire facilement : *« Je revenais dessus quand je conduisais et ce n'est pas difficile pour moi de revenir dessus. Je savais où chercher l'information. Même en conduisant, je pense que je serais capable de le faire ».*

Concernant les points négatifs, deux participants ont trouvé le contenu pédagogique trop dense et auraient apprécié que celui-ci s'adapte à leur niveau de connaissances lors de la deuxième session. C'est le cas du Participant 6 qui nous propose l'idée suivante : *« Par contre pour moi, il faudrait qu'il s'adapte ce didacticiel. Au début tu as toutes les informations et après, tu passes en informations un peu plus synthétiques pour la conduite de tous les jours. Quand ça fait longtemps que tu conduis ça, peut-être que tu n'as pas besoin d'avoir toutes ces informations-là ».* Deux autres participants, dont le Participant 1, apprécieraient pouvoir interagir vocalement avec le didacticiel car cela serait plus « humain » et améliorerait la confiance : *« Peut-être une voix, éventuellement, un peu comme un GPS, une voix qui accompagne un peu la personne. Qui représenterait la voiture, qui mettrait peut-être un peu plus en confiance. Ça ferait peut-être un peu moins mécanique et peut-être un peu plus humain, un peu plus intelligence artificielle. Ça peut aussi faire une présence, peut-être, pour la confiance de l'humain ».*

11.7. Conclusion du chapitre : des résultats encourageants pour « AUTO-DIDACT' »

En ce qui concerne l'évaluation des connaissances générales via les questionnaires, le Groupe 1 « didacticiel » montre une évolution positive et significative des résultats pour les items suivants : procédure d'activation, procédure de désactivation, rôle (ou devoirs) du conducteur en conduite automatisée, et possibilité de vie à bord. Le Groupe 2 « sans didacticiel », quant à lui, montre une évolution positive et significative des résultats pour les items suivants : procédure d'activation, procédure de désactivation, et possibilité de vie à bord. Parmi les items cités, nous retrouvons des différences significatives entre les deux groupes, en faveur du Groupe 1 « didacticiel », concernant l'évolution des scores pour : la procédure de désactivation (en Session 1 seulement), et le rôle du conducteur (lors des deux sessions). Nous retrouvons également des différences significatives en faveur de ce groupe pour certains items dont aucune évolution significative n'a été constatée : conditions de disponibilité du mode automatisé (seulement après les phases de formation), et interfaces de la conduite automatisée (lors des deux sessions).

Pour l'évaluation des performances en conduite automatisée des deux groupes, nous avons constaté des différences en faveur du Groupe 1 « didacticiel » pour les classes de situations suivantes : Classe B (seulement en Session 2), Classe C (seulement en Session 2), et Classe D (seulement en Session 1). Concernant l'évolution des participants dans leur gestion des situations sensibles de la conduite automatisée (potentielles transformations de schèmes), nous observons des différences en faveur de Groupe 1 « didacticiel » pour la Classe B (situations gérées par la conduite automatisée) et pour la Classe C (situations ambiguës).

L'ensemble de ces résultats comparatifs nous permet de dire que le didacticiel « AUTO-DIDACT' » a potentiellement eu un impact positif chez les participants du Groupe 1. Cela concerne principalement la capacité à inhiber des schèmes de la conduite traditionnelle et à faire confiance au véhicule automatisé dans les situations de la Classe B. Mais cela concerne aussi la capacité de jugement des participants du Groupe 1 dans les situations ambiguës et la capacité à appliquer la procédure de reprise en main. Notons que malgré l'absence d'une différence significative pour la gestion des situations de la Classe D (désactivation de la conduite automatisée), les résultats de la première session montrent que le Groupe 1 semble avoir appris cette tâche plus rapidement que le Groupe 2. Nous pensons que la réalisation des scénarios de simulation a eu un effet positif sur l'apprentissage de la conduite automatisée pour la Classe D (situations de désactivation de la conduite automatisée), et à une moindre mesure pour la Classe A (situations d'activation de la conduite automatisée).

L'analyse approfondie de l'utilisation du didacticiel « AUTO-DIDACT' » a permis d'évaluer l'apport des différents modules pour la gestion des différentes classes de situations. Nous avons d'abord rappelé la répartition des types de connaissances en fonction des modules, puis nous avons regardé quels étaient les connaissances qui semblaient avoir été sollicitées par chaque participant. Ces résultats montrent que le module « Présentation général » a eu un impact modéré sur la gestion des situations de la Classe B (deux participants) et de la Classe C (deux participants). En revanche, il ne semble pas avoir eu d'impact sur la gestion des situations des classes A et D. Le module « Guide interactif » semble avoir eu un impact important sur la gestion des situations de la Classe B (cinq participants), et plus modéré sur la gestion des situations des classes C (trois participants) et D (deux participants). En revanche, pour la gestion des situations de la Classe A, son impact est très faible (un participant). Le module « Situations types » semble avoir eu un bon impact sur la gestion des situations de la Classe B (quatre participants), et un impact modéré sur la gestion des situations des classes C (trois participants) et D (trois participants). Cependant, il a eu un impact très faible sur la gestion des situations de la Classe A (un participant). Enfin, le module « Simulation embarqué » a eu un impact important sur la gestion des situations de la Classe

B (cinq participants), et un bon impact sur la gestion des situations de la Classe C (quatre participants). En revanche, son impact sur la gestion des situations de la Classe D est plus modéré (trois participants), et il ne semble avoir eu aucun impact sur la gestion des situations de la Classe A. Ces résultats nous permettent de dire que la complémentarité et la redondance des modules et des différents types de connaissances paraît être une solution intéressante pour l'apprentissage de la conduite automatisée.

Enfin, nous avons souhaité évaluer l'expérience utilisateur du didacticiel en vue de son amélioration future. Les résultats de cette évaluation ont permis de mettre en exergue les forces et les faiblesses des différentes interfaces et des différents modules du didacticiel « AUTO-DIDACT' ». Concernant le didacticiel de manière générale, les participants ont apprécié son utilité, en particulier sur la durée (permet des rappels), son caractère sécurisant qui renforce la confiance envers le système, sa facilité d'utilisation, et le fait qu'ils le considèrent comme complet. Cependant, certains participants ont trouvé qu'il y avait trop de contenu et que le didacticiel manquait d'interactions vocales (voire d'un avatar) pour rendre l'accompagnement plus « humain ». Aussi, certains participants auraient aimé que le contenu pédagogique s'adapte en fonction du niveau d'expérience de l'utilisateur.

DISCUSSION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

PARTIE 1 : Contexte et Problématiques

PARTIE 2 : Cadres Théoriques

PARTIE 3 : Méthodologie Générale

PARTIE 4 : Résultats de la Thèse

DISCUSSION GENERALE

CONCLUSION

Dans cette partie nous proposons une synthèse générale de la thèse. Nous rappelons le contexte de la recherche et la problématique qui a été la nôtre, ainsi que les phases de recueil et de traitement des données. Nous discutons notamment la façon dont les résultats des deux premières études ont été exploités conjointement à la littérature, pour concevoir l'artefact embarqué, puis les scénarios de simulation qui ont permis de le tester. Enfin, nous discutons les résultats de la conception et de l'évaluation de cet artefact.

1. Rappel du contexte et de la problématique de la thèse

La conduite automobile est une activité particulièrement intéressante à étudier à partir des sciences humaines, et plus particulièrement sous l'angle de l'ergonomie cognitive et des sciences de l'éducation et de la formation. Elle fournit un cadre d'étude aussi riche que complexe lorsqu'elle est analysée sous l'angle d'un environnement dynamique et risqué. Contrairement à ce que nous pouvons penser instinctivement, la conduite automobile ne s'exerce pas uniquement au niveau individuel mais également au plan collectif. En effet, d'autres sujets (passagers, autres usagers de la route, etc.) sont impliqués directement ou indirectement dans l'activité du conducteur, ajoutant un niveau de complexité supplémentaire. Ces caractéristiques font partie des nombreux facteurs de risque que le domaine de la sécurité routière tente d'appréhender en minimisant les effets par différents moyens, avec plus ou moins de succès.

C'est dans cette perspective que depuis les années 90, les constructeurs automobiles proposent des systèmes d'aide à la conduite (ADAS) de plus en plus poussés, visant à assister le conducteur dans certaines de ses tâches. Différents types d'ADAS existent, dont certains de nature active peuvent assurer le contrôle longitudinal ou latéral de la conduite pour soulager le conducteur. Parmi ces aides, le régulateur de vitesse adaptatif (ACC) et le centrage automatique dans la voie (LCA) ont ouvert la voie de l'automatisation de la conduite (niveau 1 SAE), apportant leurs lots de bienfaits, mais aussi un certain nombre de difficultés pour les conducteurs : temps de réaction plus longs, usages pouvant s'avérer risqués, biais de complaisance, sur-confiance, conscience des situations limitée, etc. (Hoedemaeker & Brookhuis, 1998 ; Simon, 2005 ; Vollrath, Schleicher, & Gelau, 2011 ; Beggiato & Krems, 2013...). Avec l'arrivée de systèmes couplant l'ACC et le LCA, assurant à la fois le contrôle latéral et le contrôle longitudinal (niveau 2 SAE), les conducteurs ont pu commencer à expérimenter ce que l'on qualifie de conduite semi-automatisée. L'usage grandissant de ces systèmes a nécessité de nombreuses études mettant en évidence des résultats similaires à ceux obtenus avec les ADAS, et d'autres types de difficultés d'usage (Endsley, 2017 ; Wilson, Yang, Roady, Kuo, & Lenné, 2020 ; Banks et al., 2018...). L'origine de ces difficultés serait en

partie liée au manque de connaissances du fonctionnement des ADAS et des systèmes de niveau 2 SAE, aboutissant à des représentations et des modèles mentaux inexacts chez les utilisateurs. Ces travaux ont aussi servi de socle pour préparer l'arrivée des véhicules hautement automatisés (niveaux 3 et 4 SAE) pour les différents acteurs de l'industrie automobile (pouvoirs publics, organismes de recherche, constructeurs, etc.). Les travaux menés sur la conduite automatisée (en simulateurs ou en prototypes roulants) ont fait émerger de nouvelles classes de situations spécifiques, plus ou moins critiques du point de vue des conducteurs. Par exemple, les phases de transitions entre la conduite manuelle et la conduite automatisée (particulièrement les phases de reprise en main) ont donné lieu à de nombreuses recherches. Les résultats obtenus ont permis de confirmer les difficultés d'usage déjà identifiées avec les systèmes de plus bas niveau d'automatisation, et d'en repérer d'autres. Des activités de supervision du fonctionnement du système et de surveillance soutenue de l'environnement de conduite, non prévue par les concepteurs, sont à l'origine d'une charge mentale supplémentaire pour les conducteurs. Des biais de complaisance et/ou d'automatisation, en lien avec la sur-confiance des conducteurs, sont également identifiés, entraînant des usages plus ou moins risqués ainsi que l'érosion des compétences de conduite traditionnelle par manque d'exercice (Payre, Cestac et Delhomme, 2014 ; Banks, Stanton, & Harvey, 2014 ; Poisson et al. 2015 ; Poisson, 2019 ; Banks, Stanton & Harvey, 2014 ; Boelhouwer, van den Beukel, van der Voort, & Martens, 2019 ; Casner & Hutchins, 2019...).

Face à toutes ces difficultés d'usage des systèmes automatisés, les acteurs de l'industrie automobile se sont penchés sur la question de la formation des conducteurs. En effet, des études ont montré que la simple information via les notices d'utilisation n'était plus suffisante en raison de la complexité des ADAS et des systèmes semi-automatisés (Mehlenbacher, Wogalter, & Laughery, 2002 ; Larsson, Kircher & Hultgren, 2014 ; Beggiato, Pereira, Petzoldt, & Krems, 2015 ; Abraham, Reimer et Mehler, 2018...). Malgré la bonne volonté des constructeurs de concevoir des dispositifs de plus en plus ergonomiques, le besoin d'un apprentissage spécifique des conducteurs est bien présent. Les recherches menées sur le sujet ont abouti à des recommandations plus ou moins précises concernant les connaissances à transmettre aux conducteurs. Plus tard, ces recherches se sont tournées vers la question de l'apprentissage de la conduite automatisée, en vue d'anticiper son arrivée prochaine sur le marché. Ainsi, les principales recommandations ont été les suivantes : les formations devraient proposer un apprentissage théorique et pratique, articulant différents types de connaissances, présentées sous différents formats. Cela permettrait aux conducteurs d'élaborer des représentations et des modèles mentaux appropriés des systèmes, grâce à des descriptions fonctionnelles précises et justes (Bahner, Hüper, & Manzey, 2008 ; Payre, Cestac, Dang, Vienne, et Delhomme, 2017 ; Blömacher, Nöcker, et Huff, 2020 ; Ebnali,

Hulme, Ebnali-Heidari, et Mazloumi, 2019...). Ces formations devraient également intervenir au moins sur les trois premiers niveaux de la matrice GDE : (1) la maîtrise instrumentale du véhicule automatisé, (2) la maîtrise des situations de conduite automatisée, et (3) la gestion des objectifs et contextes d'usage du véhicule automatisé ; tout en permettant le développement de méta-connaissances (Boccaro, 2011, Siegrist, 1999). Des travaux menés au sein du Groupe Renault ont confirmé ces recommandations et ont apporté quelques précisions quant aux thèmes généraux à aborder dans ces formations (Debernard, Chauvin, Pokam, et Langlois en 2016 ; Haué, Le Bellu et Barbier, 2020 ; Le Bellu & Forzy, 2019 ; Le Bellu, soumis...). Néanmoins, aucune étude à ce jour n'a défini un contenu pédagogique précis à transmettre aux futurs conducteurs de véhicules automatisés. C'est à cette question que nous avons tenté de répondre dans la première phase de cette thèse.

Le sujet du format et des moyens de transmission de ces connaissances a également fait l'objet de nombreuses discussions parmi les acteurs de l'industrie automobile. Ainsi, des études de nature exploratoire ont eu pour objectif de concevoir et d'évaluer des dispositifs innovants permettant d'accompagner les conducteurs dans la prise en main des ADAS et des systèmes de conduite automatisée (Le Bellu et Forzy, 2019 ; Burkhardt, et al., 2016 ; Sportillo, et al., 2017 ; Cusanno, Le Bellu & Vidal-Gomel, 2021a ; Ebnali et al., 2019 ; Sportillo, Paljic, et Ojeda, 2019 ; Forster et al., 2019...). Différents formats ont été testés comme des vidéos « élaborées » (à la première ou à la troisième personne, avec des textes, des schémas et des commentaires audio), des simulations, de la réalité virtuelle et/ou augmentée, mais aussi des interfaces interactives. Les acteurs de l'industrie s'accordent alors sur la nécessité que ces formations permettent au conducteur de s'engager physiquement et cognitivement pour favoriser l'apprentissage théorique et pratique. La plupart des dispositifs testés étaient destinés à un usage hors du véhicule et avant son utilisation. Les quelques études qui se sont penchées sur des dispositifs de formation embarqués dans le véhicule se sont vite confrontés aux difficultés inhérentes à cet environnement d'apprentissage, et leurs propositions ont montré un certain nombre de limites (résultats peu probants, dispositifs peu pratiques, relativement chers, ou entraînant une augmentation de la charge mentale des conducteurs). Dans la deuxième phase de cette thèse, nous avons donc tenté de relever le défi de la conception d'un outil didactique embarqué adapté à ce contexte d'usage, tout en engageant suffisamment le conducteur dans son apprentissage.

Ce travail a pris place au sein du projet AD Learning (à la Direction de la Recherche du Groupe Renault), qui avait pour objectif d'explorer, de concevoir et d'évaluer différents dispositifs d'accompagnement innovants (n'existant pas en tant que tels sur le marché) pour les futurs conducteurs de véhicules automatisés. Le projet était organisé en cinq « *work packages* » :

DISCUSSION GENERALE

(1) la définition du contenu pédagogique à transmettre, (2) les modalités autoportantes avant l'acte d'achat (vidéos pédagogiques sur internet), (3) les modalités immersives en concession (simulateur et réalité virtuelle), (4) la modalité embarquée, et (5) l'évaluation de tous ces dispositifs. Les résultats de la thèse ont ainsi contribué à alimenter les « *work packages* » 1, 4 et 5 du projet AD Learning, tout en proposant une nouvelle façon de mobiliser le cadre de l'approche instrumentale (Rabardel, 1995), comme une grille de lecture des données à partir de l'analyse des relations pour émettre des hypothèses sur ce que pourraient être les genèses instrumentales. Mais aussi une méthodologie d'analyse par triangulation des données (Apostolidis, 2003 ; Olsen, 2004) pour fiabiliser les résultats dans un processus de conception.

En considérant l'activité de conduite automatisée comme une activité collective avec instruments, nous avons mobilisé le cadre de l'approche instrumentale de Rabardel (1995) dont nous avons présenté les principales notions dans le Chapitre 3 de ce document. Cette approche a servi de fil rouge tout au long de ce travail de thèse en nous offrant un cadre d'analyse de l'activité de conduite automatisée en vue de concevoir un dispositif répondant aux besoins réels des conducteurs. Par exemple, les schèmes, considérés comme une organisation active de l'expérience intégrant le passé du sujet et lui servant de référence pour gérer les nouvelles données, sont difficilement explicites et nécessitent d'identifier des organisations invariantes dans l'activité (régularités, existence de choix, transformation des situations, opérationnalité, etc.). En ce qui concerne les instruments, l'analyse de l'activité devait se baser sur l'identification des artefacts utilisés, des relations et médiations qui en découlaient (mobilisation du modèle SACI), des classes de situations d'usage, mais également des organisations invariantes de l'activité permettant d'en inférer les schèmes. Aussi, l'identification des fonctions attribuées aux artefacts et des objets de l'activité qu'ils permettaient de transformer, devaient faire l'objet d'une attention particulière. L'étude du développement des sujets et des artefacts, mis au regard du processus de genèse instrumentale, a été la clé de voûte de ce travail pour appréhender l'apprentissage de la conduite automatisée. Ainsi, la première hypothèse que nous avons émise supposait que l'introduction d'une automatisation artificielle de la conduite allait forcément entraîner des modifications des relations et médiations en jeu dans l'activité des conducteurs. Ces transformations auraient pour conséquence l'apparition de nouvelles situations d'usage nécessitant une adaptation des conducteurs par assimilation, accommodation ou inhibition (Houdé, 1995, 2007, 2014, 2020) de schèmes issus de la conduite traditionnelle.

En plus d'être une activité collective avec instruments, l'activité de conduite automatisée est également définie par l'aspect dynamique de l'environnement dans lequel elle prend place, et

par une dimension importante de gestion des risques. Les risques de nature interne concernent la gestion des ressources cognitives, des erreurs, et du contrôle effectif de la situation. Les risques de nature externe concernent l'actualisation d'un danger dans une situation, et nécessitent pour le sujet des activités de diagnostic et de pronostic dans une boucle de sécurité perception-action (Leplat, 1995 ; Vidal-Gomel, 2001 ; Amalberti, 1996 ; Hoc, Amalberti, Cellier, & Grosjean, 2004 ; Hoc & Amalberti, 1994, 1995, 1998...). Deux modèles se sont révélés intéressants pour comprendre ces activités de gestion des risques : le modèle d'Amalberti (1996) qui prend en compte risques internes et externes, inclut un ensemble de représentations, de connaissances opérationnelles et méta-connaissances ; et le modèle « SRK » de Rasmussen (1983, 1986) proposant trois niveaux de régulation de l'activité allant du moins coûteux au plus coûteux cognitivement (automatismes, règles, et connaissances). Concernant l'aspect dynamique de l'environnement, cela implique que le sujet n'a qu'un contrôle partiel des situations qui sont caractérisées par leur évolution incertaine et par les conséquences difficilement prévisibles de l'activité du sujet (Hoc, Amalberti, Cellier, & Grosjean, 2004 ; Hoc, 2004 ; Samurçay et Rogalski, 1992 ; Hoc, Amalberti et Plee, 2000...). L'activité du sujet est alors constituée d'un processus de contrôle et de supervision nécessitant des activités de gestion de prise d'information, de diagnostic, de pronostic, de prise de décision, d'exécution et de contrôle de l'exécution. Le modèle GSD (Hoc & Amalberti, 1995, 2003) ajoute une dimension temporelle au modèle « SRK » de Rasmussen (op. cit.), et inclut des boucles de régulation dans l'activité des sujets. Ce modèle, relativement complet, permet donc de prendre en compte la profondeur de la régulation de l'activité et la temporalité de celle-ci. Le développement de compétences requis pour ces activités implique des processus de réduction de la complexité et des processus d'adaptation permis par l'acquisition de représentations et de connaissances spécifiques. Les savoirs de référence (Rogalski, 2004) font partie de ces connaissances spécifiques à inclure dans les formations destinées à l'apprentissage d'activités en situations dynamiques. Ils sont composés des connaissances opérationnelles, ainsi que des connaissances scientifiques et techniques jugées efficaces. La transposition de ces caractéristiques à l'activité de conduite automatisée nous a permis d'émettre l'hypothèse que le développement des compétences des conducteurs ne pouvait avoir lieu en situation de conduite (à risque dans un environnement dynamique). Par conséquent, nous avons pensé que l'outil didactique à concevoir devait intervenir avant l'activité de conduite pour permettre aux conducteurs d'allouer les ressources cognitives nécessaires à l'apprentissage, tout en étant dans un environnement sécurisé.

Concernant la conception d'un outil didactique à proprement parlé, deux aspects semblaient se dégager : la conception du contenu pédagogique et la conception du support de

transmission de ce contenu. Concernant le premier aspect, les recherches étudiant la formation à la conduite traditionnelle suggéraient qu'elles devaient a minima intervenir sur les trois premiers niveaux de la matrice GDE (Boccaro, 2011, Siegrist, 1999). La présentation de connaissances selon une logique de fonctionnement permettrait de fournir un modèle du véhicule au conducteur pour qu'il puisse développer une représentation appropriée du fonctionnement du système. Ensuite, la présentation de connaissances selon une logique d'utilisation basée sur un choix de situations didactiques pertinentes, serait le moyen de fournir un modèle d'utilisation du système pour que le conducteur puisse acquérir une représentation appropriée de l'utilisation de celui-ci (Richard, 1983 ; Churchill, 1992 ; Rabardel, 1995). Une telle articulation aurait pour effet d'accompagner la réorganisation de l'activité des conducteurs, notamment en ce qui concerne la gestion des situations et la gestion des contraintes liées aux artefacts médiateurs, par le développement de conceptualisations du sujet (Rabardel & Samurçay, 2006 ; Rabardel, 1995, 1999 ; Samurçay, 1994 ; Wartofsky, 1983, in Rabardel & Samurçay, 2001). La conception du contenu pédagogique nécessitait également un modèle des connaissances du domaine et de l'apprenant, élaborés à partir de l'analyse de l'activité visée par l'apprentissage. Concernant le second aspect de la conception – la conception du support – des modèles relatifs à l'environnement d'apprentissage, ses potentialités et ses contraintes devaient être considérés pour concevoir un dispositif adapté : un modèle des actions possibles de l'apprenant et des rétroactions de l'environnement, et un modèle de communication médiatisée (Tchounikine, 2002, 2004 ; Jean-Daubias, 2004 ; Balacheff, 2002). Ces modèles supposaient de mobiliser et d'orchestrer un système d'artefacts disponibles pour supporter l'apprentissage dans cet environnement (Trouche, 2003 ; Minguy, 1995 ; Vidal-Gomel, 2001 ; Zanarelli, 2003 ; Bourmaud, 2006), au sein duquel serait intégré l'outil didactique à concevoir en tant qu'EIAH (Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain). Cette approche de la conception nous a amené à émettre notre troisième hypothèse selon laquelle l'outil didactique à concevoir devait être l'artefact pivot du système d'artefacts primaires (disponibles dans le cockpit du véhicule). Ce dernier organiserait également un sous-système d'artefacts didactiques spécifiquement conçus pour l'apprentissage, et un autre sous-système d'artefacts secondaires (artefacts symboliques constituant le contenu pédagogique). Ces systèmes d'artefacts (primaire, secondaire et didactique) répondraient alors à différents niveaux de configurations didactiques, et intégrerait des situations de simulation et des méthodes réflexives d'auto-analyse soutenant le développement des méta-connaissances des conducteurs.

Cette thèse articule donc un ensemble de travaux issus de l'ergonomie qui ne sont généralement pas mobilisés conjointement : l'ergonomie cognitive (Rasmussen, 1986 ; Amalberti, 1996 ; Hoc & Amalberti, 1994), la didactique professionnelle (Rogalski, 2004) ;

avec des emprunts aux EIAH (Tchounikine, 2002) et à la didactique des disciplines (Trouche, 2003). Cet ensemble étant associé au modèle des activités avec instruments de Rabardel (1995), qui en est le centre.

2. Des apports méthodologiques pour la conception de dispositifs innovants destinés à l'apprentissage d'activités avec instruments pour le grand public

Pour répondre à nos questions de recherche et tenté de valider nos hypothèses, nous avons déployé une méthodologie en trois grandes phases : (1) l'identification du besoin en apprentissage des conducteurs de véhicules automatisés, (2) la conception de l'outil didactique embarqué, et (3) l'évaluation de l'outil didactique embarqué.

2.1. Apports méthodologiques pour l'identification du besoin en apprentissage

La première phase a consisté à analyser l'activité de conduite avec un prototype de véhicule automatisé auprès de deux populations différentes : des pilotes experts en conduite automatisée et des conducteurs « tout venant » novices en conduite automatisée. Ainsi, l'objectif de la première étude était de tenter d'identifier des traces de genèses instrumentales passées de pilotes ayant eu une expérience relativement importante de conduite automatisée avec un prototype sur route dite « ouverte ». En faisant cela, nous souhaitions mettre en évidence des situations « sensibles » sources de difficultés durant l'expérience passées de nos participants, ou nécessitant une attention accrue des conducteurs, et enfin, caractériser les savoirs de référence du domaine d'activité pouvant être transmis aux futurs conducteurs de véhicules automatisés. La démarche auprès des pilotes experts s'est déroulée en quatre étapes indispensables pour répondre à nos objectifs de recherche. La première étape était un entretien exploratoire semi-directif visant à faire connaissance avec nos neuf participants, et à recueillir des informations sur leur expérience passée en conduite traditionnelle et en conduite automatisée (formation, premières prises en main, difficultés, conseils pour les futurs conducteurs, etc.). La deuxième étape était une observation instrumentée en situation de conduite automatisée, avec un prototype sur route ouverte. Le trajet, réalisé par cinq de nos participants, était d'environ 40 kilomètres, soit 1 heure à 1 heure 30 minutes de conduite, alternant phase de conduite manuelle et phase de conduite automatisée (impliquant des activations et des demandes de reprise en main). Les participants devaient verbaliser à voix haute leurs pensées, leurs ressentis, et toute autre réflexion, pendant que nous enregistrions leurs comportements sur un support audio/vidéo composé d'une caméra en vue subjective et d'un dictaphone. Après cette étape, une première analyse des observations a permis de

dégager un certain nombre de situations sensibles pour les conducteurs, et les séquences vidéo correspondantes ont servi de support pour les entretiens d'auto-confrontation (Mollo & Falzon, 2004) de la troisième étape. Ces entretiens ont été menés selon la méthode « *Subjective-Evidence Based Ethnography* » (Lahlou, Le Bellu, & Boesen-Mariani, 2015) visant à remettre le participant en situation sur la base des enregistrements vidéo en vue subjective pour faciliter le rappel. Les relances servent alors à aider le participant à formuler les buts poursuivis et les stratégies mises en place pour les atteindre. Ces entretiens ont eux aussi été enregistrés sur un support audio/vidéo en vue de leur analyse. Enfin, la quatrième étape a consisté à faire discuter et débattre six des participants lors d'un entretien d'allo-confrontation collectif (Mollo & Falzon, 2004). Cet entretien a été réalisé sur la base de séquences vidéo de leur activité (étape 2) sélectionnées au préalable pour le caractère récurrent des situations concernées, et pour leurs caractéristiques communes. Cet exercice a été l'occasion pour les participants d'avoir une activité réflexive sur leur propre activité en partageant et en expliquant leurs expériences, représentations, connaissances et pratiques. Grâce à la triangulation de ces données (Apostolidis, 2003; Olsen, 2004), nous avons mis en évidence une liste de situations sensibles que nous avons analysées cliniquement (Clot & Leplat, 2005), situation par situation, sur la base du modèle SACI (Rabardel, 1995). Ainsi, nous avons pu mieux cerner l'activité des participants, et identifier un socle de connaissances communes constituant les « savoir de référence » (Rogalski, 2004) du domaine.

La seconde étude a été menée dans le cadre du projet européen L3Pilot, auprès de conducteurs « tout venant » novices en conduite automatisée. Nous avons étudié l'activité de 20 participants ayant des caractéristiques semblables à la population ciblée par Renault concernant les véhicules automatisée, notamment en termes d'expérience avec des ADAS comme le régulateur de vitesse classique et/ou adaptatif. En nous basant sur la littérature et sur les dires des pilotes experts, nous pensions que ce facteur pouvait influencer favorablement la transformation des schèmes d'utilisation du véhicule automatisé. L'objectif de cette étude était de confirmer et de compléter les résultats obtenus dans la première étude, notamment pour nous rapprocher du profil des utilisateurs finaux que nous visions par la conception de l'outil didactique, et de leurs compétences. Cela nous a également permis d'étudier une population plus importante pour recueillir des données plus généralisables. Lors de la première étude nous cherchions à identifier des traces de genèses instrumentales passées, alors que dans cette seconde étude nous cherchions à identifier des genèses instrumentales en cours chez des novices en train d'apprendre à utiliser un véhicule automatisé. Cette étude longitudinale comprenait trois sessions de conduite d'environ 1 heure 30 minutes chacune, soit 82 kilomètres, avec un prototype sur route ouverte. La conduite automatisée était disponible sur plusieurs tronçons d'autoroute, permettant plusieurs phases

d'activation et de reprise en main. Le planning initial de l'étude prévoyait un mois entre la première et la deuxième session, et trois mois entre la deuxième et la troisième. Malheureusement, en raison des contraintes inhérentes à la crise sanitaire, la deuxième session s'est déroulée quatre mois après la première, et la troisième s'est déroulée deux mois après la deuxième. Chaque participant avait le droit à une formation théorique et pratique d'une heure et demi avant la première session, dont le contenu avait été élaboré en partie par le projet AD Learning. Dans le véhicule les participants étaient accompagnés d'un superviseur et d'un co-pilote, et un véhicule suiveur complétait le dispositif de sécurité. En ce qui concerne le recueil de données, un ergonome était présent lors de la première et de la troisième session pour prendre des notes, aider les participants à verbaliser, et pour réaliser des entretiens d'auto-confrontation après les sessions de conduite (Mollo & Falzon, 2004). Ces entretiens se sont basés sur les enregistrements audio/vidéo de la conduite et sur les observations de l'ergonome, qu'il prenait le soin d'analyser pour choisir des séquences vidéo de situations sensibles à faire commenter par le participant sur la base d'un guide d'entretien que nous avons préparé à l'avance. Enfin, nous avons analysé ces données en cherchant à identifier des caractéristiques de situations de conduite potentiellement difficiles, à risque, ou nécessitant une attention particulière des conducteurs, impliquant des débuts de transformations de schèmes. La triangulation des données recueillies (Apostolidis, 2003; Olsen, 2004) a également permis une analyse clinique (Clot & Leplat, 2005), situation par situation, en mobilisant le modèle SACI (Rabarde, 1995). Nous avons pu valider et compléter la liste des situations dites « sensibles » identifiées avec les pilotes experts. Cette analyse a révélé des indices de transformations de schèmes en cours relevant d'adaptations des conducteurs au nouvel artefact et aux nouvelles situations (en particulier les situations sensibles). Ces indices, couplés à l'identification de conceptualisations à partir de généralisations de connaissances opérationnelles, et aux difficultés rencontrées par les conducteurs novices, ont permis de déterminer ce que nous nommons « besoin » en apprentissage, a priori, des futurs conducteurs de véhicules automatisés.

Cette démarche méthodologique en deux étapes devait nous fournir les données nécessaires pour mieux comprendre l'impact de la conduite automatisée sur l'activité des conducteurs afin de déterminer le besoin en apprentissage. Par le prisme de ces deux approches, nous avons tenté de reconstruire ce que pourraient être les genèses instrumentales des futurs conducteurs de véhicules automatisés, afin de les prendre en compte dans la conception d'un outil didactique qui leur était destiné. La complémentarité des deux études a constitué une approche innovante car elle devait permettre le transfert de connaissances entre une population experte et une population novice pour une « activité future probable » (Daniellou, 2004). Il nous fallait donc penser notre démarche de façon à nous rapprocher au mieux de ce

que pourrait être cette activité pour les futurs conducteurs de véhicules automatisés. D'un côté nous avons pu approcher des personnes ayant eu une expérience conséquente de ces systèmes, représentant une population très rare dans le monde. Et d'un autre côté, nous avons pu étudier des conducteurs « tout venant » dans des conditions écologiques proches de l'activité future, malgré des contraintes de sécurité nécessitant une organisation particulièrement complexe à mettre en place.

2.2. Apports méthodologiques pour la conception d'un outil didactique

La particularité de l'objet de cette thèse était l'aspect didactique de l'outil que nous avons conçu. Cette caractéristique nous a poussé à entreprendre une démarche de conception en deux temps : (1) la définition du contenu pédagogique à transmettre, et (2) la conception du support de transmission de ce contenu. Ces deux aspects étaient les constituants mêmes de l'outil didactique que nous souhaitons concevoir.

La définition du contenu pédagogique a été réalisée sur la base des données empiriques recueillies dans les deux études préalables sur l'activité de conduite automatisée. Nous nous sommes d'abord assuré que les connaissances partagées concernaient au moins les deux premiers niveaux du modèle GDE (Boccaro, 2011, Siegrist, 1999) adapté à notre sujet d'étude : la maîtrise instrumentale du véhicule automatisé, et la maîtrise des situations de conduite automatisée. Le troisième niveau (objectifs et contextes de conduite) étant plus difficiles à appréhender étant données les contraintes inhérentes à l'étude de la conduite automatisée, que nous avons évoquées plus haut. Ensuite, l'étude préalable de l'activité nous a permis de cerner le modèle de l'utilisateur et le modèle d'utilisation du véhicule automatisé, que nous avons pris en compte pour concevoir un contenu pédagogique adapté. L'approche situationnelle forte de nos deux premières études a orienté la définition du contenu pédagogique dans lequel les situations sensibles ont pris une place centrale. En effet, la finalité de l'apprentissage résidait principalement dans la maîtrise de ces situations, via deux modes d'exposition des connaissances (Richard, 1983), et un accompagnement dans le développement des méta-connaissances des conducteurs (Amalberti, 1996 ; Hoc & Amalberti, 1994), intervenant notamment comme des régulateurs de la prise de risque. D'abord, le premier mode d'exposition des connaissances suivait une logique de fonctionnement supposée permettre au conducteur de développer une représentation fiable du fonctionnement du système grâce à un modèle de fonctionnement approprié. Ces connaissances avaient pour but de favoriser l'instrumentalisation du véhicule (attribution de fonctions), et abordaient, entre autres, les thèmes suivants : description technique du système, propriétés et fonctionnement, système de contrôle-commande, états du système,

etc. Ensuite, le second mode d'exposition des connaissances suivait une logique d'utilisation, qui devait permettre au conducteur d'acquérir une représentation appropriée de l'utilisation du système, via un modèle d'utilisation adapté et cohérent avec le modèle de fonctionnement. Cette fois-ci, les connaissances partagées devaient guider l'instrumentation du sujet en favorisant l'amorçage de la transformation de ses schèmes, notamment à partir de connaissances opérationnelles. Ces connaissances opérationnelles étaient orientées vers le diagnostic, le pronostic, la prise de décision, et les actions en fonction des objets de l'activité, du comportement du véhicule, et des situations sensibles.

Pour concevoir le support qui allait permettre de transmettre le contenu pédagogique, nous avons mobilisé plusieurs modèles théoriques concernant la conception de systèmes informatiques pour l'apprentissage. Dans un premier temps, ces modèles supposaient de prendre en compte l'environnement d'utilisation du dispositif, ses potentialités et ses contraintes, pour s'en servir comme support pour l'apprentissage (Tchounikine, 2002, 2004 ; Jean-Daubias, 2004 ; Trouche, 2003 ; Bourmaud, 2006). Étant donné la place de cet outil didactique au sein du dispositif d'apprentissage exploré par le projet AD Learning – en fin de parcours d'apprentissage lorsque le conducteur sera dans son véhicule – nous devons prêter une attention particulière à l'aspect « embarqué » de cet outil. Cela nous a amené à considérer trois situations potentielles d'usage : au moment de la « mise en main » quand le conducteur se trouve dans la concession Renault, à l'arrêt dans le véhicule avant un trajet, et pendant un trajet lorsque la conduite automatisée est activée. Bien que cet environnement d'apprentissage ait de nombreuses contraintes (artefacts fixes, difficile d'en ajouter d'autres, liberté de mouvement limitée, etc.), il n'en était pas moins intéressant étant donné qu'il s'agissait de l'environnement réel de l'activité. Cette caractéristique offrait de nombreuses perspectives que nous avons tenté d'explorer en mobilisant un modèle des actions possibles de l'apprenant (utiliser l'écran tactile, appuyer sur les boutons et les pédales, tourner le volant, etc. ; Cusanno, 2020) et des rétroactions de l'environnement (affichages sur l'écran central et l'écran du tableau de bord, lumières de l'habitacle, diffusion de son, etc.). Nous avons également mobilisé un modèle de communication médiatisée, guidant les interactions possibles entre les artefacts du véhicule et le conducteur via l'outil didactique en tant que médiateur (Cusanno, 2020). Ces modèles supposaient de considérer les artefacts disponibles dans le cockpit du véhicule (écrans, boutons, pédales, volant, haut-parleurs, etc.) comme un système d'artefacts primaires à orchestrer pour supporter l'apprentissage (en référence à Rabardel, 1995, et à Trouche, 2003), en considérant leur complémentarité et leur redondance (1^{er} niveau de configuration didactique). Parmi ces artefacts l'écran multimédia central a été considéré comme pivot du système. Nous l'avons utilisé pour intégrer notre outil didactique, qui lui-même proposait deux sous-systèmes d'artefacts pour l'apprentissage. Il s'agissait alors

DISCUSSION GENERALE

d'orchestrer les artefacts symboliques, en considérant les connaissances sur le fonctionnement, les procédures et les situations comme des artefacts présents dans le contenu pédagogique (2^{ème} niveau de configuration didactique), au sein du sous-système d'artefacts didactiques conçus spécifiquement pour diffuser ces connaissances (3^{ème} niveau de configuration didactique). Le sous-système d'artefacts didactiques étant constitué de quatre « modules » principaux. Ils proposaient différents formats tels que des vidéos pédagogiques « élaborées », des infographies interactives, des situations de simulation, et des méthodes réflexives d'auto-analyses (pour développer les méta-connaissances), dans le but d'engager cognitivement et physiquement le conducteur dans son apprentissage.

Cette approche de la conception d'un dispositif d'apprentissage est inédite pour plusieurs raisons. D'abord, nous avons pris le pari d'articuler des modèles de conception provenant de courants différents (approche instrumentale, EIAH, didactique, etc.) qui n'avaient, a priori, pas pour vocation d'être mobilisés ensemble. Ensuite, nous avons pris en considération, et même mobilisé, tout l'environnement d'apprentissage en sollicitant chacun des artefacts disponibles, en nous appuyant sur ce qu'ils avaient à offrir pour favoriser le développement des conducteurs. Nous avons conçu un dispositif composé d'artefacts hétérogènes répondant aux exigences de l'industrie automobile en étant à la fois engageant pour l'apprenant tout en considérant les limites et les contraintes du véhicule. Une des innovations majeures de cette conception étant le module de « simulation embarquée », permettant au conducteur de s'entraîner à réaliser les procédures d'activation et de désactivation, et à gérer des situations sensibles, via les commandes réelles du véhicule. Nous visions l'amorçage des transformations des schèmes tout en étant dans un environnement sécurisé, à l'arrêt dans le véhicule. Nous avons aussi mobilisé la notion d'orchestration instrumentale (Trouche, 2003) d'une façon qui n'avait, a priori, pas été prévue par les auteurs. En effet, dans la littérature cette notion est considérée comme un outil d'analyse de l'enseignement, avec l'enseignant / formateur comme instigateur de l'orchestration. Nous avons choisi de l'utiliser comme un outil de conception d'un environnement d'apprentissage, supposant que les concepteurs pouvaient prendre le rôle de formateurs le temps de la conception pour prescrire un système d'artefacts orchestré a priori. De la même façon, le domaine des EIAH est essentiellement tourné vers la conception d'environnements informatiques d'apprentissage dans le cadre de la didactique des disciplines, et non de la formation dans le champ des activités non disciplinaires comme la conduite automobile. Enfin, une modélisation du dispositif d'apprentissage dans sa globalité a été proposée (Figure 26), montrant la place de l'outil didactique que nous avons conçu, au sein de cet environnement complexe.

2.3. Apports méthodologiques pour l'évaluation d'un outil didactique

Pour évaluer l'impact de l'outil didactique que nous avons conçu, nous avons mis en place une expérimentation en situations de simulation de conduite automatisée. Le simulateur reproduisait l'habitacle d'un Renault Espace, dont l'écran multimédia central a servi de support à l'outil didactique. Il s'agissait d'une étude longitudinale comparant l'apprentissage de la conduite automatisée de deux groupes : un groupe test ayant accès au didacticiel avant la conduite (Groupe 1 « didacticiel »), et un groupe témoin n'ayant pas accès au didacticiel (Groupe 2 « sans didacticiel »). En tout, ce sont 16 conducteurs « tout venant » novices en conduite automatisée qui ont participé à cette étude. Ils ont été recrutés selon les mêmes critères que pour l'étude L3Pilot (profils correspondant à la cible client de Renault pour les futurs véhicules automatisés), et ont été répartis de façon homogène au sein des deux groupes : parité des genres, d'expériences en conduite « traditionnelle », d'usage des boîtes de vitesses manuelles et automatiques, et d'expériences du régulateur de vitesse classique et/ou adaptatif. Afin de pouvoir étudier les participants dans des conditions les plus écologiques possibles, nous avons conçu des scénarios de conduite automatisée pour la simulation, sur la base des observations faites dans nos deux premières études, et notamment des situations sensibles identifiées (nous avons établis trois critères de sélection que nous avons présentés en section 8.1.3.1.). Réaliser cette simulation permettait d'assurer la sécurité des participants (n'ayant pas les moyens de reproduire l'expérimentation L3Pilot), de nous absoudre des contraintes de disponibilité et de maintenance des prototypes fonctionnels, et enfin d'assurer la reproductibilité des situations vécues pour pouvoir les comparer d'un groupe à l'autre. Bien que le ratio bénéfices / contraintes de ce choix était positif, la validité écologique de la simulation peut être discutée, notamment du fait du manque de réalisme des scènes de conduite, du décalage de certaines sensations et perceptions, et du risque de cinétose (« mal du simulateur »). Nous avons prévu deux sessions par participant. Chaque session se déroulait de la même façon avec une phase de « formation », une phase de conduite, et une phase de *debriefing*. Pour le Groupe 1 « didacticiel », la formation consistait à explorer le didacticiel sans contrainte de temps, ni de consigne, puis un *briefing* sous forme de question permettait de nous assurer qu'ils avaient au moins acquis les connaissances nécessaires à la réalisation des scénarios. Pour le Groupe 2 « sans didacticiel », la formation était simplement composée d'un *briefing* oral de notre part pour fournir les connaissances minimales à avoir pour réaliser les scénarios. Concernant la conduite, les scénarios étaient alternés pour éviter un biais d'apprentissage lié à l'ordre de présentation de ces derniers. Enfin, le *debriefing* consistait en un entretien d'explicitation basé sur les observations des phases de conduite. Un dispositif de recueil de données audio/vidéo avait été prévu tout au long des sessions, et des questionnaires étaient proposés aux participants avant la première

session, après les phases de formation, et après les phases de conduite, pour évaluer l'évolution des réponses des participants tout au long de l'étude. Le traitement des données a été fait de la même façon que pour les deux premières études : une triangulation des données (Apostolidis, 2003; Olsen, 2004) et une analyse clinique (Clot & Leplat, 2005) situation par situation pour mettre en évidence les transformations des schèmes et des conceptualisations à partir de généralisations de connaissances opérationnelles. Nous avons également analysé l'utilisation de l'outil didactique, et analysé statistiquement les réponses aux questionnaires.

Cette méthodologie d'évaluation du dispositif conçu pour l'apprentissage avait pour but d'identifier des différences entre les deux groupes concernant les connaissances acquises sur le système et la compréhension de son fonctionnement, la réalisation des procédures d'activation et de désactivation, et la gestion des situations sensibles. Le recueil et le traitement des données étant semblables à ce que nous avons fait dans le cadre de nos deux premières études, nous étions en capacité de vérifier la cohérence des résultats pour nous assurer de leur validité. Cette comparaison était aussi l'occasion de vérifier si une expérimentation en simulateur pouvait apporter des résultats similaires à une étude en prototype sur route ouverte, sous réserve que les scénarios soient conçus sur la base de données empiriques de terrain. Cependant, nous pensons qu'une troisième session aurait permis de faire une véritable étude longitudinale et d'obtenir des résultats plus fiables et pertinents pour en tirer des conclusions valides concernant l'apprentissage de la conduite automatisée (notamment pour confirmer les transformations de schèmes).

3. Vers un parcours d'apprentissage associant simulation et didacticiel embarqué

Les résultats que nous avons obtenus suite à l'évaluation du didacticiel « AUTO-DIDACT' » ont révélé deux choses essentielles : (1) le didacticiel seul permettrait seulement de mieux comprendre le fonctionnement du système, notamment ses capacités et ses limites, et (2) la réalisation des scénarios de simulation a eu des effets inattendus sur l'apprentissage des participants. Dans cette section, nous discutons les apports de chacun de ces outils, en apportant une réflexion sur la façon de les mobiliser ensemble pour favoriser l'apprentissage.

3.1. Un effet limité du didacticiel sur l'apprentissage de la conduite automatisée

Dans un premier temps, nos deux premières études nous ont permis de comprendre que dans le cas de l'activité de conduite d'un véhicule automatisé, on ne pouvait parler de genèse

instrumentale que dans les deux conditions suivantes : (1) plusieurs micro-genèses instrumentales qui concernent l'appropriation des commandes d'activation et de désactivation, des interfaces et de la conduite automatisée elle-même, et (2) des transformations de schèmes avérées pour chacune des classes de situations que nous avons identifiées (développement de schèmes d'activation et de schèmes de désactivation, et inhibition de schèmes de la conduite traditionnelle). Dans le premier cas, ces micro-genèses s'apparentent aux différents stades d'apprentissage de la conduite traditionnelle (Lefèbvre, 2001) : d'abord la maîtrise du volant pour la direction, la maîtrise des pédales d'accélération et de freinage pour le contrôle longitudinal, puis la maîtrise du levier de vitesses pour passer les vitesses, etc.

« L'étude des novices dans un domaine est quelques fois un moyen, par comparaison avec les experts, de mieux caractériser l'expertise et les acquisitions nécessaires pour que cette dernière se construise » (Hoc, Amalberti, Cellier, & Grosjean, 2004, p.2). C'est dans cet état d'esprit que nous avons appréhendé ce travail de thèse, en ayant toutefois en tête la nécessité de mener des études longitudinales pour mieux comprendre le développement. Ainsi, parmi les divergences entre les pilotes experts et les conducteurs novices, nous avons constaté une différence majeure concernant l'identification et la récupération des erreurs. En effet, cette dimension représentait une part importante de l'activité des experts, alors qu'elle s'est avérée très peu présente chez les conducteurs novices de l'étude L3Pilot. Ce constat, déjà évoqué par Amalberti (1996, 1998), n'est cependant pas étonnant étant donné le rôle et les responsabilités des pilotes experts dans leur activité de travail, et les conditions dans lesquelles se sont déroulées les sessions de conduite avec les novices (dispositif de sécurité relativement important pour éviter cette gestion des erreurs par les participants). Ce qui est intéressant c'est que nous avons constaté cette même différence, à un degré moins important, entre le Groupe 1 « didacticiel » et le Groupe 2 « sans didacticiel » lors de l'évaluation d'« AUTO-DIDACT' ». En effet, les participants du premier groupe ont su mieux gérer les situations ambiguës de la Classe C, notamment en étant capable d'identifier les « erreurs » du système (plus précisément les mauvais choix de gestion de ces situations), et de les récupérer en reprenant la main sur la conduite. Ce que la grande majorité du Groupe 2 « sans didacticiel » n'a pas été en mesure de faire.

Les meilleures capacités d'inhibition du Groupe « didacticiel » font également partie des différences majeures que nous avons identifiées. En effet, les résultats ont révélé que ces participants ont plus facilement laissé le véhicule gérer les situations de la Classe B (situations gérées par la conduite automatisée), en parvenant à inhiber à plusieurs niveaux des « automatismes » de la conduite traditionnelle. Un premier niveau d'inhibition concernait

l'inhibition de gestes automatiques déjà entamés au niveau corporel (par exemple lorsque les participants rapprochaient le pied du frein dans un ralentissement fort et soudain du trafic). Le second niveau concernait l'inhibition-même de l'amorçage de ces gestes automatiques. Au bout d'un certain temps, et de plusieurs rencontres avec ces situations, la plupart des participants du Groupe 1 « didacticiel » ne rapprochaient, en effet, même plus les pieds des pédales ou les mains du volant. Les deux sessions d'utilisation du didacticiel et de simulation de conduite automatisée se sont donc révélées suffisantes pour permettre l'inhibition des schèmes de conduite traditionnelle dans les situations de la Classe B (situations gérées par la conduite automatisée), et pour la prise de décision d'agir dans les situations de la Classe C (situations ambiguës de la conduite automatisée). Notons toutefois qu'il faudrait vérifier que ces automatismes ne réapparaîtraient pas en situation d'urgence, que leur inhibition est elle-même passée à un niveau automatique et ne relève plus du contrôle conscient. En revanche, ces deux sessions n'ont pas été suffisantes pour amorcer et consolider la transformation des schèmes requise pour les procédures d'activation permettant la gestion des situations de la Classe A, et de désactivation permettant la gestion des situations de la Classe D.

Ces résultats suggèrent que le didacticiel aurait, a priori, était plus efficace pour acquérir les compétences du deuxième niveau du modèle GDE (maîtriser des situations de conduite automatisée), que pour développer les compétences relatives au premier niveau (maîtrise instrumentale du véhicule automatisé). En effet, en parvenant à maîtriser les situations sensibles des classes B et C, les participants montrent qu'ils parviennent à diagnostiquer la situation en cours, à pronostiquer son évolution, et à prendre une décision adaptée en conséquence. En revanche, les difficultés constatées pour les classes de situations A et D montrent que les participants ont du mal à exécuter les actions requises (erreurs et ratés constatés dans ces situations), mais aussi à contrôler cette exécution (par exemple dans le cas des participants qui pensent avoir activé et qui relâchent les commandes alors qu'ils sont toujours en conduite manuelle). Par conséquent, nous pensons que le didacticiel a permis aux participants d'acquérir un modèle approprié du fonctionnement du système à partir de représentations fiables de celui-ci.

Néanmoins, nous ne pouvons malheureusement pas en dire de même pour l'acquisition d'un modèle d'utilisation pertinent, étant donné les résultats plus mitigés concernant la représentation qu'ils ont de l'utilisation du système, la différence entre les deux groupes n'étant pas significative. Ces résultats sont cohérents avec le constat de Richard (1983), disant que le passage du modèle de fonctionnement au modèle d'utilisation est un travail déductif difficile et toujours implicite, et que si même ce processus peut s'automatiser chez les experts, ce n'est pas le cas chez les novices.

Un des facteurs, parmi tant d'autres, pouvant être à l'origine de ce constat est l'implémentation du module « simulation embarqué ». Ce module avait justement pour principale objectif de permettre le passage du modèle de fonctionnement au modèle d'utilisation par l'entraînement, en favorisant l'amorçage des transformations de schèmes. Cependant, bien que les participants du Groupe « didacticiel » aient apprécié l'idée, certains de leurs retours faisaient état de plusieurs limites dans l'utilisation du module. Ils nous ont, par exemple, signalé que les scènes de conduite n'étaient pas suffisamment réalistes, avec des comportements du véhicule automatisé et des autres usagers de la route trop « robotiques ». Ils nous ont également fait part d'un souci de proportion concernant les voies qui étaient trop étroites selon eux, rendant difficile la maîtrise du contrôle latéral déjà relativement sensible, tout comme le contrôle longitudinal (accélération). Par conséquent, les participants devaient s'y reprendre à plusieurs fois avant de parvenir à réussir ne serait-ce que le mini-scénario « débutant ». La validité écologique de ce module est donc remise en cause.

D'autres résultats que nous avons obtenus sont cohérents avec des études similaires issues de la littérature scientifique. Nous avons notamment vu que les participants du Groupe 1 « didacticiel » réagissaient plus rapidement pour reprendre la main dans les situations ambiguës. Dans l'étude d'Hergeth, Lorenz et Krems (2017), les participants ayant suivi une formation « élaborée » composée d'une description du système et d'une phase d'utilisation, ont été significativement plus rapides à reprendre la main lors du premier essai. Ces résultats étaient comparés à ceux d'un groupe sans formation, et d'un groupe ayant eu une formation sans description du système (utilisation seulement). De même, Sportillo, Paljic et Ojeda (2018) ont obtenu des résultats semblables pour des participants ayant suivi une formation « élaborée » en réalité virtuelle ou en simulateur. Ces participants étaient plus rapides lors des deux premières demandes de reprise en main. Ebnali, Lamb, Fathi et Hulme (2021) ont comparé un groupe ayant suivi un apprentissage interactif et un groupe ayant suivi un apprentissage avec notice. Là encore, les participants de la condition « apprentissage interactif » ont eu des temps de réaction plus rapides, mais aussi une meilleure qualité des reprises en main. Caractéristique que l'on retrouve également dans les études précédemment citées (Hergeth, Lorenz, & Krems, 2017 ; Sportillo, Paljic, & Ojeda, 2018). Ces résultats avaient déjà été observés par Ebnali et al. (2019) qui concluaient ainsi : « *ce type de formation (interactive, ndla) aide à construire des modèles mentaux plus précis du fonctionnement de l'automatisation et, par conséquent, à réagir plus rapidement* ». Ce qui va dans le sens de nos interprétations. Néanmoins, dans notre étude nous avons observé que les effets positifs du didacticiel s'estompaient dès la deuxième session. Ce phénomène a également été constaté par les études citées et par Forster et al. (2019) qui ont mis en évidence des effets positifs de la pratique répétée sur la performance. Cela confirme notre hypothèse selon laquelle ce type

de dispositif est particulièrement utile pour les premières phases de prise en main des véhicules automatisés. En effet, même si les différences ne sont pas durables, les effets du didacticiel pourraient tout de même permettre d'éviter des accidents survenant bien plus fréquemment lors des premières utilisations. L'apprentissage pourrait être ensuite consolidé par l'expérience et la pratique, hypothèse qui reste à vérifier.

3.2. Le potentiel d'apprentissage de la simulation

« La formation avec le didacticiel est plutôt très pertinente. Après il y a le test grandeur nature qui est plutôt bien fait avec toutes les scènes qu'il peut y avoir. Je trouve que ça reprend un peu tout, justement. Ça reprend justement l'ensemble des caractéristiques qu'on peut rencontrer » (P5G1S1).

L'évaluation du didacticiel « AUTO-DIDACT' » a révélé des résultats que nous n'avions pas prévus. Nous avons constaté un développement des participants du Groupe 2 « sans didacticiel » que nous pensions éviter en contrebalançant la présentation des deux scénarios. En faisant cela, nous pensions pouvoir contourner un biais d'apprentissage éventuel dû à l'ordre de présentation des scénarios. Cependant, les résultats ont montré que les participants du Groupe 2 « sans didacticiel » ont appris à faire face aux situations sensibles et à utiliser le nouvel artefact, nous permettant d'identifier très clairement des amorces de transformations de schèmes, et des conceptualisations basées sur la généralisation de connaissances opérationnelles. Ce phénomène a été particulièrement observé pour les situations des classes A et D, c'est-à-dire pour les phases d'activation de la conduite automatisée et pour les phases de reprise en main.

Ces résultats sont l'effet des scénarios de simulation que nous avons conçus sur la base de données empiriques issues de l'analyse de l'activité de conduite automatisée. Les situations sensibles intégrées dans ces scénarios reflétaient ce que nous avons initialement identifié comme des situations didactiques pertinentes à présenter dans le contenu pédagogique du didacticiel. En effet, l'objectif premier était de concevoir des scénarios de simulation à visée de recherche (Vidal-Gomel, 2005), car notre recueil de données n'était pas possible à réaliser en situations réelles. Nous avons donc accordé une place importante à la fidélité des scénarios au regard des situations réelles. De ce travail a résulté l'effet d'apprentissage que nous discutons ici, transformant nos scénarios de simulation à visée de recherche en scénarios de simulation à visée didactique comme d'autres auteurs ont pu l'avancer (Vidal-Gomel, op. cit.). Ce que nous avons analysé dans un premier temps comme fidélité requise pour recueillir des données « valides » peut aussi être analysé comme des caractéristiques de situations qui ont permis aux participants de notre étude d'acquérir les compétences

nécessaires à la maîtrise des situations sensibles de la conduite automatisée. Les situations ainsi sélectionnées pour concevoir ces scénarios ont révélé un potentiel d'apprentissage par leur propension à induire, favoriser ou inhiber des activités constructives générant un développement (Mayen, 1999 ; Mayen, 2014 ; Mayen & Gagneur, 2017). La simulation est éventuellement une question d'outil mais aussi de situations (Audran, 2016). Enfin, l'immersion mentale rendue possible par la simulation permet aux participants de s'entraîner en « entrant » dans une situation dans laquelle ils agissent comme ils l'auraient fait en situation réelle, contribuant ainsi au développement de leur expérience dans l'activité réalisée (Vidal-Gomel & Fauquet-Alekhine, 2016).

Un autre facteur pourrait contribuer à l'effet des simulations sur l'apprentissage : les entretiens d'explicitation. En effet, les entretiens que nous avons menés en fin de sessions dans le but de recueillir les réflexions, les avis, et ressentis des participants, ont pu faire office de *debriefing* permettant aux participants d'avoir une réflexion sur l'activité qu'ils venaient d'expérimenter. Amalberti et al. (1999) ou Pastré (2005) ont largement démontré l'effet impressionnant de la mise en situation suivie d'un *debriefing*. En revenant sur la situation vécue, avec le guidage d'un interviewer facilitant la réflexion et l'analyse, ce type d'entretiens permettrait d'aider les apprenants à développer les ressources requises pour réaliser leur activité, et à développer les conceptualisations dont ils ont besoin, notamment grâce à l'explicitation nécessaire pour en parler avec le chercheur lors du *debriefing* (Béguin & Cerf, 2004).

Finalement, nos résultats nous amènent à reconsidérer la façon d'accompagner les futurs conducteurs de véhicule automatisé avant les premières utilisations. D'une part nous avons vu que le didacticiel permettait de développer des représentations fiables du fonctionnement du système. D'autre part, nous avons vu que l'association de la simulation et d'un *debriefing* avait un effet non négligeable sur l'apprentissage, en particulier pour apprendre à réaliser les procédures d'activation et de désactivation de la conduite automatisée. Autrement dit, cette association permettrait d'acquérir des représentations appropriées de l'utilisation du système, nécessaires au développement des compétences visées. Par conséquent, nous pensons que pour que les conducteurs puissent acquérir les deux facettes de cette même pièce – modèle du fonctionnement et modèle de l'utilisation du système – nous devons proposer une « formation » composée d'une partie didacticiel et d'une partie simulation et *debriefing*. Il s'agirait alors de proposer deux artefacts complémentaires pour favoriser l'apprentissage des futurs conducteurs, au sein d'un parcours. Dans cette optique, des transformations doivent être réalisées. Nous proposons deux types de solutions :

- La première solution serait de retravailler le module « Simulation embarquée » du didacticiel « AUTO-DIDACT' », de sorte qu'il puisse avoir les mêmes effets qu'une simulation à taille réelle telle que nous l'avons proposée dans le simulateur EasyDrive Learning. Il s'agirait dans un premier temps de prendre en compte et de supprimer les trois difficultés évoquées plus haut mettant en cause la validité écologique de ce module, d'afficher une scène de conduite plus réaliste en termes de proportions (nous pourrions, par exemple, projeter la scène sur le pare-brise à la façon d'un HUD³¹). Enfin, nous pourrions proposer un système pour réaliser un *debriefing* virtuel directement dans le véhicule (par exemple un avatar régi par une intelligence artificielle qui fonctionnerait comme un « chatbot³² »).
- La deuxième solution consisterait à proposer le didacticiel « AUTO-DIDACT' » comme une application pour mobile et tablette, pour que le futur conducteur puisse le consulter avant de se rendre dans une concession et de réaliser des scénarios de conduite en simulation, qui pourraient être suivis de *debriefings* avec le vendeur ou le « metteur en main ». Enfin, le conducteur pourrait à nouveau consulter le didacticiel et réaliser les mini-scénarios du module « Simulation embarquée » une fois dans son véhicule. Cette solution se rapproche de ce que proposait initialement le projet AD Learning.

4. Discussion autour de la validité écologique des résultats

Étant donnée la nature de notre sujet de recherche, nous avons accordé une attention particulière à la validité écologique de notre démarche. Dans cette section nous discutons dans un premier temps la méthodologie de conception que nous avons déployée, puis la méthodologie d'évaluation du résultat de cette conception.

4.1 La validité écologique de la conception du didacticiel « AUTO-DIDACT' »

Dans le cadre de la conception d'un artefact, la validité écologique consiste à s'assurer du caractère généralisable du résultat du processus de conception, notamment vis-à-vis du transfert des situations expérimentales à des situations réelles ou « naturelle » (Hoc, 2001). La gestion de ces situations « naturelles » constituait en quelques sortes le but de la conception de l'outil didactique, orientant notre méthodologie vers une approche

³¹ Head-Up Display, ou Affichage tête haute, est un système de projection sur le pare-brise d'informations relatives au véhicule, permettant de ne pas détourner le regard du conducteur de la route.

³² La thèse en cours d'Alizée Schérer explore ses options dans un autre domaine.

situationnelle, intégrant ce que l'on peut nommer à la suite de Mayen (2012) : une « pédagogie des situations ». Pour cela, nous avons étudié des situations à partir des deux études préalables. D'une part, l'étude auprès des pilotes experts a permis de caractériser en partie des compétences qu'ils utilisent pour gérer les situations « naturelles » de conduite. Et d'autre part, l'étude menée avec des conducteurs novices nous a permis d'analyser l'activité des utilisateurs finaux visés par la conception de l'outil didactique afin de déterminer leurs « besoins en apprentissage ». Ainsi, nous avons respecté les cinq caractéristiques qui définissent la validité écologique selon Hoc (2001) : (1) un niveau d'abstraction optimal dans la définition de l'objet de la conception, (2) une analyse du domaine d'activité, des tâches et des comportements, délimitant les contraintes de ce domaine d'activité, (3) une analyse des compétences des sujets, (4) une connaissance des liens entre les processus cognitifs et les buts des actions en situations « naturelles », et (5) une méthode qui dénature le moins possible l'activité étudiée. Ce dernier point étant difficile à assurer dans le cadre de la conception qui nécessite toujours d'envisager l'« activité future probable » comme le signale Daniellou (2004), telle que la conduite automatisée.

En effet, les activités renseignées par nos études préalables étaient finalement assez éloignées de ce que seront réellement les activités de conduite automatisée futures. Deux facteurs sont à l'origine de cette différence. Premièrement, nous ne pouvons affirmer que les participants de nos études, même les novices, étaient vraiment représentatifs des utilisateurs finaux, et si l'activité future probable peut être envisagée, elle n'est jamais l'activité des utilisateurs toujours bien plus créatifs. Dans le futur, il serait intéressant de suivre une méthode de conception participative (Jean-Daubias, 2004) lorsque les systèmes de conduite automatisée seront sur le marché. Nous pourrions alors identifier les utilisateurs finaux du didacticiel, qui auront en plus une certaine expérience de l'activité de conduite automatisée, permettant de mettre à jour les données concernant le besoin en apprentissage. Deuxièmement, les prototypes utilisés dans les études préalables étaient toujours en cours de développement, donc non stabilisés, et encore relativement éloignés de ce que seront les futures véhicules automatisés qui seront mis sur le marché (différentes règles de fonctionnement, procédures d'activation différentes, systèmes plus sécurisés, différentes IHMs, etc.). Par conséquent, dans le cadre d'un processus de conception pour une activité future, s'assurer de la validité écologique n'était pas suffisant pour garantir la pertinence de la conception (Hoc, 2001). C'est pour cette raison qu'il était nécessaire d'évaluer a posteriori le résultat de ce travail, pour assurer le lien entre les situations expérimentales « artificielles » issues de la conception, et les situations « naturelles » visées. Pour cela nous avons dû identifier des invariants dans les situations « naturelles », ce qui nous a permis d'élaborer nos quatre classes de situations. Elles avaient, entre autres, pour but de contrôler au mieux les

différences entre ces situations réelles visées et les situations expérimentales pour assurer la représentativité de ces dernières et donc la validité écologique de la conception (Hoc, 2001). Bien sûr, comme tout travail de conception initiale, il est nécessaire de prendre en compte que la « conception se poursuit dans l'usage » et doit être intégrée dans des cycles itératifs de conception (Rabardel, 1995).

Plusieurs autres facteurs non contrôlés ont influencé nos méthodologies, à commencer par le contexte industriel dont les échéances temporelles sont plus courtes que dans le cadre d'une recherche purement académique. Cela nous a poussé à commencer la conception assez tôt dans notre démarche, avant même d'avoir recueilli toutes les données dont nous avons besoin, pour être en capacité de démontrer notre solution au sein de l'entreprise via un PoC (*Proof of Concept*). Le contexte industriel est également très évolutif dans le sens où les choix stratégiques de l'entreprise déterminent les moyens alloués à chaque projet. Ces choix stratégiques sont eux-mêmes déterminés à partir de l'évolution du marché qui est influencée par le contexte socio-économique du pays, voire par le contexte géopolitique mondial, qui rebattent les cartes continuellement. Par exemple, la crise sanitaire du Covid-19 a complètement bouleversé les priorités de l'entreprise, et donc les budgets alloués au projet AD Learning, mais également le planning prévu et les ambitions des expérimentations à mener (report ou annulation des expérimentations, moins de temps, moins de participants disponibles, etc.).

4.2. La validité écologique de l'évaluation du didacticiel « AUTO-DIDACT' »

Concernant l'évaluation du didacticiel « AUTO-DIDACT' », elle reposait sur trois éléments essentiels : les caractéristiques du simulateur, la validité des situations de simulation, et notre recueil de données.

Premièrement, le simulateur EasyDrive Learning que nous avons utilisé n'était a priori pas prévu pour cette utilisation. En effet, il s'agissait en fait d'un des supports didactiques conçus dans le cadre du projet AD Learning. Son but initial était d'être installé en concession pour permettre aux clients de tester la conduite automatisée et d'amorcer leur apprentissage. Dans ce cadre, il proposait trois modules dans l'ordre suivant : une vidéo pédagogique, cinq scénarios de conduite automatisée, et un quizz. L'habitacle correspondait à l'intérieur d'un Renault Espace avec une boîte de vitesses automatique (non fonctionnelle dans le simulateur), les commandes de conduite étaient fidèles à la réalité, avec en plus les deux boutons d'activation de la conduite automatisée sur le volant. Ces caractéristiques faisaient de ce simulateur un candidat idéal pour la réalisation de notre expérimentation. En effet,

DISCUSSION GENERALE

d'après Rogalski (1997), parmi les questions de validité que pose la conception de simulations, la fidélité des dispositifs de contrôle-commande est dans ce cas requise.

Nous l'avons donc détourné de ses fonctions, à la manière d'une catachrèse (Rabardel, 1995), pour y intégrer le didacticiel « AUTO-DIDACT' », ainsi que nos deux scénarios de simulation conçus spécifiquement pour cette étude. Les avantages étaient multiples : assurer la sécurité des participants, un coût et un temps de préparation adaptés à nos ressources, la possibilité de contrôler les variables, etc. (Fox, 1960). Mais les limites l'étaient également (Michaut, 1970) : risque de cinétose, nécessité d'une phase de familiarisation avec le simulateur (que nous n'avons pas pu réaliser par manque de temps), perceptions des risques, motivations et comportements des conducteurs différents qu'en situations réelles, validité de la reproduction du comportement des autres usagers de la route, etc.

Deuxièmement, la validité écologique de cette étude reposait beaucoup sur la validité écologique des scénarios de simulation. Nous devons nous assurer de la « fidélité » des situations de simulation à visée de recherche, c'est-à-dire le degré de similarité avec les situations « naturelles » visées (Leplat, 1989). Cependant, la fidélité des situations simulées ne garantit pas à elle seule la validité écologique de ces dernières. D'autres facteurs entrent en jeu, comme le couplage entre le sujet, ses compétences, et la tâche à réaliser dans ces situations, tout en prenant en compte le contexte dans lequel sont réalisées ces tâches (Rogalski, 1997 ; Vidal-Gomel, 2005). Pour déterminer ces facteurs, nous avons identifié les caractéristiques communes aux situations du domaine d'activité, ainsi que les caractéristiques invariantes de l'activité qui permettent de les gérer efficacement. Ce sont ces caractéristiques que nous avons tenté de transposer dans nos scénarios dans le but d'évaluer l'impact du didacticiel « AUTO-DIDACT' » sur l'activité de conduite automatisée. Néanmoins, le développement des scénarios a montré quelques limites. En premier lieu, les scénarios de simulation de conduite automatisée étaient un concentré de situations sensibles réparties sur un trajet d'une vingtaine de minutes, ce qui ne reflète pas réellement ce que seront les trajets en véhicules automatisés (le contraire serait inquiétant). Ensuite, le comportement du véhicule en mode automatisé était parfois hasardeux (en particulier concernant les changements de voie automatisés), tout comme le comportement des autres usagers de la route, biaisant la fidélité des situations de simulation. Aussi, nous avons remarqué que les participants ne se rendaient pas compte des décalages dans la voie, en particulier lors des transitions de mode, ce qui expliquerait en partie les résultats mitigés concernant les situations d'activation et de désactivation de la conduite automatisée.

Enfin, nous pouvons discuter de la validité de notre recueil de données sur deux aspects. D'abord, les entretiens que nous avons menés étaient des entretiens d'explicitation, et non

DISCUSSION GENERALE

des entretiens d'auto-confrontation, bien qu'ils se basaient en grande partie sur nos observations. Nous avons fait ce choix car nous n'avions pas suffisamment de temps disponible lors des sessions pour pouvoir collecter, traiter et visionner avec les participants les enregistrements vidéo de leur passage dans le simulateur. De plus, les entretiens ne duraient qu'une demi-heure en moyenne, il fallait donc choisir sur quelles situations nous voulions revenir avec le participant, car nous ne pouvions pas toutes les passer en revue. Le second aspect concernant la validité de notre recueil concerne les questionnaires qui prenaient la forme de QCM, avec toutes les limites que ce choix entraîne (Dessus, 2021a) : ils ne permettent pas d'évaluer des connaissances ou des raisonnements complexes, le participant peut obtenir un bon score en « devinant » la réponse ou en donnant une réponse au hasard, et les propositions fausses peuvent induire en erreur le participant.

Bien que des aspects soient à améliorer dans ce travail, il n'en fut pas moins riche d'apprentissage pour nous, mais également pour mieux comprendre l'activité de conduite automatisé, les enjeux d'apprentissage qu'elle soulève, et pour les activités de conception d'artefacts pour l'apprentissage. Nous en retenons également la nécessité d'approfondir, de compléter et de consolider la connaissance des besoins des futurs conducteurs de véhicules automatisé, pour assurer leur confort et leur sécurité dans l'usage de ces futurs systèmes.

CONCLUSION

CONCLUSION

INTRODUCTION GENERALE

PARTIE 1 : Contexte et Problématiques

PARTIE 2 : Cadres Théoriques

PARTIE 3 : Méthodologie Générale

PARTIE 4 : Résultats de la Thèse

DISCUSSION GENERALE

CONCLUSION

CONCLUSION

CONCLUSION

Hoc et al. (2004, p.1) disaient « *L'adaptation est au centre de toutes les recherches sur la cognition, car elle est directement liée à l'intelligence, qu'il convient de voir comme les capacités adaptatives d'un acteur, vivant ou artificiel, à son environnement* ». Partant de ce postulat, nous avons amplement mobilisé le cadre de l'approche instrumentale de Rabardel (1995), que nous pensions le plus adapté à notre sujet de recherche : l'apprentissage de l'activité de conduite d'un véhicule automatisé. Il s'est avéré central tout au long de notre travail, bien que nous l'ayons articulé avec de nombreux autres modèles théoriques, pour le compléter et satisfaire nos besoins concernant l'analyse de l'activité de conduite automatisée, la conception de l'outil didactique embarqué, et son évaluation a posteriori.

Grâce à la méthodologie que nous avons déployée, nous avons apporté des réponses aux verrous que nous avons identifiés dans la littérature. Le premier concernait les connaissances à transmettre aux futurs conducteurs de véhicules automatisés, au sein d'un contenu pédagogique adapté à leur besoin en apprentissage. Ce contenu pédagogique a pu être défini grâce aux apports de la littérature, mais surtout grâce aux résultats de nos deux études préalables auprès de pilotes experts et de conducteurs « tout venant » novices en conduite automatisée. Le second verrou concernait la conception d'un support de transmission de ces connaissances. Pour cette question, nous avons suivi les recommandations de la littérature scientifique sur le sujet (formation « élaborée » proposant un apprentissage concernant le fonctionnement du système, et en engageant le conducteur cognitivement et physiquement dans son apprentissage), tout en articulant différents modèles de conception d'artefacts didactiques destinés à l'apprentissage, autrement dit au développement des compétences des utilisateurs.

Les résultats obtenus nous ont permis de confirmer l'intérêt de ce type de dispositifs pour accompagner les conducteurs dans la prise en main de systèmes de plus en plus complexes modifiant en profondeur leur activité. Cependant, nous avons constaté que le didacticiel tel que nous l'avons conçu ne permettait que partiellement le développement de compétences des conducteurs. En effet, son impact a principalement concerné le développement de connaissances sur le fonctionnement du système, ses capacités et ses limites, permettant aux conducteurs d'être en capacité d'inhiber des automatismes de la conduite traditionnelle, et de gérer des situations ambiguës de la conduite automatisée, au moins dans un premier temps. Par ailleurs, nous avons identifié un effet positif, bien que modéré, des scénarios de simulation sur l'apprentissage des procédures d'activation et de désactivation de la conduite automatisée. Ces résultats suggèrent qu'il serait pertinent de penser l'accompagnement des futurs conducteurs de véhicules automatisés en intégrant une phase d'apprentissage sur un didacticiel interactif engageant, et une phase de simulation de conduite suivi d'un *debriefing*.

CONCLUSION

Il s'agit alors de construire un parcours d'apprentissage, en proposant aux futurs utilisateurs des artefacts complémentaires dont ils peuvent se saisir.

En vue d'une potentielle industrialisation du didacticiel « AUTO-DIDACT' », nous proposons quelques recommandations et perspectives de recherche qui, nous l'espérons, permettront d'améliorer sa conception future.

Pour commencer, nous avons mobilisé les notions de « logique de fonctionnement » et de « logique d'utilisation » en ce qui concerne l'exposition des connaissances dans le contenu pédagogique. Pour aller plus loin, il serait intéressant de creuser l'idée d'« analogie de fonctionnement » (Ausubel, 1963, in Richard, 1983) pour favoriser l'assimilation ou l'accommodation de schèmes relatifs à des systèmes similaires. Par exemple, nous pourrions explicitement montrer toutes les ressemblances existantes entre un ACC et la conduite automatisée pour permettre le transfert analogique des connaissances des conducteurs.

Ensuite, nous avons conçu le didacticiel de manière à ce que les apprenants puissent explorer librement chaque module, dans l'ordre qu'ils préféreraient, sans contraintes de temps. Nous pensons qu'il serait pertinent de mieux guider les apprenants pour la raison suivante : les conducteurs n'entrent pas dans leur véhicule dans le but d'apprendre quelque chose, par conséquent ils ne savent pas ce qu'ils doivent apprendre, et ne savent donc pas par où commencer l'exploration du didacticiel. Notre suggestion serait alors de proposer un parcours d'apprentissage linéaire, ou scénario d'usage, que l'apprenant serait « obligé » de suivre pour avancer dans son apprentissage (Vivet, 1991 ; Laborde, 1999 ; Trouche, 2007).

Une autre amélioration pourrait être apportée en proposant un outil didactique s'adaptant au profil de l'apprenant. En effet, l'interface d'un tel dispositif comporte nécessairement et implicitement un modèle de l'utilisateur. Or les utilisateurs étant tous différents, leur niveau peut impacter leur manière d'utiliser l'outil didactique. Par exemple, un conducteur ayant déjà eu une expérience de conduite automatisée ne voudra pas consulter tout le contenu pédagogique, mais seulement ce dont il a besoin. Aussi, de par leur état d'apprenant les conducteurs utilisant l'outil didactique vont évoluer, leurs besoins en apprentissage aussi. C'est pour cela que nous pensons que le contenu pédagogique devrait pouvoir s'adapter au niveau du conducteur qui le consulte, en prenant en compte l'existence de leur zone proche de développement (Vygotski, 1934/1997), en comportant un modèle évolutif de l'utilisateur (Barcenilla & Tijus, 2006 ; Le Bellu, soumis).

CONCLUSION

Enfin, dans le but de maintenir les compétences dans le temps, il serait intéressant de pouvoir continuer l'accompagnement pendant la conduite en situation réelle, en trouvant le moyen de ne pas surcharger le conducteur.

Bibliographie

- Abraham, H., McAnulty, H., Mehler, B., & Reimer, B. (2017). Case study of today's automotive dealerships: Introduction and delivery of advanced driver assistance system. *Transportation research record*, 2660(1), 7-14.
- Abraham, H., Reimer, B., & Mehler, B. (2017). Advanced Driver Assistance Systems (ADAS): A Consideration of Driver Perceptions on Training, Usage & Implementation. *The Human Factors and Ergonomics Society 2017*. 61, pp. 1954-1958. Los Angeles: SAGE Publications.
- Abraham, H., Reimer, B., & Mehler, B. (2018). Learning to Use In-Vehicle Technologies: Consumer Preferences and Effects on Understanding. *Human Factors and Ergonomics Society 2018* (pp. 1589-1593). Los Angeles: SAGE Publications.
- Allen, T. M., Lunenfeld, H., & Alexander, G. J. (1971). Driver information needs. *Highway research record*, 366, 102-115.
- Amalberti, R. (1996). *La conduite de systèmes à risques: le travail à l'hôpital*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Amalberti, R. (2001). *La conduite de systèmes à risques (2e édition)*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Amalberti, R., & Hoc, J.-M. (1998). Analyse des activités cognitives en situation dynamique: pour quels buts? Comment? *Le Travail Humain*, 209-234.
- Anderson, T. (1996). What in the World Is Constructivism? *Learning*, 24(5), 48-51.
- Apostolidis, T. (2003). Représentations sociales et triangulation : enjeux théorico-méthodologiques. *Méthodes d'étude des représentations sociales*, 13-35.
- Assailly, J. P. (2013). Quelles innovations pédagogiques dans le cadre de la réforme du permis de conduire? Comment appliquer la matrice GDE? Quelles adaptations aux facteurs de risque d'accidents des jeunes conducteurs novices? *Questions Vives*, 9(19), 12p.
- Audran, J. (2016). Se former par la simulation, une pratique qui joue avec la réalité. *Recherche & Formation*, 82(2), 9-16.
- Aupetit, S., & Riff, J. (2012). Étude de la dimension collective de l'usage des systèmes d'assistance à la conduite automobile en situation réelle : l'exemple du régulateur de vitesse conventionnel. *Bulletin de Psychologie*, 520(4), 307-320.
- Ausubel, D. P. (1963). *The psychology of meaningful verbal learning*.
- Bahner, J. E., Hüper, A. D., & Manzey, D. (2008). Misuse of automated decision aids: Complacency, automation bias and the impact of training experience. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66(9), 688-699.
- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica*, 19(6), 775-779.
- Balacheff, N. (1995). Conception, propriété du système sujet/milieu. *Actes de la VII^e Ecole d'été de didactique des mathématiques* (pp. 215-229). Clermont-Ferrand: IREM de Clermont-Ferrand.
- Balacheff, N. (2002). Environnements informatiques et apprentissage humain. In G.-L. Baron, & E. Bruillard (Ed.), *Symposium Technologies informatiques en éducation* (pp. 39-44). Paris: MSH.
- Banks, V. A., & Stanton, N. A. (2016). Keep the driver in control: Automating automobiles of the future. *Applied Ergonomics*, 53, 389-395.
- Banks, V. A., Eriksson, A., O'Donoghue, J., & Stanton, N. A. (2018). Is partially automated driving a bad idea? Observations from an on-road study. *Applied Ergonomics*, 68, 138-145.
- Banks, V. A., Stanton, N. A., & Harvey, C. (2014). Sub-systems on the road to vehicle automation: Hands and feet free but not 'mind' free driving. *Safety Science*, 62, 505-514.
- Barcenilla, J., & Tijus, C. (2006). Une approche contextuelle de la compréhension et de l'usage des aides techniques. *Systèmes d'aide. Enjeux pour les technologies cognitives*, 44(2), 145-157.
- Barré, J., & Bréard, H. (2019). *Evaluation de la conduite partiellement autonome des véhicules Tesla*. Versailles: Vedecom.
- Barsalou, L. W. (2020). Challenges and opportunities for grounding cognition. *Journal of Cognition*, 3(1).
- Bascoul, C. (1999). Pour une conception mécanique assistée par ordinateur. *4^{ème} Colloque sur la conception mécanique intégrée*. La Plagne: PRIMECA.
- Basque, J., & Doré, S. (1998). Le concept d'environnement d'apprentissage informatisé. *Revue internationale de l'apprentissage en ligne et de l'enseignement à distance*, 13(1), 40-56.

Bibliographie

- Bationo Tillon, A., Folcher, V., Bourmaud, G., & Decortis, F. (2021). *Approche Instrumentale : Expansion et devenirs*. Paris: Université Paris 8.
- Bationo-Tillon, A., & Rabardel, P. (2015). L'approche instrumentale : conceptualiser et concevoir pour le développement. In F. Decortis, *L'ergonomie orientée enfants. Concevoir pour le développement* (pp. 109-145). Paris: Presses Universitaires de France.
- Beanland, V., Goode, N., Salmon, P. M., & Lenné, M. G. (2013). Is there a case for driver training? A review of the efficacy of pre-and post-licence driver training. *Safety science*, 51(1), 127-137.
- Beggiato, M., & Krems, J. F. (2013). The evolution of mental model, trust and acceptance of adaptive cruise control in relation to initial information. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 18, 47-57.
- Beggiato, M., Pereira, M., Petzoldt, T., & Krems, J. (2015). Learning and development of trust, acceptance and the mental model of ACC. A longitudinal on-road study. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 35, 75-84.
- Béguin, P., & Cerf, M. (2004). Formes et enjeux de l'analyse de l'activité pour la conception des systèmes de travail. *Activités*, 1(1), 54-71.
- Bellet, T. (1998). *Modélisation et simulation cognitive de l'opérateur Humain : une application à la conduite automobile*. Paris: Université Paris 5.
- Bellet, T., & Tattegrain-Veste, H. (2003). COSMODRIVE: un modèle de simulation cognitive du conducteur automobile. In J.-C. Sperandio, & M. Wolff, *Formalismes de modélisation pour l'analyse du travail et l'ergonomie* (pp. 77-110). Paris: Presses Universitaires de France.
- Bernard, A. (1998). Développement rapide de produit : élaboration de prototype. In M. Tollenaere, *Conception de produits mécaniques* (pp. 245-268). Paris: Hermès.
- Bianchi Piccinini, G. F., Rodrigues, C. M., Leitão, M., & Simões, A. (2015). Reaction to a critical situation during driving with Adaptive Cruise Control for users and non-users of the system. *Safety Science*, 72, 116-126.
- Billings, C. E. (1997). *Aviation Automation: The Search for a Human Centered Approach*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Billings, C. E., Lauber, J. K., Funkhouser, H., Lyman, E. G., & Huff, E. M. (1976). *Aviation safety reporting system*. Moffett Field, CA: National Aeronautics and Space Administration Ames Research Center.
- Bisseret, A. (1995). *Représentation et décision experte. Psychologie cognitive de la décision chez les aiguilleurs du ciel*. Toulouse: Octarès.
- Björkly, C. A., Jenssen, G. D., Moen, T., & Vaa, T. (2003). Adaptive Cruise Control (ACC) and driver performance : effects on objective and subjective measures. *10th World congress on intelligent transport systems*. Madrid.
- Bleske-Rechek, A., Zeug, N., & Webb, R. M. (2007). Discrepant performance on multiple-choice and short answer assessments and the relation of performance to scholastic aptitude. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 32(2), 89-105.
- Blömacher, K., Nöcker, G., & Huff, M. (2020). The evolution of mental models in relation to initial information while driving automated. *Transportation Research Part F*, 68, 198-217.
- Bobillier-Chaumon, M.-E. (2016). L'acceptation située des technologies dans et par l'activité : premiers étayages pour une clinique de l'usage. *Psychologie du travail et des organisations*, 22(1), 4-21.
- Bobillier-Chaumon, M.-E., & Dubois, M. (2009). L'adoption des technologies en situation professionnelle : quelles articulations possibles entre acceptabilité et acceptation ? *Le Travail Humain*, 72(4), 355-382.
- Boccaro, V. (2011). *Développement des compétences en situation de tutelle au cours de la formation initiale à la conduite automobile : apports croisés de la psychologie ergonomie et de la psychologie sociale*. Paris: Thèse de doctorat, Paris 8.
- Boelhouwer, A., van den Beukel, A. P., van der Voort, M. C., & Martens, M. H. (2019). Should I take over? Does system knowledge help drivers in making take-over decisions while driving a partially automated car? *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 60, 669-684.
- Boelhouwer, A., van den Beukel, A. P., van der Voort, M., & Martens, M. (2019). Designing a naturalistic in-car tutor system for the initial use of partially automated cars: taking inspiration from driving instructors. *11th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications: Adjunct Proceedings* (pp. 410-414). Utrecht: Association for Computing Machinery.

Bibliographie

- Bonavia, G. (2016). Simulation to train hot rolling mill operators in metalwork. In P. Fauquet-Alekhine, & N. Pehuet, *Simulation Training: Fundamentals and Applications. Improving professional practice through simulation training* (pp. 119-135). Cham: Springer.
- Bourdieu, P. (1979). *La Distinction. Critique sociale du jugement*. Paris: Les Editions de Minuit.
- Bourmaud, G. (2006). *Les systèmes d'instruments : Méthodes d'analyse et perspectives de conception*. Paris: Université Paris 8.
- Bourmaud, G. (2007). L'organisation systémique des instruments : méthodes d'analyse, propriétés et perspectives de conception ouvertes. *Colloque de l'Association pour la Recherche Cognitive - ARCo'07 : Cognition - Complexité - Collectif* (pp. 61-76). Nancy: ARCo - INRIA - EKOS.
- Boy, G. A. (2013). Dealing with the unexpected in our complex socio-technical world. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(15), 402-409.
- Breton, J. (1996). *Les facteurs de réussite commerciale d'un nouveau produit*. Paris: ENSAM.
- Brousseau, G. (1998). Les obstacles épistémologiques, problèmes et ingénierie didactique. In G. Brousseau, *La théorie des situations didactiques* (pp. 115-160). Grenoble: Editions La Pensée sauvage.
- Burkhardt, J. M., Corneloup, V., Garbay, C., Bourrier, Y., Jambon, F., Luengo, V., & ... Lourdeaux, D. (2016). Simulation and virtual reality-based learning of non-technical skills in driving: critical situations, diagnostic and adaptation. *IFAC*, 49(32), 66–71.
- Cades, D. M., Crump, C., Lester, B. D., & Young, D. (2017). Driver distraction and advanced vehicle assistive systems (ADAS): investigating effects on driver behavior. *Advances in human aspects of transportation* (pp. 1015-1022). Cham: Springer.
- Cahour, B., & Forzy, J.-F. (2009). Does projection into use improve trust and exploration? An example with a cruise control system. *Safety Science*, 47, 1260–1270.
- Capallera, M., Meteier, Q., de Salis, E., Angelini, L., Carrino, S., Abou Khaled, O., & Mugellini, E. (2019). Owner Manuals Review and Taxonomy of ADAS Limitations in Partially Automated Vehicles. *11th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI '19)* (pp. 156-164). Utrecht: ACM.
- Carlin, N., & Ducombs, M. (1994). Incidences de l'automatisation sur l'organisation et les conditions de travail dans quelques PMI de Basse-Normandie. *Travail et emploi*, 59, 74-89.
- Carroll, J., Howard, S., Vetere, F., Peck, J., & Murphy, J. (2002). Just What Do the Youth of Today Want? Technology Appropriation by Young People. *35th Hawaii International Conference on System Sciences* (pp. 1777-1785). Big Island: IEEE.
- Carstensen, G. (2002). The effect on accident risk of a change in driver education in Denmark. *Accident Analysis & Prevention*, 34(1), 111-121.
- Casner, S. M., & Hutchins, E. L. (2019). What Do We Tell the Drivers? Toward Minimum Driver Training Standards for Partially Automated Cars. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 13(2), 55-66.
- Cellier, J.-M., & Hoc, J.-M. (2001). La gestion d'environnements dynamiques. *Psychologie française*, 46(2).
- Changeux, J.-P. (2002). *L'homme de vérité*. Paris: Odile Jacob.
- Churchill, E. F. (1992). The formation of mental models: are "device instructions" the source? *Sixth European conference on Cognitive Ergonomics: "Human-Computer interaction: tasks and organization*.
- Cicchino, J. B. (2017). Effectiveness of forward collision warning and autonomous emergency braking systems in reducing front-to-rear crash rates. *Accident Analysis & Prevention*, 99, 142-152.
- CISR. (1997). *CISR 1997*. Paris: Comité Interministériel de Sécurité Routière.
- Clot, Y., & Leplat, J. (2005). La méthode clinique en ergonomie et en psychologie du travail. *Le Travail Humain*, 68, 289-316.
- CNSR. (2019). *Commission Education routière et risque routier professionnel: Impliquer les constructeurs dans l'information et la formation à la bonne utilisation des aide à la conduite*. Paris: Conseil National de la Sécurité Routière.
- Commission Européenne. (2010). *Stratégie européenne relative aux systèmes de transport intelligents coopératifs*. Bruxelles: Parlement européen.
- Corneloup, V. (2019). *Apprentissage et évaluation des compétences de conduite de haut niveau en réalité virtuelle: utilisation des simulateurs de conduite pour mesurer et développer les compétences perceptives et cognitives des conducteurs novices*. Paris: Sorbonne Paris Cité.
- Cummings, M. (2004). Automation bias in intelligent time critical decision support systems. *AIAA 1st intelligent systems technical conference*, (p. 6313).
- Cusanno, H. (2018). *Benchmark des aides embarquées pour la prise en main des véhicules automatisés de niveau 2 SAE*. Guyancourt: Groupe Renault.

Bibliographie

- Cusanno, H. (2020). *Présentation du PoC "AUTO-DIDACT"*. Guyancourt: Groupe Renault.
- Cusanno, H., Vidal-Gomel, C., & Le Bellu, S. (2021a). Comment guider les genèses instrumentales pour la prise en main d'un véhicule automatisé? *55ème Congrès de la SELF, L'activité et ses frontières. Penser et agir sur les transformations de nos sociétés* (pp. 336-341). Paris: Société d'Ergonomie de Langue Française.
- Cusanno, H., Vidal-Gomel, C., & Le Bellu, S. (2021b). Identification of Sensitive Driving Situations to Guide the Design of a Learning Tool for Automated Vehicle Drivers. *Congress of the International Ergonomics Association* (pp. 462-470). Vancouver: Springer.
- Daniellou, F. (2004). L'ergonomie dans la conduite de projets de conception de systèmes de travail. In P. Falzon, *Ergonomie* (pp. 359-373). Paris: Presses Universitaires de France.
- De Ribaupierre, A. (1983). Un modèle néo-piagétien du développement: La théorie des opérateurs constructifs de Pascual-Leone. *Cahiers de psychologie cognitive*, 3(3), 327-356.
- De Ribaupierre, A. (2007). Modèles néo-piagétiens du développement cognitif et perspective psychométrique de l'intelligence : y a-t-il convergence ? *L'année psychologique*, 107(2), 257-302.
- De Waard, D., & Brookhuis, K. A. (1999). Driver support and automated driving systems: Acceptance and effects on behavior. *Automation technology and human performance: current research and trends*, 49-57.
- Debernard, S., Chauvin, C., Pokam, R., & Langlois, S. (2016). Designing Human-Machine Interface for Autonomous Vehicles. *IFAC (International Federation of Automatic Control)*, 49(19), 609-614.
- Deery, H. A. (1999). Hazard and risk perception among young novice drivers. *Journal of safety research*, 30(4), 225-236.
- Dehaene, S. (2018). *Apprendre ! Les talents du cerveau, le défi des machines*. Paris: Odile Jacob.
- Denecker, P. (1999). Les composantes symboliques et subsymboliques de l'anticipation dans la gestion des situations dynamiques. *Le Travail Humain*, 62(4), 363-385.
- Dessus, P. (2021a, Décembre 17). *Les questionnaires à choix multiple : définitions et critiques*. From Cours Sciences de l'éducation, Inspé, Univ. Grenoble Alpes: http://espe-rtd-reflexpro.u-ga.fr/docs/scied-cours-qcm/fr/latest/QCM_def.html#qcm-def
- Dessus, P. (2021b, Décembre 17). *Répondre à un QCM : Aspects cognitifs*. From Cours Sciences de l'éducation, Inspé, Univ. Grenoble Alpes: http://espe-rtd-reflexpro.u-ga.fr/docs/scied-cours-qcm/fr/latest/QCM_cog.html
- Dubart, D., Kassaagi, M., Moessinger, M., & Lefort, M. (2007). ADAS design method based on real world driving. *ESV*. Lyon: NHTSA.
- Duchamp, R. (1999). *La conception de produits nouveaux*. Paris: Hermès.
- Durand, D. (2002). *La systémique*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Ebnali, M., Hulme, K., Ebnali-Heidari, A., & Mazloumi, A. (2019). How does training effect users' attitudes and skills needed for highly automated driving? *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 66, 184-195.
- Ebnali, M., Lamb, R., Fathi, R., & Hulme, K. (2021). Virtual reality tour for first-time users of highly automated cars: Comparing the effects of virtual environments with different levels of interaction fidelity. *Applied Ergonomics*, 90, 103226.
- Elvik, R. (2006). Laws of accident causation. *Accident Analysis & Prevention*, 38(4), 742-747.
- Endsley, M. R. (1987). The application of human factors to the development of expert systems for advanced cockpits. *Human Factors Society Annual Meeting* (pp. 1388-1392). Los Angeles: SAGE Publications.
- Endsley, M. R. (2017). Autonomous Driving Systems: A Preliminary Naturalistic Study of the Tesla Model S. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 11(3), 225-238.
- FAA. (2013). *Top Management Challenges for Fiscal Year 2014*. Federal Aviation Administration, Department of Transportation. Washington: Federal Aviation Administration.
- Faucher, J. (2004). *Pratique de l'AMDEC: assurez la qualité et la sûreté de fonctionnement de vos produits, équipements et procédés*. Paris: Dunod.
- Fauquet-Alekhine, P. (2011). Human or avatar: psychological dimensions on full scope, hybrid, and virtual reality simulators. *Proceedings of the Serious Games & Simulation Workshop*, (pp. 22-36).
- Fauquet-Alekhine, P., & Boucherand, A. (2015). Innovative Debriefing Protocol for Simulation Training Improvement. *Journal of Education, Society and Behavioural Science*, 13(3), 1-13.
- Favre, D. (1995). Conception de l'erreur et rupture épistémologique. *Revue Française de Pédagogie*, 111, 85-94.
- Fiske, S. T., & Taylor, S. E. (1991). *Social Cognition*. New York: McGraw-Hill Education.

Bibliographie

- Folcher, V. (2015). Conception pour et dans l'usage : la maîtrise d'usage en conduite de projet. *Journal of Human Mediatized Interactions*, 16(1), 39-60.
- Folcher, V., & Rabardel, P. (2004). Hommes, artefacts, activités: perspective instrumentale. In P. Falzon, *Ergonomie* (pp. 251-268). Paris: Presses Universitaires de France.
- Forster, Y., Hergeth, S., Naujoks, F., Krems, J., & Keinath, A. (2019). User education in automated driving: Owner's manual and interactive tutorial support mental model formation and human-automation interaction. *Information*, 10(4), 143.
- Fox, B. H. (1960). Some technical considerations in driving simulation. *Highway Research Board Bulletin*, 261, 38-43.
- Frederiksen, J. R., & White, B. Y. (1989). An approach to training based upon principled task decomposition. *Acta psychologica*, 71(1-3), 89-146.
- Frederiksen, N. (1981). The real test bias. *ETS Research Report Series*, 1981(2), i-22.
- Freyssenet, M. (1983). *Division du travail, taylorisme et automatisation: confusions, différences et enjeux*. Paris: Centre de sociologie urbaine.
- Funk, K., Lyall, B., Wilson, J., Vint, R., Niemczyk, M., Suroteguh, C., & Owen, G. (1999). Flight deck automation issues. *The International Journal of Aviation Psychology*, 9(2), 109-123.
- Galinier, V. (1996). *Apports de l'ergonomie à la conception d'instrument: concevoir autour des schèmes d'utilisation: un exemple dans le domaine du transport routier*. Paris: CNAM.
- Gillet, G., Veyrac, H., & Fraysse, B. (2013). Orchestrations instrumentales pour l'appropriation d'artefact professionnel. *Travail et apprentissages : revue de didactique professionnelle*, 11, 87-109.
- Gold, C., Damböck, D., Lorenz, L., & Bengler, K. (2013). "Take over!" How long does it take to get the driver back into the loop? *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting*. 57, pp. 1938-1942. Los Angeles: Sage Publications.
- Gomes, A. S., & Munoz, G. (2016). La notion de système d'instruments en formation de conception d'artefacts numériques. *La conception d'un artefact : approches ergonomiques et didactiques* (pp. 1-17). Lausanne: HEP Vaud.
- Goodwin, C. (1994). Professional Vision. *American Anthropologist*, 96(3), 606-633.
- Greenbaum, J., & Kyng, M. (1991). *Cooperative Design of Computer Systems*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Greenlee, E. T., DeLucia, P. R., & Newton, D. C. (2018). Driver vigilance in automated vehicles: Hazard detection failures are a matter of time. *Human factors*, 60(4), 465-476.
- Guin, D., & Trouche, L. (2002). *Calculatrices symboliques. Transformer un outil en un instrument du travail mathématique : un problème didactique*. Grenoble: Editions La Pensée sauvage.
- Guo, G., Sentouh, C., Popieul, J.-C., & Haué, J.-B. (2019). Predictive shared steering control for driver override in automated driving: A simulator study. *Transportation Research Part F*, 61, 326-336.
- Guo, G., Sentouh, C., Popieul, J.-C., Haué, J.-B., Langlois, S., Loeillet, J.-J., . . . Nguyen That, T. (2019). Cooperation between driver and automated driving system: Implementation and evaluation. *Transportation Research Part F*, 61, 314-325.
- Harms, I., & Dekker, G. M. (2017). *ADAS: from owner to user*. International Event on Driving Science (IEDS).
- Hatakka, M., Keskinen, E., Gregersen, N. P., Glad, A., & Hernetkoski, K. (2002). From control of the vehicle to personal self-control; broadening the perspectives to driver education. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 5(3), 201-215.
- Haué, J.-B., Le Bellu, S., & Barbier, C. (2020). Le véhicule autonome : se désengager et se réengager dans la conduite. *Activités*, 17(1).
- Hergeth, S., Lorenz, L., & Krems, J. F. (2017). Prior familiarization with takeover requests affects drivers' takeover performance and automation trust. *Human Factors*, 59(3), 457-470.
- Hoc, J.-M. (1988). L'aide aux activités de planification dans la conception des programmes. *Le Travail Humain*, 321-333.
- Hoc, J.-M. (2001). Towards ecological validity of research in cognitive ergonomics. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 2(3), 278-288.
- Hoc, J.-M. (2004). La gestion de situation dynamique. In P. Falzon, *Ergonomie* (pp. 515-530). Paris: Presses Universitaires de France.
- Hoc, J.-M., & Amalberti, R. (1994). Diagnostic et prise de décision dans les situations dynamiques. *Psychologie française*, 39(2), 177-192.
- Hoc, J.-M., & Amalberti, R. (1995). Diagnosis: some theoretical questions raised by applied research. *Current psychology of cognition*, 14(1), 73-101.

Bibliographie

- Hoc, J.-M., & Amalberti, R. (1999). Analyse des activités cognitives en situation dynamique: d'un cadre théorique à une méthode. *Le Travail Humain*, 97-129.
- Hoc, J.-M., & Amalberti, R. (2003). Adaptation et contrôle cognitif: supervision de situations dynamiques complexes. *Deuxièmes Journées d'Étude en Psychologie Ergonomique – ÉPIQU* (pp. 135-147). Boulogne-Billancourt: Rocquencourt : INRIA.
- Hoc, J.-M., & Moulin, L. (1994). Rapidité du processus contrôlé et planification dans un micro-monde dynamique. *Année psychologique*, 94(4), 521-551.
- Hoc, J.-M., Amalberti, R., & Plee, G. (2000). Vitesse du processus et temps partagé: planification et concurrence attentionnelle. *Année psychologique*, 100(4), 629-660.
- Hoc, J.-M., Amalberti, R., Cellier, J.-M., & Grosjean, V. (2004). Adaptation et gestion des risques en situation dynamique. In J.-M. Hoc, & F. Darses, *Psychologie ergonomique : tendances actuelles* (pp. 15-48). Paris: Presses Universitaires de France.
- Hoedemaeker, M., & Brookhuis, K. A. (1998). Behavioural adaptation to driving with an adaptive Cruise Control (ACC). *Transportation research : Part F*, 95-106.
- Houdé, O. (1995). *Rationalité, développement et inhibition: un nouveau cadre d'analyse*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Houdé, O. (2007). Le rôle positif de l'inhibition dans le développement cognitif de l'enfant. *Le Journal des Psychologues*, 244(1), 40-42.
- Houdé, O. (2014). *Apprendre à résister*. Paris: Le Pommier.
- Houdé, O. (2018a, Janvier 23). *Conférences CARDIE : Le statut de l'erreur*. From Académie de Paris: https://www.ac-paris.fr/portail/jcms/p1_1646640/conferences-cardie-le-statut-de-l-erreur-olivier-houde
- Houdé, O. (2018b). *L'école du cerveau. De Montessori, Freinet et Piaget aux sciences cognitives*. Paris: Mardaga, « PSY-Théories, débats, synthèses ».
- Houdé, O. (2020). *L'inhibition au service de l'intelligence*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Hurst, R., & Hurst, L. R. (1982). *Pilot error: the human factors*. London, New York, Granada: Book Club Associates.
- Hutchins, E. (2010). Cognitive ecology. *Topics in cognitive science*, 2(4), 705-715.
- INSERM. (2011). *Téléphone et sécurité routière*. Paris: Expertise Collective.
- Jean-Daubias, S. (2004). De l'intégration de chercheurs, d'experts, d'enseignants et d'apprenants à la conception d'EIAH. *Technologies de l'Information et de la Connaissance dans l'Enseignement Supérieur et de l'Industrie* (pp. 290-297). Compiègne: Université de Technologie de Compiègne.
- Keith, N., & Frese, M. (2008). Effectiveness of error management training: A meta-analysis. *Journal of Applied Psychology*, 93(1), 59-69.
- Keskinen, E. (1996). Why do young drivers have more accidents? Junger Fahrer und Fahrerinnen, Mensch und Sicherheit Heft M52. *Bundesanstalt für Straassenwesen*.
- Kyriakidis, M., de Winter, J. C., Stanton, N., Bellet, T., van Arem, B., Brookhuis, K., . . . Happee, R. (2019). A human factors perspective on automated driving. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 20(3), 223-249.
- Kyriakidis, M., de Winter, J. C., Stanton, N., Bellet, T., van Arem, B., Brookhuis, K., & ... Happee, R. (2017). A human factors perspective on automated driving. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 20(3), 223-249.
- L3Pilot, C. (2022, January 25). *About L3Pilot*. From L3Pilot Driving Automation: <https://www.l3pilot.eu/>
- Laborde, C. (1999). Apprentissage du voir et du savoir en géométrie. *Les Cahiers du CRESLEF*, 107-117.
- Lahlou, S., Le Bellu, S., & Boesen-Mariani, S. (2015). Subjective Evidence Based Ethnography: Method and Applications. *Integrative Psychological and Behavioral Science*, 49, 216-238.
- Langlois, S. (2013). ADAS HMI using peripheral vision. *5th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (pp. 74-81). Eindhoven: AutomotiveUI ,13.
- Langlois, S., & Boussaad, S. (2016). Augmented reality versus classical HUD to take over from automated driving: an aid to smooth reactions and to anticipate maneuvers. *19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)* (pp. 1571-1578). Rio de Janeiro: IEEE.
- Larsson, A. (2012). Driver usage and understanding of adaptive cruise control. *Applied Ergonomics*, 43, 501-506.
- Larsson, A., Kircher, K., & Andersson Hultgren, J. (2014). Learning from experience: Familiarity with ACC and responding to a cut-in situation in automated driving. *Transportation Research Part F*, 27, 229-237.

Bibliographie

- Le Bellu, S. (2016). Learning the secrets of the craft through the real-time experience of experts : capturing and transferring professional expert tacit knowledge to novices. *Perspectives Interdisciplinaires Sur le Travail et La Santé (PISTES)*, 18(1).
- Le Bellu, S., & Forzy, J.-F. (2019). *Pédagogie pour les systèmes de conduite automatisée*. Guyancourt: Renault DEA-IRI.
- Le Monde. (2005, Avril 5). *Régulateurs de vitesse : Renault admet un défaut de pédagogie*. From LeMonde.fr: https://www.lemonde.fr/economie/article/2005/04/05/regulateurs-de-vitesse-renault-admet-un-defaut-de-pedagogie_635499_3234.html
- Le Monde. (2021, Août 16). *Tesla et son Autopilot visés par une enquête après une série de onze accidents aux Etats-Unis*. From LeMonde.fr: https://www.lemonde.fr/economie/article/2021/08/16/le-systeme-d-autopilotage-des-tesla-verse-par-une-enquete-apres-une-serie-de-onze-accidents-aux-etats-unis_6091586_3234.html
- Lee, J. D., & See, K. A. (2004). Trust in automation: Designing for appropriate reliance. *Human factors*, 46(1), 50-80.
- Lefèbvre, C. (2001). Vers une formation à la conduite automobile intégrant des connaissances conceptuelles et des métaconnaissances. *Recherche, Transports, Sécurité*, 70, 16-40.
- Lefort, B. (1982). L'emploi des outils au cours de tâches d'entretien et la loi de Zipf-Mandelbrot. *Le Travail Humain*, 45(2), 307-316.
- Lemercier, C., Tricot, A., Chênerie, I., Marty Dessus, D., Morancho, F., & Sokoloff, J. (2001). *Quels apprentissages sont-ils possibles avec des exercices multimédia en classe ? Réflexions théoriques et compte rendu d'une expérience*. Paris: Rapport de recherche, contribution au rapport du Programme de Numérisation de l'Enseignement et de la Recherche « Usages éducatifs des exercices ».
- Leontiev, A. A. (1975). The heuristic principle in the perception, emergence, and assimilation of speech. *Foundations of Language Development*, 43-58.
- Leontiev, A. A. (1981). *Psychology and the Language Learning Process*. Oxford: Pergamon Press.
- Leplat, J. (1985). Les représentations fonctionnelles dans le travail. *Psychologie Française*, 30(3-4).
- Leplat, J. (1989). Error analysis, instrument and object of task analysis. *Ergonomics*, 32(7), 813-822.
- Leplat, J. (1995). À propos des compétences incorporées. *Éducation permanente*, 123(2), 101-113.
- Leplat, J., & de Montmollin, M. (2001). *Les compétences en ergonomie*. Toulouse: Octarès.
- Lheureux, F., Saad, F., Pianelli, C., Abric, J. C., & Roland, J. (2006). *Behavioural changes due to long term use of speed limiter and cruise control*. AIDE project (Adaptive Integrated Driver-vehicle Interface).
- LOM. (2019). *Loi d'Orientation des Mobilités*. Paris: Ministère de l'Ecologie.
- Lu, Z., Happee, R., Cabrall, C. D., Kyriakidis, M., & de Winter, J. C. (2016). Human factors of transitions in automated driving: A general framework and literature survey. *Transportation Research Part F*, 43, 183-198.
- Lugan, J.-C. (1996). *La systémique sociale*. Paris: Que sais-je ?
- Maître, P., & Miquel, J. P. (1992). *De l'idée au Produit : guide de la valorisation industrielle de la recherche*. Paris: Eyrolles.
- Marsh, E. J., Roediger, H. L., Bjork, R. A., & Bjork, E. L. (2007). The memorial consequences of multiple-choice testing. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14(2), 194-199.
- Marsot, J. (2002). *Conception et ergonomie. Méthodes et outils pour intégrer l'ergonomie dans le cycle de conception des outils à mains*. Paris: Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS).
- Marx, K. (1844). *Economic & Philosophic Manuscripts*. Moscou: Progress Publishers (1959).
- Mas, A. (2012). *Utilisation des simulateurs de conduite pour l'évaluation des systèmes d'aide à la conduite en situation d'urgence*. Paris: ENSAM.
- Mayen, P. (1999). Des situations potentielles de développement. *Education Permanente*, 139, 65-86.
- Mayen, P. (2012). Des situations potentielles d'apprentissage dans l'évolution du travail d'enseignants. *Travail et Apprentissages*, 10(2), 144-160.
- Mayen, P. (2014). Lever quelques embarras et incertitudes de méthode en didactique professionnelle. *Travail et apprentissages*, 1, 118-138.
- Mayen, P., & Gagneur, C.-A. (2017). Le potentiel d'apprentissage des situations : une perspective pour la conception de formations en situations de travail. *Recherches en éducation*, 28, 70-83.
- Mayhew, D. R., Simpson, H. M., & Pak, A. (2003). Changes in collision rates among novice drivers during the first months of driving. *Accident analysis & prevention*, 35(5), 683-691.
- Mayhew, D. R., Simpson, H. M., Desmond, K., & Williams, A. F. (2003). Specific and long-term effects of Nova Scotia's graduated licensing program. *Traffic injury prevention*, 4(2), 91-97.

Bibliographie

- McRuer, D. T., Allen, R. W., Weir, D. H., & Klein, R. H. (1977). New results in driver steering control models. *Human Factors*, 19(4), 381-397.
- Mehlenbacher, B., Wogalter, M. S., & Laughery, K. R. (2002). On the reading of product owner's manuals: Perceptions and product complexity. *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 46, pp. 730-734. Los Angeles: SAGE Publications.
- Meizel, D., & Saad, F. (1998). *Coopération Homme-Machine pour l'assistance à la conduite automobile*. CNRS/INRETS.
- Merat, N., Jamson, A. H., Lai, F. C., & Carsten, O. (2012). Highly automated driving, secondary task performance, and driver state. *Human factors*, 54(5), 762-771.
- Merat, N., Jamson, A. H., Lai, F. C., Daly, M., & Carsten, O. M. (2014). Transition to manual: Driver behaviour when resuming control from a highly automated vehicle. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 27, 274-282.
- Meunier, J.-M. (2016a). Comprendre les objets avec l'action. *Bulletin de psychologie*, 546(6), 415-422.
- Meunier, J.-M. (2016b). *Raisonnement, résolution de problèmes et prise de décision*. Paris: Dunod.
- Michaut, G. (1970). Les simulateurs de conduite automobile, revue bibliographique critique. *Le travail humain*, 353-377.
- Michon, J. A. (1985). A critical view of driver behavior models: what do we know, what should we do? *Human behavior and traffic safety* (pp. 485-524). Boston: Springer.
- Minguy, J.-L. (1995). *Concevoir pour aider à l'action située. Le travail en passerelle de navires de pêche : rôle de la carte de pêche comme représentation*. Paris: CNAM.
- Minguy, J.-L. (1997). Concevoir aussi dans le sillage de l'utilisateur. *International Journal of Design and Innovation Research*, 10, 59-78.
- Mollo, V., & Falzon, P. (2004). Auto- and allo-confrontation as tools for reflective activities. *Applied Ergonomics*, 35(6), 531-540.
- Monsaingeon, N., Carli, Y., Caroux, L., Langlois, S., & Lemerrier, C. (2021). Indicating the Limits of Partially Automated Vehicles with Drivers' Peripheral Vision: An Online Study. *12th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2021): Advances in Human Aspects of Transportation* (pp. 78-85). New York: Springer Nature.
- Monsaingeon, N., Caroux, L., Langlois, S., Hurgobin, Y., & Lemerrier, C. (2020). Driver compliance with automation reliability information regarding hazardous environmental circumstances. *Le Travail Humain*, 83(4), 343-360.
- Monsaingeon, N., Caroux, L., Mougine, A., Langlois, S., & Lemerrier, C. (2021). Impact of interface design on drivers' behavior in partially automated cars: An on-road study. *Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour*, 81, 508-521.
- Monteau, M. (1988). La gestion de la prise de risque chez l'opérateur. In P. Goguelin, & X. Cuny, *La prise de risque dans le travail* (pp. 239-252). Paris: O/E.
- Morin, E., & Le Moigne, J.-L. (1999). *L'intelligence de la complexité*. Paris: Editions L'Harmattan.
- Mueller, A. S., Cicchino, J. B., Singer, J., & Jenness, J. W. (2020). Effects of training and display content on Level 2 driving automation interface usability. *Transportation Research Part F*, 69, 61-71.
- Navarro, J., Mars, F., Forzy, J.-F., El-Jaafari, M., & Hoc, J.-M. (2010). Objective and subjective evaluation of motor priming and warning systems applied to lateral control assistance. *Accident Analysis and Prevention*, 42, 904-912.
- NHTSA. (2017). *Automated driving systems 2.0: a vision for safety*. U.S. Department of Transportation. Washington: National Highway Traffic Safety Administration.
- Nilsson, L. (1995). Safety effects of adaptive cruise controls in critical traffic situations. *Second Annual World Congress on Intelligent Transport Systems* (pp. 1254-1259). Tokyo: Vertis.
- Norman, D. A. (1988). *The Design of Everyday Things*. New York: Basic Books.
- Norman, D. A. (1991). Cognitive artifacts. *Designing interaction: Psychology at the human-computer interface*, 1(1), 17-38.
- Norman, D. A., & Draper, S. W. (1986). *User Centered System Design: New Perspectives on Human-computer Interaction*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- NTSB. (2018). *Highway accident brief: Rear-end collision between a car operating with Advanced Driver Assistance Systems and a stationary fire truck*. Culver City: National Transportation Safety Board.
- NTSB. (2019). *Collision Between Vehicle Controlled by Developmental Automated Driving System and Pedestrian*. Tempe: National Transportation Safety Board.
- Nuthall, G. (2007). *The Hidden Lives of Learners*. Wellington: New Zealand Council for Educational Research (NZCER).

Bibliographie

- Nyberg, A., Gregersen, N. P., & Wiklund, M. (2007). Practicing in relation to the outcome of the driving test. *Accident Analysis & Prevention*, 39(1), 159-168.
- Nyssen, A.-S. (2005). Simulation dans le domaine de l'anesthésie. Etudes et réflexions sur les notions de validité et de fidélité. In P. Pastré, *Apprendre par la simulation. De l'analyse de travail aux apprentissages professionnels* (pp. 269-283). Paris: Octarès.
- Ojeda, L., & Nathan, F. (2006). *Studying learning phases of an ACC through verbal reports*. Commission européenne. Bruxelles: Driver support and information systems : experiments on learning, appropriation and effects of adaptiveness, AIDE project (Adaptive integrated driver-vehicle interface).
- Olsen, W. (2004). Triangulation in social research: qualitative and quantitative methods can really be mixed. In M. Haralambos, & M. Holborn, *Developments in Sociology* (Vol. 20, pp. 103-118). London: Causeway Press Ltd.
- ONISR. (2019). *Bilan 2019 de la sécurité routière*. Paris: ONISR.
- ONISR. (2020). *Bilan 2020 de la sécurité routière*. Paris: ONISR.
- Page, Y., Ouimet, M. C., & Cuny, S. (2004). An evaluation of the effectiveness of the supervised driver-training system in France. *Annual proceedings/association for the advancement of automotive medicine* (p. 131). Association for the Advancement of Automotive Medicine.
- Parasuraman, R., & Manzey, D. H. (2010). Complacency and bias in human use of automation: An attentional integration. *Human factors*, 52(3), 381-410.
- Parasuraman, R., & Riley, V. (1997). Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse. *Human factors*, 39(2), 230-253.
- Parasuraman, R., Molloy, R., & Singh, I. L. (1993). Performance consequences of automation-induced 'complacency'. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(1), 1-23.
- Parkes, A. M., & Franzen, S. (1993). *Driving future vehicles*. Boca Raton: CRC Press.
- Pascual-Leone, J. (1976). On learning and development, Piagetian style: II. A critical historical analysis of Geneva's research program. *Canadian Psychological Review*, 17(4), 289-297.
- Pascual-Leone, J. (1978). Compounds, confounds and models in developmental information processing. A reply to Trabasso and Foellinger. *Journal of Experimental Child Psychology*, 26, 18-40.
- Pascual-Leone, J. (1980). Constructive problems for constructive theories: The current relevance of Piaget's work and a critique of information-processing simulation psychology. In R. Kluwe, & H. Spada, *Developmental models of thinking*. Academic Press.
- Pascual-Leone, J. (1987). Organismic processes for neo-Piagetian theories: A dialectical causal account of cognitive development. *International Journal of Psychology*, 22(5-6), 531-570.
- Pascual-Leone, J., & Sparkman, E. (1980). The dialectics of empiricism and rationalism: A last methodological reply to Trabasso. *Journal of Experimental Child Psychology*, 29, 88-101.
- Pastré, P. (1992). *Essai pour introduire le concept de didactique professionnelle: rôle de la conceptualisation dans la conduite de machines automatisées*. Paris: Université Paris 5.
- Pastré, P. (1999). La conceptualisation dans l'action: bilan et nouvelles perspectives. *Éducation permanente*, 139(2), 13-35.
- Pastré, P. (2005). Dynamique et métamorphose des compétences professionnelles. *Psychologie du travail et des organisations*, 11(2), 73-87.
- Pastré, P. (2007). Analyse du travail et formation. *Recherches en éducation. Apprentissage et développement : apprendre, se former et agir*, 4, 23-28.
- Pastré, P., Mayen, P., & Vergnaud, G. (2006). La didactique professionnelle. *Revue française de pédagogie*, 154, 145-198.
- Patrick, J. (1992). *Training: Research and practice*. Academic Press.
- Payre, W., Cestac, J., & Delhomme, P. (2014). Intention to use a fully automated car: Attitudes and a priori acceptability. *Transportation Research Part F*, 27, 252-263.
- Payre, W., Cestac, J., Dang, N. T., Vienne, F., & Delhomme, P. (2017). Impact of training and in-vehicle task performance on manual control recovery in an automated car. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 46, 216-227.
- Pernin, J.-P. (2007). Mieux articuler activités pour l'apprentissage, artefacts logiciels et connaissances : vers un modèle d'ingénierie centré sur le concept de scénario. In M. Baron, D. Guin, & L. Trouche, *Environnements informatisés et ressources numériques pour l'apprentissage : conception et usages, regards croisés* (pp. 161-190). Paris: Hermès.
- Piaget, J. (1936). *La Naissance de l'intelligence chez l'enfant*. Neuchâtel; Paris: Delachaux et Niestlé. 9e éd. 1977.
- Pinsky, L., & Theureau, J. (1984). Paradoxe de l'ergonomie de conception et logiciel informatique. *Revue Des Conditions de Travail*, 9, 1-15.

Bibliographie

- Poisson, C. (2019). *Concevoir pour le développement de la conduite automobile: contribution pour la compréhension de l'activité et des genèses instrumentales des sujets et du véhicule autonome*. Paris: Université Paris 8.
- Poisson, C., Safin, S., Forzy, J.-F., Langlois, S., Decortis, F., & Bationo-Tillon, A. (2015). Automatisation de la conduite automobile : suppression ou transformation de l'activité du conducteur ? *8ème colloque EPIQUE 2015*. Aix-en-Provence: Arpege.
- Poisson, C., Safin, S., Langlois, S., Bationo-Tillon, A., & Decortis, F. (2015). Analyse de l'activité et approche systémique de situations de délégation de conduite : apport pour la compréhension de l'activité de conduite automobile autonome. *50ème congrès international. Société d'Ergonomie de Langue Française (SELF)*. Paris: Ergonomics Abstracts.
- Pokam, R., Debernard, S., Chauvin, C., & Langlois, S. (2019). Principles of transparency for autonomous vehicles: first results of an experiment with an augmented reality human-machine interface. *Cognition, Technology & Work, 21*, 643–656.
- Pomian, J. L., Pradere, T., & Gaillard, I. (1997). *Ingénierie et ergonomie*. Toulouse: CEPADUES.
- Pradhan, A. K., Pulver, E. Z., Bao, S., & Molnar, L. (2018). Perceived safety benefits, concerns, and utility of advanced driver assistance systems among owners of ADAS-equipped vehicles. *Traffic injury prevention, 19*(2), 135-137.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies; approche cognitive des instruments contemporains*. Paris: Armand Colin.
- Rabardel, P. (1997). Des instruments et des hommes : propositions pour une conception centrée utilisateurs. *Revue scientifique de la conception et du développement des produits industriels, 10*, 7-20.
- Rabardel, P. (1998). Éléments pour un point de vue cognitif sur la souffrance au travail : apports de l'approche instrumentale. *Nouvelles formes d'organisation*. Conférence invitée au séminaire animé par C. Dejours (15 Oct).
- Rabardel, P. (1999). Éléments pour une approche instrumentale en didactique des mathématiques. *10ème université d'été de didactique des mathématiques, Évolution des enseignants de mathématiques; rôle des instruments informatiques et de l'écrit. Qu'apportent les recherches en didactique des mathématiques ?* (pp. 203-213). Caen: ARDM (association pour la recherche en didactique des mathématiques).
- Rabardel, P. (2001). Instrument mediated activity in situations. *People and computers XV—Interaction without Frontiers* (pp. 17-30). London: Springer.
- Rabardel, P. (2005). Instrument, activité et développement du pouvoir d'agir. In P. Lorino, & R. Teulier, *Entre connaissance et organisation : L'activité collective* (pp. 251-265). Paris: La Découverte.
- Rabardel, P., & Bourmaud, G. (2003). From computer to instrument system: a developmental perspective. *Interacting with computers, 15*(5), 665-691.
- Rabardel, P., & Bourmaud, G. (2005). Instruments et systèmes d'instruments. In P. Rabardel, & P. Pastré, *Modèles du sujet pour la conception. Dialectiques activités développement* (pp. 211-229). Toulouse: Octarès.
- Rabardel, P., & Samurçay, R. (2001). From artifact to instrument-mediated learning. *Symposium on New challenges to research on Learning*. Helsinki: Center for Activity Theory and Developmental Work Research, University of Helsinki.
- Rabardel, P., & Samurçay, R. (2006). De l'apprentissage par les artefacts à l'apprentissage médiatisé par les instruments. In J.-M. Barbier, *Sujets, activités, environnements: Approches transverses* (pp. 31-60). Paris: Presses Universitaires de France.
- Rabardel, P., & Waern, Y. (2003). From artefact to instrument. *Interacting with computers, 15*(5), 641-645.
- Radlmayr, J., Feldhütter, A., Frey, A., Jarosch, O., Marberger, C., Naujoks, F., & Bengler, K. (2019). Drowsiness and fatigue in conditionally automated driving—Towards an integrative framework. *Proceedings of the human factors and ergonomics society europe*.
- 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, 13*(3), 257-266.
- Rasmussen, J. (1986). A Framework for Cognitive Task Analysis in Systems Design. *Intelligent Decision Support in Process Environments, 21*, pp. 175-196. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Richard, J.-F. (1983). *Logique du fonctionnement et logique de l'utilisation*. Paris: HAL.
- Rodenacker, W. G. (1970). *Methodisches Konstruieren*. Berlin: Springer.

Bibliographie

- Rodriguez, M. C. (2003). Construct equivalence of multiple-choice and constructed-response items: a random effects synthesis of correlations. *Journal of Educational Measurement*, 40(2), 163–184.
- Rogalski, J. (1995). From real situations to training situations: conservation of functionalities. In J.-M. Hoc, *Expertise and Technology: Cognition and Human-Computer Cooperation* (pp. 123-137).
- Rogalski, J. (1997). Simulations : fonctionnalités ? validité? In P. Béguin, & A. Weill-Fassin, *La simulation en ergonomie: connaître, agir et interagir* (pp. 55-76). Toulouse: Octarès.
- Rogalski, J. (2004). La didactique professionnelle : une alternative aux approches de « cognition située » et « cognitiviste » en psychologie des acquisitions. *Activités*, 1(1-2), 103-120.
- Roid, G., & Haladyna, T. (1980). The Emergence of an Item-writing Technology. *Review of Educational Research*, 50(2), 293–314.
- Rudin-Brown, C. M., & Parker, H. A. (2004). Behavioural adaptation to adaptive cruise control (ACC) : Implications for preventive strategies. *Transportation research*, 7, 59-76.
- Saad, F., Dionisio, C., Arslanian, E., Collaciuri, V., Legay, F., Vézier, B., & Timianguel, J. (2006). *Learning phase and short term behavioural effect of speed limiter and cruise control systems. Driver support and information systems: experiments on learning, appropriation and effects of adaptiveness*(AIDE).
- SAE. (2018). *Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems*. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers International.
- Sætren, G. B., Wigum, J. P., Robertsen, R., Bogfjellmo, P., & Suzen, E. (2018). The future of driver training and driver instructor education in Norway with increasing ADAS technology in cars. In S. Haugen, A. Barros, C. van Gulijk, T. Kongsvik, & J. E. Vinnem, *Safety and Reliability – Safe Societies in a Changing World* (pp. 1433-1440). Trondheim: CRC Press.
- Saffarian, M., De Winter, J. C., & Happee, R. (2012). Automated driving: human-factors issues and design solutions. *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting*, 56, pp. 2296-2300. Los Angeles: Sage Publications.
- Sahaï, A., Barré, J., & Bueno, M. (2021). Urgent and non-urgent takeovers during conditional automated driving on public roads: the impact of different training programmes. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 81, 130-143.
- Salembier, P., Theureau, J., Zouinar, M., & Vermersch, P. (2001). *Action/cognition située et assistance à la coopération*. Grenoble: 12 journées francophones d'ingénierie des connaissances (IC'2001).
- Samurçay, R. (1994). Conception des outils cognitifs pour le développement des compétences : résolution collective de problèmes pour la recherche en ergonomie et pour l'ingénierie. *29ème congrès de la SELF*. Paris: Eyrolles.
- Samurçay, R. (2005). Concevoir des situations simulées pour la formation professionnelle : une approche didactique. In P. Pastré, *Apprendre par la simulation* (pp. 221-240). Toulouse: Octarès.
- Samurçay, R., & Pastré, P. (1995). Outiller les acteurs de la formation pour le développement des compétences. *Education permanente*, 123(2), 13-31.
- Samurçay, R., & Rabardel, P. (2004). Modèles pour l'analyse de l'activité et des compétences, propositions. In R. Samurçay, & P. Pastré, *Recherches en didactique professionnelle* (pp. 163-180). Toulouse: Octarès.
- Samurçay, R., & Rogalski, J. (1992). Formation aux activités de gestion d'environnements dynamiques: concepts et méthodes. *Éducation permanente*, 111, 227-242.
- Samurçay, R., & Rogalski, J. (1993). Cooperative work and decision making in emergency management. *Le Travail Humain*, 53-77.
- Samurçay, R., & Rogalski, J. (1998). Exploitation didactique des situations de simulation. *Le Travail Humain*, 61(4), 333-359.
- Sassman, M., Deniel, J., Bellet, T., & Claverie, B. (2018). Effets de l'automatisation de la conduite en situations de conduite normales et critiques : de l'étude empirique sur simulateur à la modélisation cognitive. *Ingénierie cognitive*, 2(1).
- Scerbo, M. W., & Mouloua, M. (1998). *Automation Technology and Human Performance: Current Research and Trends*. London: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Schön, D. A. (1983). *The reflective practitioner: How professionals think in action*. New York: Basic Books.
- Schuler, D., & Namioka, A. (1993). *Participatory design : Principles and practices*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Shermis, M. D., & DiVesta, F. J. (2011). *Classroom Assessment in Action*. Lanham, Maryland, USA: Rowman & Littlefield Publishers, Inc.

Bibliographie

- Siegrist, S. (1999). *Driver training, testing and licensing - towards theory-based management of young driver's injuries risk in road traffic*. Berne: BFU.
- Simon, J. H. (2005). *Learning to drive with advanced driver assistance systems: empirical studies of an online tutor and a personalised warning display on the effects of learnability and the acquisition of skill*. Chemnitz: Chemnitz, Techn. University.
- Skitka, L. J., Mosier, K. L., Burdick, M., & Rosenblatt, B. (2000). Automation bias and errors: are crews better than individuals? *The International journal of aviation psychology*, 10(1), 85-97.
- SNDMRA. (2020). *Stratégie Nationale de Développement de la Mobilité Routière Automatisée*. Paris: Ministère de la Transition Ecologique.
- SNVA. (2018). *Développement des véhicules autonomes : Orientations stratégiques pour l'action publique*. Paris: Ministère des Transports.
- Sportillo, D., Paljic, A., & Ojeda, L. (2018). Get ready for automated driving using virtual reality. *Accident Analysis & Prevention*, 118, 102-113.
- Sportillo, D., Paljic, A., & Ojeda, L. (2019). On-road evaluation of autonomous driving training. *14th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)* (pp. 182-190). Daegu: IEEE.
- Sportillo, D., Paljic, A., Boukhris, M., Fuchs, P., Ojeda, L., & Roussarie, V. (2017). An Immersive Virtual Reality System for Semi-autonomous Driving Simulation. *9th International Conference on Computer and Automation Engineering - ICCAE '17* (pp. 6-10). New York: ACM Press.
- Stanton, N. A., & Marsden, P. (1996). From fly-by-wire to drive-by-wire: Safety implications of automation in vehicles. *Safety science*, 24(1), 35-49.
- Stockert, S., Tara Richardson, N., & Lienkamp, M. (2015). Driving in an increasingly automated world – approaches to improve the driver-automation interaction. *6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2015)*. 3, pp. 2889-2896. Las Vegas: Procedia Manufacturing.
- Strand, N., Nilsson, J., Karlsson, I. M., & Nilsson, L. (2014). Semi-automated versus highly automated driving in critical situations caused by automation failures. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 27, 218-228.
- Suchman, L. A. (1987). *Plans and situated actions: The problem of human-machine communication*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Taubman–Ben-Ari, O., Lotan, T., & Prato, C. G. (2017). Young male drivers' risky driving 15 months after licensure–The role of intervention, attitudes towards accompanied driving, and parents' risk. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 51, 73-80.
- Tchounikine, P. (2002). Quelques éléments sur la conception et l'ingénierie des EIAH. *Assises nationales du GdR I3 - Groupe de Recherche Information Interaction Intelligence* (pp. 233-245). Nancy: HAL.
- Tchounikine, P. (2004). *Platon-1 : quelques Dimensions pour l'analyse des travaux de recherche en conception d'EIAH*. CNRS, STIC. Grenoble: HAL.
- Theureau, J. (2011). Appropriations 1, 2 & 3 ou Appropriation, Incorporation & 'Inculturation'. *Journée Ergo-Idf : Appropriation & Ergonomie* (pp. 6-11). Paris: CNAM.
- Tricot, N., Rajaonah, B., Pacaux, M. P., Simon, P., Anceaux, F., & Popieul, J. C. (2003). Design and evaluation of advanced cooperative systems: an auto-adaptive cruise control. *10th world congress on Intelligent Transport Systems and Services–ITS*. Madrid: ITS.
- Trouche, L. (2003). *Construction et conduite des instruments dans les apprentissages mathématiques : nécessité des orchestrations*. Paris: Paris 7.
- Trouche, L. (2007). Environnements informatisés d'apprentissage : quelle assistance didactique pour la construction des instruments mathématiques ? In R. Floris, & F. Conne, *Environnements informatiques, enjeux pour l'enseignement des mathématiques* : (pp. 19-38). Louvain-la-Neuve: De Boeck Supérieur.
- Vadcard, L., & Luengo, V. (2005). *Réduire l'écart entre formations théorique et pratique en chirurgie : conception d'un EIAH*. Grenoble: CLIPS - IMAG - Communication Langagière et Interaction Personne-Système.
- Vadcard, P. (1996). *Aide à la programmation de l'utilisation des outils en conception de produit*. Paris: ENSAM.
- Valot, C., Grau, J.-Y., & Amalberti, R. (1993). Les métaconnaissances: des représentations de ses propres compétences. In A. Weill-Fassina, P. Rabardel, & D. Dubois, *Représentations pour l'action*. Toulouse: Octarès.
- Van der Molen, H. H., & Bötticher, A. M. (1988). A hierarchical risk model for traffic participants. *Ergonomics*, 31(4), 537-555.

Bibliographie

- van Wees, K., & Brookhuis, K. (2005). Product liability for ADAS; legal and human factors perspectives. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 5(4).
- Varela, F. J. (1991). *The Embodied Mind – Cognitive Science & Human Experience*. Boston: MIT Press.
- Vaudry, C. (2002). *Composition Dynamique d'Informations dans le Cadre de la Communication Homme Machine–La problématique de la Pertinence dans la CHM*. Montpellier: Université Montpellier 2.
- Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10(2-3), 133-170.
- Vergnaud, G. (1991). Langage et pensée dans l'apprentissage des mathématiques. *Revue française de pédagogie*, 96, 79-86.
- Vergnaud, G. (2002). Piaget visité par la didactique. *Intellectica - La revue de l'Association pour la Recherche sur les sciences de la Cognition (ARCo)*, 33, 107-123.
- Vérillon, P., & Rabardel, P. (1995). Cognition and Artefact: a contribution to the study of thought in relation to instrument activity. *European Journal of Psychology in Education*, 9(3).
- Vermersch, P. (1994). *L'entretien d'explicitation* (Vol. 1). Issy-les-Moulineaux: ESF Sciences Humaines.
- Vermersch, P. (2002). La prise en compte de la dynamique attentionnelle : éléments théoriques. *Explicititer*, 43, 27-39.
- Vermersch, P. (2019). *L'entretien d'explicitation* (Vol. 9). Issy-les-Moulineaux: ESF Sciences Humaines.
- Vidal-Gomel, C. (2001). *Le développement des compétences pour gérer les risques professionnels. Le domaine de la maintenance des systèmes électriques*. Paris: Université Paris 8.
- Vidal-Gomel, C. (2002a). Systèmes d'instruments des opérateurs. Un point de vue pour analyser le rapport aux règles de sécurité. *Pistes*, 4(2).
- Vidal-Gomel, C. (2002b). Systèmes d'instruments : un cadre pour analyser le rapport aux règles de sécurité. *37ème Congrès de la SELF*, (pp. 134-144). Aix-en-Provence.
- Vidal-Gomel, C. (2005). Situation de simulation pour la recherche: quels apports pour la formation professionnelle? Un exemple dans le domaine de la maintenance des systèmes électriques. *Apprentissage par la simulation. De l'analyse du travail aux apprentissages professionnels*, 156-180.
- Vidal-Gomel, C. (2018). *Analyses de l'activité. Perspectives pour la conception et la transformation des situations de formation*. Rennes: Presses Universitaires de Rennes.
- Vidal-Gomel, C. (2021). *Cours de master 2 de sciences de l'éducation : « conception de formation »*. Nantes: Université de Nantes.
- Vidal-Gomel, C., & Fauquet-Alekhine, P. (2016). Reflections and theoretical contributions regarding trainers' practice and simulation. In P. Fauquet-Alekhine, & N. Pehuet, *Simulation Training: Fundamentals and Applications. Improving professional practice through simulation training* (pp. 1-29). Cham: Springer.
- Vidal-Gomel, C., Bourmaud, G., & Munoz, G. (2015). Systèmes d'instruments, des ressources pour le développement. *Actes du colloque "L'activité en débat. Dialogues épistémologiques et méthodologiques sur les approches de l'activité"* (pp. 1-15). Lille: Université de Lille 3.
- Viktorová, L., & Šucha, M. (2019). Learning about advanced driver assistance systems–The case of ACC and FCW in a sample of Czech drivers. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 65, 576-583.
- Villame, T. (2004). Conception de systèmes d'assistance au conducteur : comment prendre en compte le caractère complexe, dynamique et situé de la conduite automobile ? *Activités*, 1(2), 147-169.
- Visser, W. (2009). La conception : de la résolution de problèmes à la construction de représentations. *Le Travail Humain*, 72, 61-78.
- Vivet, M. (1991). Usage des tuteurs intelligents: prise en compte du contexte, rôle du maître. *2ème Journées EIAO*, (pp. 239–246). Cachan.
- Vollrath, M., Schleicher, S., & Gelau, C. (2011). The influence of Cruise Control and Adaptive Cruise Control on driving behaviour – A driving simulator study. *Accident Analysis and Prevention*, 43(3), 1134–1139.
- Vom Hofe, A. (2000). Interactions homme-système, perspectives et recherches psychologiques. *Revue d'intelligence artificielle*, 14(1-2).
- Vygotski, L. S. (1934/1997). *Pensée et langage*. Paris: La Dispute.
- Vygotsky, L. (1934). *Pensée et Langage* (1998 ed.). Paris: La Dispute.

Bibliographie

- Wartofsky, M. W. (1983). From genetic epistemology to historical epistemology: Kant, Marx, and Piaget. In L. S. Liben, *Piaget and the foundations of knowledge* (pp. 1-17). New York and London: Psychology Press.
- Waytz, A., Heafner, J., & Epley, N. (2014). The mind in the machine: Anthropomorphism increases trust in an autonomous vehicle. *Journal of Experimental Social Psychology, 52*, 113-117.
- Weill-Fassina, A., Rabardel, P., & Dubois, D. (1993). *Représentations pour l'action*. Toulouse: Octarès.
- Weinberger, M., Winner, H., & Bubb, H. (2001). Adaptive cruise control field operational test—the learning phase. *JSAE review, 22*(4), 487-494.
- Wiener, E. L. (1981). Complacency: Is the term useful for air safety. *26th corporate aviation safety seminar, 117*, pp. 116-125. Denver.
- Wilson, K. M., Yang, S., Roady, T., Kuo, J., & Lenné, M. G. (2020). Driver trust & mode confusion in an on-road study of level-2 automated vehicle technology. *Safety Science, 130*, 104845.
- Wilson, R. J., Meckle, W., Wiggins, S., & Cooper, P. J. (2006). Young driver risk in relation to parents' retrospective driving record. *Journal of Safety Research, 37*(4), 325-332.
- Winkler, S., Kazazi, J., & Vollrath, M. (2018). How to warn drivers in various safety-critical situations—Different strategies, different reactions. *Accident Analysis & Prevention, 117*, 410-426.
- Xiong, H., Boyle, L. N., Moeckli, J., Dow, B. R., & Brown, T. L. (2012). Use patterns among early adopters of adaptive cruise control. *Human factors, 722-733*.
- Young, M. (2012). Ergonomics issues with advanced driver assistance systems (ADAS). *Automotive Ergonomics, 810*, 55-76.
- Zahabi, M., Razak, A. M., Shortz, A. E., Mehta, R. K., & Manser, M. (2020). Evaluating advanced driver-assistance system trainings using driver performance, attention allocation, and neural efficiency measures. *Applied ergonomics, 84*, 103036.
- Zanarelli, C. (2003). *Caractérisation des stratégies instrumentales de gestion d'environnements dynamiques : Analyse de l'activité de régulation du métro*. Paris: Université Paris 8.
- Zeeb, K., Buchner, A., & Schrauf, M. (2015). What determines the take-over time? An integrated model approach of driver take-over after automated driving. *Accident analysis & prevention, 78*, 212-221.
- Zeeb, K., Buchner, A., & Schrauf, M. (2016). Is take-over time all that matters? The impact of visual-cognitive load on driver take-over quality after conditionally automated driving. *Accident Analysis and Prevention, 92*, 230-239.
- Zhang, B., de Winter, J., Varotto, S., Happee, R., & Martens, M. (2019). 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.

Annexes

Annexe 1

Connaissances minimales à posséder par chaque apprenant avant de conduire un véhicule partiellement autonome/niveau 2 (Casner & Hutchins, 2019 ; traduction libre) :

(1) Connaissances sur l'automatisation

- Les fonctions d'automatisation offertes par la voiture.
- Les aspects de la tâche de conduite qui sont assumés ou assistés par chaque fonction de l'automatisation.
- Les fonctions d'automatisation qui peuvent être activées et désactivées par le conducteur.
- Les fonctions d'automatisation qui sont activées ou désactivées par le système de la voiture (si applicable).
- Savoir montrer au conducteur quelles fonctions sont actives à un moment donné.
- Les caméras et capteurs dont dépendent les fonctions d'automatisation.
- Montrer comment les caméras et capteurs peuvent être rendus inopérants.
- L'importance d'inspecter visuellement le matériel avant de conduire.
- Montrer comment reconnaître une caméra ou un capteur inopérant.
- Chaque fonction d'automatisation présente des situations dans lesquelles elle ne fonctionnera pas ou cessera de fonctionner : certaines situations sont répertoriées dans le manuel du conducteur et certaines sont inconnues même des ingénieurs qui ont conçu le système (ex : dysfonction, panne...).
- Le comportement de la voiture peut changer avec une mise à jour du logiciel.

(2) Connaissances sur les conducteurs

- Les détails sur la voiture sont facilement oubliés ou mal mémorisés : même s'ils sont au départ bien appris.
- Les humains ont tendance à surestimer leurs capacités à être attentifs et remarquer les événements inhabituels.
- Les pilotes et conducteurs expérimentés peuvent ne pas voir les choses qui se passent sous leurs yeux.
- La vigilance diminue rapidement (~ 15–20 min) à cause de la fatigue et des rêveries.

- Les humains sont mauvais à remarquer des changements dans une scène/situation, après avoir détourné les yeux pendant quelques secondes.
- La vigilance a tendance à diminuer lorsque nous déléguons le contrôle à un système automatisé.
- La somnolence peut apparaître lorsque le contrôle est délégué à l'automatisation.
- Lorsqu'un système d'alerte est disponible pour détecter et signaler des menaces, même les humains les mieux entraînés ont tendance à se fier au système d'alerte et à accorder moins d'attention à la situation qui se déroule dans l'environnement.
- Les pilotes et les conducteurs ont tendance à surestimer leur capacité à prendre le contrôle et à répondre aux événements sortant de l'ordinaire.
- Lorsque des problèmes apparaissent, l'attention peut être déficitaire, les alternatives négligées, les réactions retardées et du temps est perdu. Ce sont tous des traits essentiellement humains. Nous ne sommes pas des robots.

(3) La tâche de conduite

- La voiture ne peut pas conduire elle-même dans toutes les situations et/ou pour n'importe quelle durée que ce soit.
- Le conducteur sera probablement tenu responsable de tout ce qui se passe.
- Les fonctions automatisées sont des outils disponibles à votre service, c'est vous qui décidez si vous voulez les utiliser ou non.
- Les fonctions automatisées ne doivent pas être utilisées parce qu'elles existent, ou en raison de leur coût.
- Il est utile de décider des bons et des mauvais moments pour utiliser l'automatisation et ce avant de monter dans la voiture.

Annexe 2

Liste des 19 items de connaissances clés pour favoriser la prise en main d'un véhicule automatisé (Le Bellu, in prep.) :

Pre-drive Information / Knowledge Category	Learning item	Example of learning objective
1. General and functional description of the system	1.1. Know about the nature of the AD system	Description of the automation levels
	1.2. Know about the scope of use of the AD system	Description of the Operational Design Domain (ODD): nominal and limits
	1.3. Know and understand the roles of the driver and the AD system	Who does (or does not) what? When?
	1.4. Know and understand the differences between the AD/MD modes	Vehicle behavior and dynamics, centering, steering wheel rigidity, etc.
2. (De)Activation of the AD system (Knowledge of the means of action)	2.1. Know the commands for activation/deactivation of AD mode	Commands used for activation/deactivation of the AD
	2.2. Know the conditions and procedures of AD activation	Procedures and contextual recommendations for activation
	2.3. Know the conditions and procedures of AD deactivation (takeover)	Different types, times, and reasons of takeover requests
3. Behavior of the automated vehicle in autonomous driving (better understanding and anticipation from the driver)	3.1. Know the capacity perimeter of the AV system to anticipate situations (traffic, events, etc.)	The capacity of anticipation of the AV is lower than the human driver's one (e.g., anticipation of an overtaking in AD mode with dense surrounding traffic could be experienced as too short by the driver).
	3.2. Understand the "driving style" of the AD system	Strict compliance with the highway code (safety distances, speed, etc.)
	3.3. Understand a Minimal Risk Maneuver (MRM) - safety maneuver	Roles of the driver/system in case of MRM
4. Driving HMI and system of driver monitoring	4.1. Understand the Situational Awareness (SA) view HMI³³	Description and explanations of the information available in the SA view HMI
	4.2. Understand the multimodal HMI	LEDs, steering wheel, Head-Up Display, etc.
5. Scope of use of the system	5.1. Know the conditions of use	cf. items 1 & 2
	5.2. Know the scope of life-on-board	Type of life-on-board tasks which are authorized during the AD periods, according to the level of delegation of my vehicle
	5.3. Know the limits of the system	Cf. 1.2.
6. Regulations and safety	6.1. Understand the regulations	Rules of the road specific to the AV
	6.2. Know the safety conditions	Always be receptive, adopt an adequate posture, do not wear headphones, any other misuse, etc.
	6.3. Know and understand the responsibilities	Legal responsibilities in case of an incident/accident in AD mode
7. Living situations specific to the AV	7.1. Recognize and know how to manage remarkable situations	To experience a sample of nominal, limits, and critical situations before using an AV

³³ HMI of the dashboard providing a contextual view of the AV's movements and intents on the road

Annexe 3

Grille d'évaluation pour la formation des superviseurs / pilotes experts de la conduite automatisée chez Renault :

FEUILLE D'ÉVALUATION SUPERVISEUR Autonomous Drive RENAULT					
DATE :		LIEU :		EXAMINATEUR :	
NOM :		PRENOM :		MATRICULE :	
TYPE DU VEHICULE :					
LIEU	N°	OBJECTIFS	ACQUIS	POINTS	
A I R E D É V O L U T I O N	1	Savoir mettre en fonction et étalonner le système de doubles commandes		+1	
	2	Déplacer le véhicule, sans trajectoire définie, en utilisant les doubles commandes		+1	
	3	Effectuer le tour d'un cercle bordé par une ligne blanche (35m) et une ligne jaune (40m), en restant centré entre les lignes, dans le sens anti-horaire		+1	
	4	Effectuer le tour d'un cercle bordé par une ligne blanche (35m) et une ligne jaune (40m), en restant centré entre les lignes, dans le sens horaire		+1	
	5	Effectuer le tour d'un cercle bordé par une ligne blanche (35m) et une ligne jaune (40m), en longeant la ligne de droite, dans le sens horaire		+1	
	6	Effectuer le tour d'un cercle bordé par une ligne blanche (35m) et une ligne jaune (40m), en longeant la ligne de gauche, dans le sens horaire		+2	
	7	Effectuer le tour d'un cercle d'environ 30m, en suivant la ligne que l'on maintiendra au centre de la voiture, dans le sens horaire		+1	
	8	Effectuer le tour d'un cercle d'environ 30m, en suivant la ligne que l'on maintiendra au centre de la voiture, dans le sens anti-horaire		+2	
	9	Longer une ligne composée de plusieurs courbes à droite et à gauche, en maintenant le bord gauche du véhicule proche de la ligne et à une allure adaptée		+3	
	10	L'examineur, au poste de conduite, effectue le parcours n°9 en créant des erreurs de trajectoire que le superviseur doit corriger		+4	
	11	Effectuer un slalom entre 6 cônes espacés de 20m à 30km/h, sans les toucher		+3	
	12	Effectuer un slalom entre 6 cônes espacés de 20m à 50km/h, sans les toucher		+4	
	13	L'examineur, au poste de conduite, effectue le parcours n°9 en créant des erreurs de trajectoire et d'allure que le superviseur doit corriger		+6	
	14	L'examineur, au poste de conduite, effectue le slalom n°11, en créant une erreur de trajectoire que le superviseur doit corriger		+5	
	15	L'examineur, au poste de conduite, effectue le slalom n°12, en créant une erreur de trajectoire que le superviseur doit corriger		+5	
	V I L L E	16	L'examineur s'élançait à 50km/h, en direction d'un couloir de cônes de 20m de long, fermé par un cône. Le superviseur intervient en freinant si l'examineur n'a pas freiné avant le début du couloir de cône et/ou si le freinage appliqué ne suffit pas à stopper le véhicule avant l'obstacle		+6
		17	L'examineur s'élançait à 70km/h, en direction d'un couloir de cônes de 20m de long, fermé par un cône et comportant un échappatoire permettant d'effectuer un évitement. Le superviseur intervient en freinant si l'examineur n'a pas freiné avant le début du couloir de cône et/ou en corrigeant la trajectoire si le véhicule n'évite pas l'obstacle		+6
18		A la demande de l'examineur, le superviseur utilise l'avertisseur sonore		+1	
19		Durant le parcours, le superviseur effectuera 2 marche arrières pour sortir des zones de stationnements		+2	
20		Effectuer un parcours en mi-piste, sans sortir de sa voie, y compris en virage, en respectant l'ensemble des règles du code de la route		+4	
R O U T I È R E	21	Durant le parcours, le superviseur effectue l'ensemble des contrôles rétroviseurs et angle-mort nécessaires à la sécurité		+3	
	22	Durant le parcours, le superviseur utilise les clignotants à bon escient		+3	
	23	S'insérer et sortir du "Synthèse Confort" puis se stationner en toute sécurité sur un parking défini		+2	
	24	Effectuer un tour du "Synthèse Confort" en respectant la trajectoire de la voie préconisée par l'examineur		+4	
	25	Effectuer un tour du "Route Nationale" en corrigeant les erreurs de trajectoire réalisées par l'examineur		+5	
	26	Effectuer un tour du "Route Nationale" en corrigeant les erreurs de trajectoire, et d'allure, réalisées par l'examineur		+6	
A13 (Autoroute)	27	Effectuer l'aller du parcours de démonstration BVC, en toute sécurité, en corrigeant les éventuelles erreurs de système de conduite autonome (AD) (Hors péage)		+7	
	28	Effectuer l'aller du parcours de démonstration BVC, en toute sécurité, en corrigeant les éventuelles erreurs de système de conduite autonome (AD) (Hors péage)		+7	
BONUS	29	Pertinence des interventions du superviseur		+4	
Sera validé "superviseur" le candidat qui obtiendra 90/100 points				100	
Commentaires :					

Annexe 4

Guide d'entretien exploratoire de l'étape 1 de la démarche de recherche déroulée auprès des pilotes experts en conduite automatisée dans l'entreprise :

Identité :

Nom/Prénom :

Age :

Sexe : H / F

N° de permis de conduite :

Adresse postale du domicile :

Année permis :

Fréquence de conduite :

- Ts les jrs
- Pls x/sem.
- Pls x/mois
- Jamais

Connaissance des ADAS :

- Ts les jrs
- Pls x/sem.
- Pls x/mois
- Jamais

Poste occupé aujourd'hui : Chef de projet innovation sur le VA

Depuis quand travaillez-vous sur le projet VA ?

En quoi consiste votre rôle ?

Nombres d'heures de roulage du VA : heures // dans des situations particulières ?

Nombres de kilomètres de roulage du VA : km // dans des situations particulières ?

Formation reçue pour prendre en main le VA

Avez-vous reçu une formation qualifiante au VA ?

Si oui, à quel moment par rapport à votre expérience de conduite du VA ?

Quel type de formation avez-vous reçu pour être capable de conduire le VA ? (contenu, temps passé, format...)

Nombre d'heures de roulage pendant la formation ?

Use cases testés ?

Pertinence de cette formation ? comment l'ont-ils perçu et vécu ?

Complétude et cohérence entre le contenu de la formation et la réalité de conduite ?

Expertise de conduite du VA

Situations ou cas (use cases) particulièrement marquantes vécues au fur et à mesure de leur expérience ?

Quelles sont les difficultés que vous avez pu rencontrées au début ?
Et au contraire, qu'est ce qui a été plutôt facile ?

Par quel type de temps ? Cas limites au niveau météo ?

Fonctionnement et limites du systèmes ?

Comportement du véhicule : comment ils le comprennent

Situations ou cas (use cases) nécessitant une attention spécifique ?

Expérience d'accompagnement de novices

<i>iliAD</i>	<i>Symbioz</i>
<p><i>Pas d'extrait vidéo d'accompagnement.</i></p> <p>Avez-vous été amené à être co-pilote de conducteurs novices du VA ? Si oui, comment cela s'est-il passé ?</p> <p>Situations ou cas (use cases) particulièrement marquantes vécues en situation d'accompagnement ?</p> <p>Y a-t-il des conseils, bonnes pratiques, astuces donneriez-vous à un conducteur débutant ?</p>	<p><i>Leur montrer des extraits vidéos des essais Symbioz sur lesquels on souhaite revenir :</i></p> <p>⇒ <i>Nécessite d'avoir analysé les vidéos (N=6) pour détecter les indicateurs de difficulté en situation réelle, à partir des interventions des superviseurs...</i></p> <p>Y a-t-il des conseils, bonnes pratiques, astuces donneriez-vous à un conducteur débutant ?</p> <p>Situations ou cas (use cases) particulièrement marquantes vécus en situation d'accompagnement ?</p> <p>Situations ou cas (use cases) de situations d'accompagnement nécessitant une attention spécifique ?</p>

Orienté didacticiel

En quoi les didacticiels/aides à la prise en main des ADAS ou véhicules existants ou à imaginer peuvent-ils aider à prendre en main les véhicules autonomes de demain ?

Annexe 5

Guide d'entretien d'auto-confrontation de l'étude auprès des conducteurs lambda novices en conduite automatisée :

Le sujet choisit de quoi il veut parler en 1er, qui a pu se passer sur piste.

Si intuition que qqch s'est passé sur piste a pu influencer sur expérience autoroute, alors creuser.

A étudier en priorité :

Par quoi le sujet a perçu état système et son confort psychologique :

Etudier les activations-désactivations. Etudier systématiquement les étapes suivantes :

- Etat Available (comment a-t-il perçu que la CA était disponible)
- Action du sujet avec confort associé : Activation (action, séquence, facilité, maniabilité,...)
- Changement d'état : Switch MD-AD (comment il a perçu la bascule de mode)
- Etat TOR (comment a-t-il perçu que le TOR était engagé ou ce qui lui a fait reprendre la main)
- Action du sujet (comment) avec confort associé : Désactivation (y a-t-il eu interférence avec NDRT (non-driving related task) ? confort psychologique i.e. le conducteur a-t-il pu faire face ?) description de la reconstruction de la conscience de la situation (SA) lors de la reprise en main, notamment la cause de TOR : où le conducteur prend-il des info ? (exemple : retro). identification des éléments de contexte qui sont ou auraient dû être perçus
- Changement d'état : Switch AD-MD

Cas où le sujet reprend la main de lui-même.

Cas où le sujet a été inquiet et se demandait s'il ne reprendrait pas la main.

Vécu en AD : stressé ? lâcher prise ? NDRT (ennui, téléphone, endormissement) ? a-t-il besoin de surveiller la scène et si oui pour savoir quoi (compréhension / utilisation de la SA view) ?

IHM (visuelle cluster dont changement couleur, sonore non-vocal et vocal, direction) :

Couleur perçue comme attribut du mode ? y a-t-il des moments où prise d'info « AD ou pas », si oui quelle info cherchée ?

S'est senti correctement guidé par l'IHM dans les phases de transition ? un effet de surcharge sensorielle et/ou cognitive est-il présent, lié à l'IHM ?

Situations de confusion de mode : y en a-t-il eu ? détailler comment elle a été levée.

Confiance (questionnée avant formation (questionnaire pré test), après formation théorique + pratique, après roulage (questionnaire post test)) : a-t-elle évolué au fil du test ? Comment ?

A étudier si le temps le permet :

Représentation du système : est-elle dans le questionnaire pré test ? SL Représentation des rôles respectifs système – conducteur, a-t-il compris qu'il pouvait reprendre à tout moment, périmètre d'usage du système.

l'usage, au fil des TOR, avance-t-il le moment de reconstruction de la SA dans la séquence de reprise en main ? impact de l'IHM sur cette modification de stratégie

Intéressant de questionner sur lane change : 2s suffisamment tôt ? rôle du clignotant ?

Revenir sur misuse

Intéressant d'avoir retour sur freinage sur véh devant plus lent : Prestation trouve trop fort, Julien trouve OK parce temporellement correct et pas trop fort

Annexe 6

Développement des scénarios de simulation de conduite automatisée :

- Présentation du scénario et des spécifications au prestataire
- 1^{er} *sprint* (1 ou 2 semaines) : Développement de la zone 1 par le prestataire
- Déploiement de la zone 1 sur le simulateur et tests :
 - Prestataire : déploiement et présentation de la zone développée
 - Nous : 1 ou 2 jours de tests intensifs en effectuant des roulages répétitifs sur le simulateur pour rejouer le plus de fois possible le bout de scénario développé en adoptant des comportements différents à chaque fois (différentes actions, erreurs volontaires, test des limites, etc.)

→ Identification d'erreur ou de bugs nécessitant des corrections et/ou améliorations
- 2^{ème} *sprint* : Correction et amélioration de la zone 1, et développement de la zone 2 par le prestataire
- Et ainsi de suite pour l'ensemble des zones du scénario...
- Déploiement du scénario complet sur le simulateur et tests : 1 semaine intensive à rejouer l'ensemble du scénario en adoptant la même méthodologie de test que pour chaque zone
- Validation du scénario complet

Annexe 7

Briefing réalisé après la phase de formation et avant la phase de conduite en simulateur auprès des participants de l'expérimentation d'évaluation du didacticiel « AUTO-DIDACT' » :

Briefing (avant la conduite)

« Ce simulateur va vous permettre d'avoir une (première) expérience de conduite automatisée.

Vous allez commencer en conduite manuelle classique et lorsque le système vous proposera de passer en mode automatisé, vous pourrez l'activer.

***Groupe 1 :** Pouvez-vous me rappeler quelles sont les commandes qui permettent d'activer la conduite automatisée ? Et concernant la désactivation, quelles sont les commandes possibles ?*

***Groupe 2 :** En termes de commandes, vous avez les 2 boutons sur le volant qui permettent d'activer et désactiver le mode automatisé. Pour désactiver, vous pouvez aussi utiliser les pédales, accélérateur ou frein, ou tourner le volant avec suffisamment de force pour être pris en compte.*

Lorsque le mode automatisé est activé, vous pouvez vaquer à d'autres occupations. »

Soumettre Questionnaire 1.

« On n'attend pas de performances de conduite, mais plutôt vos retours sur les différents écrans, les messages, les commandes, etc... Mais aussi et surtout vos réactions vis-à-vis des situations que vous allez expérimenter.

C'est pourquoi, nous vous demandons de verbaliser à voix haute vos perceptions, vos ressentis (surprise, frayeurs, bien être, gênes...), ainsi que vos réflexions et tout ce qui vous passe par la tête.

Je vous propose maintenant de démarrer.

Pour ça, appuyez sur le bouton Start/Stop et accélérez.

Il s'agit d'une boîte automatique donc pas besoin de passer les rapports de vitesse. »

Annexe 8

Feuille de consentement éclairé à signer par les participants de l'expérimentation d'évaluation du didacticiel « AUTO-DIDACT' » pour nous autoriser à recueillir leurs données :

GROUPE RENAULT

Direction de la Recherche
1 avenue du Golf
78084 Guyancourt



Consentement

Je, soussigné(e), accepte librement et volontairement de participer à l'étude « Test de conduite automatisée sur simulateur » réalisée par la Direction de l'Ingénierie du GROUPE RENAULT.

- J'ai compris que je suis libre d'accepter ou de refuser de participer à cette étude. Je peux demander l'arrêt de ma participation à tout moment sans avoir à me justifier ni encourir aucune conséquence.
- J'ai lu et compris la note d'information sur la protection des données personnelles qui m'a été remise.
- J'ai compris que l'étude à laquelle je participe entre dans le cadre d'un projet de recherche Renault nommé AD Learning dont l'objectif est d'évaluer les usages et besoins d'apprentissage d'un véhicule automatisé.

Le GROUPE RENAULT m'a informé des modalités de l'étude suivantes :

Je vais être mis en situation de conduite dans un simulateur de véhicule hautement automatisé sur un parcours d'environ 20 minutes. Le système détecte les sections de routes compatibles et me proposera d'activer la conduite automatisée.

Deux parcours seront effectués, la deuxième session intervenant environ 1 à 3 jours après la première.

LE GROUPE RENAULT recueille des données sur le simulateur pendant les roulages en mode manuel et en mode automatisé. Un entretien sera réalisé à l'issue de chaque session, et des questionnaires me seront proposés avant, au cours, et à la fin des sessions de l'étude. Enfin, je serai filmé pendant les roulages avec 3 caméras (face, mains sur le volant, cave à pieds).

Toutes les données personnelles recueillies seront ~~pseudonymisées~~ pendant 4 ans puis ~~anonymisées~~.

- Je suis détenteur d'un permis de conduire valide et je m'engage à respecter les règles du code de la route.
- J'ai été informé que je suis filmé pendant les roulages et je consens à ce que ces films servent à analyser mon comportement au volant par les partenaires de l'étude, à l'exclusion de tout autre usage, notamment commercial.
- Je confirme être en état de participer à cette étude, notamment que ma condition physique et mentale n'est pas altérée par la fatigue, la prise d'alcool, de stupéfiant ou de médicament non compatible avec la participation à cette étude.

Les prénom et nom de l'expérimentateur, responsable de l'étude sont :

Hugo Cusanno
Doctorant en Sciences de l'éducation / Ergonomie cognitive
Direction de l'Ingénierie, GROUPE RENAULT, 78280 Guyancourt

Fait à Guyancourt, le

Signature du participant :

Signature de l'expérimentateur :

Annexe 9

Questionnaire administré avant l'expérimentation (pré-test), après la phase de formation (Q1) et après la session de conduite (Q2) lors de l'expérimentation d'évaluation du didacticiel « AUTO-DIDACT' » :

Décrivez en quelques mots ce qu'est un véhicule automatisé, ce dont il est capable ou pas (votre définition personnelle).

.....

.....

.....

Quels sont les risques que vous associeriez à l'utilisation d'une voiture automatisée ?

Le risque de conduire plus dangereusement	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> pas du tout tout à fait
Le risque de ne pas savoir utiliser le système	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> pas du tout tout à fait
Le risque d'accident avec le véhicule de devant	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> pas du tout tout à fait
Le risque d'accident avec le véhicule de derrière	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> pas du tout tout à fait
Le risque d'être dépendant du système	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> pas du tout tout à fait
Le risque de perdre le plaisir de la conduite	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> pas du tout tout à fait

Quels sont les bénéfices que vous retireriez de l'utilisation d'une voiture automatisée ?

Une conduite moins stressante	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> pas du tout tout à fait
L'allègement de la tâche de conduite (la voiture automatisée me permettrait de réaliser une activité secondaire comme lire ou utiliser mon téléphone)	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> pas du tout tout à fait
La facilitation de la tâche de conduite	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> pas du tout tout à fait
Une amélioration du confort de conduite	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> pas du tout tout à fait
Une conduite plus sécurisée	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> pas du tout tout à fait

Annexes

D'après vous, quelles sont les technologies qui régissent le fonctionnement de la conduite automatisée ?
(Plusieurs réponses possibles)

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> GPS | <input type="checkbox"/> Lidar (capteurs laser) |
| <input type="checkbox"/> Sonar | <input type="checkbox"/> Clé USB |
| <input type="checkbox"/> Réalité Augmentée | <input type="checkbox"/> Algorithme / Intelligence Artificielle |
| <input type="checkbox"/> Fibre internet | <input type="checkbox"/> Bluetooth |
| <input type="checkbox"/> Caméra | <input type="checkbox"/> Radar |

Selon vous, comment active-t-on le mode automatisé dans ce type de véhicule ?

.....
.....
.....

A l'inverse, comment désactive-t-on le mode automatisé ?

.....
.....
.....

Selon vous, lorsque le mode automatisé est activé, le conducteur doit : (Plusieurs réponses possibles)

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Surveiller la route | <input type="checkbox"/> Rester concentré sur l'interface du tableau de bord |
| <input type="checkbox"/> Être en mesure d'atteindre les commandes de conduite | <input type="checkbox"/> Garder une posture compatible avec la conduite |
| <input type="checkbox"/> Activer les warnings | <input type="checkbox"/> Lâcher les commandes de conduite |
| <input type="checkbox"/> Rester réceptif aux alertes de son véhicule | <input type="checkbox"/> Appuyer sur un bouton toutes les 30 secondes pour maintenir le mode automatisé activé |
| <input type="checkbox"/> Garder les mains sur le volant | <input type="checkbox"/> Garder sa ceinture de sécurité |

Selon vous, lorsque le mode automatisé est activé, le conducteur peut : (Plusieurs réponses possibles)

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Écouter la radio | <input type="checkbox"/> Utiliser son smartphone |
| <input type="checkbox"/> Changer de place | <input type="checkbox"/> Porter un casque audio |
| <input type="checkbox"/> Utiliser un casque de Réalité Virtuelle | <input type="checkbox"/> Lire un livre |
| <input type="checkbox"/> Prendre un bébé dans les bras | <input type="checkbox"/> Jouer à un jeu vidéo sur une console portable |
| <input type="checkbox"/> Dormir / Faire une sieste | <input type="checkbox"/> Regarder un film |

Selon vous, dans quelles conditions la conduite automatisée est disponible ? (Plusieurs réponses possibles)

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Sur les routes de campagne | <input type="checkbox"/> Route en bon état |
| <input type="checkbox"/> Sous la neige | <input type="checkbox"/> Par temps très nuageux |
| <input type="checkbox"/> Sur autoroute / voie rapide | <input type="checkbox"/> En ville |
| <input type="checkbox"/> Lignes blanches effacées | <input type="checkbox"/> Sortie d'autoroute / Échangeur |
| <input type="checkbox"/> Forte pluie | <input type="checkbox"/> Zone de travaux |

Annexe 10

Grille d'observation de la phase d'exploration du didacticiel « AUTO-DIDACT' » lors de l'expérimentation d'évaluation de ce dernier :

Didacticiel	Exploration	Compréhension	Réaction	Erreurs	Hésitations	Temps	Verbatims	Autres observations sur le comportement
Page de connexion								
Module "Mes premiers pas"	<ul style="list-style-type: none"> - Activation - Changement de voie - Véhicule d'urgence - Trafic dense - Voie d'insertion - Zone de travaux - Désactivation 							
Module "Présentation générale"	<ul style="list-style-type: none"> - Chapitre 1 - Chapitre 2 - Chapitre 3 - Chapitre 4 - Chapitre 5 - Chapitre 6 							
Module "Guide interactif"	<ul style="list-style-type: none"> - Chapitre 1 - Chapitre 2 - Chapitre 3 - Chapitre 4 - Chapitre 5 - Chapitre 6 - Mini-Quiz 							
Module "Situations type"	<ul style="list-style-type: none"> - Section 1 - Section 2 - Section 3 - Section 4 							
Module "Simulation embarquée"	<ul style="list-style-type: none"> - Scénario 1 - Scénario 2 - Scénario 3 - Scénario 4 							
Paramètres et assistant vocal								

Annexe 11

Grille d'observation de la phase de conduite lors de l'expérimentation d'évaluation du didacticiel « AUTO-DIDACT' » (exemple pour le Scénario A) :

SCENARIO A										
Use Case	Reste en MD	Active AD	Reste en AD	Désactive AD	Modalité de reprise en main	MRI	Temporalité de désactivation	Gestion de la situation	Verbatims	Autres observations sur le comportement
AD disponible en virage										
Ping-pong										
TOR 10 : Défaut capteur										
AD disponible en virage										
Embouteillage										
Changement de voie										
Dépassement de camions										
TOR 10 : Zone de travaux										
AD disponible en ligne droite										
Voie d'insertion										
Cut-in										
Traffic chaotique										
TOR 10 : Zone de travaux										
AD disponible en virage										
TOR 60 : véhicule proche derrière										
Autre :										
Autre :										
Autre :										

Annexe 12

Partie complémentaire du questionnaire Q2 administré après la session de conduite lors de l'expérimentation d'évaluation du didacticiel « AUTO-DIDACT' » :

Globalement, êtes-vous satisfait des informations que vous avez reçues ?

- Pas du tout satisfait
- Peu satisfait
- Assez satisfait
- Très satisfait

Vous diriez que les informations que vous avez reçues étaient...

- Pas du tout utiles
- Peu utiles
- Assez utiles
- Très utiles

Parmi les informations que vous avez reçues, lesquelles ont été les plus importantes pour vous ? Pour quelles raisons ?

.....

.....

.....

Au contraire, quelles informations vous ont parues inutiles ou superflues ? Pour quelles raisons ?

.....

.....

.....

Enfin, quelles sont les informations qui vous ont manqué ? Pour quelles raisons ?

.....

.....

.....

Que signifie cette interface ? (Une seule réponse possible)

- Demande de reprise en main anticipée
- Manœuvre de refuge automatique
- Conduite automatisée bientôt disponible
- Demande de reprise en main rapide
- Conduite automatisée activée



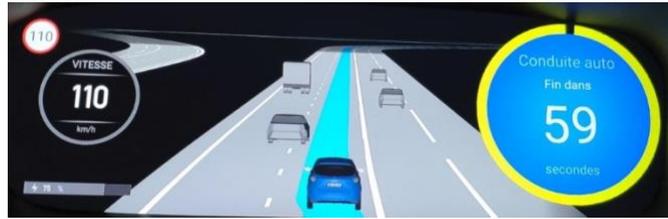
Que signifie cette interface ? (Une seule réponse possible)

- Conduite automatisée disponible
- Manœuvre de refuge automatique
- Conduite automatisée bientôt disponible
- Demande de reprise en main rapide
- Conduite automatisée activée



Que signifie cette interface ? (Une seule réponse possible)

- Demande de reprise en main anticipée
- Manœuvre de refuge automatique
- Conduite automatisée bientôt disponible
- Demande de reprise en main rapide
- Conduite automatisée disponible



Que signifie cette interface ? (Une seule réponse possible)

- Demande de reprise en main anticipée
- Conduite automatisée disponible
- Conduite automatisée activée
- Demande de reprise en main rapide
- Conduite automatisée bientôt disponible



Que signifie cette interface ? (Une seule réponse possible)

- Demande de reprise en main anticipée
- Conduite automatisée disponible
- Demande de reprise en main rapide
- Manœuvre de refuge automatique
- Conduite automatisée bientôt disponible



Annexe 13

Guide d'entretien de l'expérimentation d'évaluation du didacticiel « AUTO-DIDACT' » :

GUIDE D'ENTRETIEN

Expérience générale :

- Comment avez-vous vécu cette expérience ?
- Est-ce que quelque chose en particulier vous a marqué ? Pour quelles raisons ?
- **2^{ème} Session uniquement** : De manière générale, vous êtes-vous senti mieux préparé lors de cette seconde visite, comparé à la première ?

Seulement pour le Groupe 1 (avec didacticiel).

Didacticiel :

- De manière générale, comment avez-vous perçu l'accompagnement offert par le didacticiel ?
- Selon vous, quelle a été son utilité lors de la réalisation du scénario ?
- Avez-vous rencontré des difficultés lors de l'utilisation du didacticiel ? Lesquelles ? Pour quelles raisons ?
- Quelles modules avez-vous exploré ? Qu'avez-vous pensé de ces modules ?
- Selon vous, qu'apporte chacun des modules que vous avez explorés pour la prise en main du véhicule automatisé ?
- Selon vous, ce type de dispositif est-il pertinent pour accompagner les futurs conducteurs de véhicule automatisé ? pour quelles raisons ?
- Dans quelle mesure seriez-vous prêt(e) à utiliser ce type de dispositif après l'acquisition d'un nouveau véhicule disposant d'un mode de conduite automatisé ?

Prise en main du système (activation, désactivation, situations d'usage, etc.) :

- Comment s'est passée la prise en main du système ?
- **2^{ème} session uniquement** : Comment s'est passée la prise en main du système (compréhension des procédures, situations d'usage possibles, capacités et limites, etc.) comparé à votre première expérience ?
- Avez-vous rencontré les mêmes difficultés ? Lesquelles ? Pour quelles raisons ?

- Avez-vous eu des incompréhensions, surprises, gênes, vis-à-vis du fonctionnement du système, sa disponibilité, etc. ? Lesquelles ?
- Comment avez-vous réagi ?
- Dans quel but ? Ce but a-t-il été atteint ? Comment ?
- Qu'est-ce que vous avez ressenti à ce moment-là ?
- Cela a-t-il entamé votre confiance envers le système ? Pour quelles raisons ?

- Avez-vous eu des difficultés dans vos interactions avec le système, l'activation, la désactivation, etc. ? Lesquelles ?
- Comment avez-vous réagi ?
- Dans quel but ? Ce but a-t-il été atteint ? Comment ?
- Qu'est-ce que vous avez ressenti à ce moment-là ?

- Cela a-t-il entamé votre confiance envers le système ? Pour quelles raisons ?

Situations de conduite rencontrées :

- Avez-vous rencontré des situations de conduite marquantes ? Lesquelles ? Pour quelles raisons ?
- Avez-vous eu des incompréhension, surprises, gênes, vis-à-vis de certaines situations de conduite ?
- Comment avez-vous réagi ?
- Dans quel but ? Ce but a-t-il été atteint ? Comment ?
- Qu'est-ce que vous avez ressenti à ce moment-là ?
- **2^{ème} session uniquement** : Avez-vous rencontré des situations de conduite similaires à votre premier passage ? Lesquelles ?
- Comment les avez-vous identifiées et reconnues ? Les avez-vous anticipées ? Comment ?
- Les avez-vous gérées différemment cette fois-ci ? Comment ?

Style de conduite du véhicule automatisé :

- Selon vous, le style de conduite du véhicule automatisé était-il en accord avec vos attentes ? Pour quelles raisons ?
- Avez-vous eu des incompréhensions, surprises, gênes, vis-à-vis du style de conduite du véhicule automatisé ? Lesquelles ? Pour quelles raisons ?
- Comment avez-vous réagi ?
- Dans quel but ? Ce but a-t-il été atteint ? Comment ?
- Qu'est-ce que vous avez ressenti à ce moment-là ?
- Cela a-t-il entamé votre confiance envers le système ? Pour quelles raisons ?
- **2^{ème} session uniquement** : Comment avez-vous perçu le comportement du véhicule en mode automatisé comparé à votre première expérience ?
- Avez-vous reconnu des comportements de conduite marquants (incompréhensifs, surprenant, gênant) similaires à votre première expérience ?
- Comment les avez-vous identifiés et reconnus ? Les avez-vous anticipés ? Comment ?
- Les avez-vous gérées différemment cette fois-ci ? Comment ?

Annexe 14

Contenu pédagogique du didacticiel « AUTO-DIDACT' » relatif à la procédure d'activation de la conduite automatisée :

- Le conducteur doit respecter la vitesse réglementaire avant d'activer la conduite automatisée (Présentation générale, Guide interactif) :
 - Sinon à l'activation le véhicule automatisé peut réguler sa vitesse brusquement (Guide interactif).
- Le conducteur doit être centré dans la voie correspondant à sa destination avant d'activer la conduite automatisée (Présentation générale, Guide interactif) :
 - Sinon à l'activation le véhicule automatisé peut rebondir sur les lignes en cherchant à se recentrer (Guide interactif).
- Le conducteur doit respecter les distances de sécurité avant d'activer la conduite automatisée (Présentation générale, Guide interactif) :
 - Sinon à l'activation le véhicule automatisé peut freiner brusquement pour retrouver une distance de sécurité réglementaire (Guide interactif).
- Le conducteur doit appuyer simultanément sur les deux boutons situés sur le volant pour activer la conduite automatisée (Présentation générale, Guide interactif, Situations types) :
 - Sinon la conduite automatisée ne s'active pas (Guide interactif).
- Le conducteur doit activer la conduite automatisée au moment le plus opportun selon son jugement (Situations types).
- Le conducteur doit relâcher les commandes pour ne pas interférer avec le système après avoir activé la conduite automatisée (Présentation générale, Guide interactif) :
 - Sinon le véhicule automatisé peut l'interpréter comme une reprise en main et désactiver la conduite automatisée (Guide interactif).

Annexe 15

Contenu pédagogique du didacticiel « AUTO-DIDACT' » relatif à la procédure de désactivation de la conduite automatisée :

- Le véhicule peut alerter le conducteur pour une demande de reprise en main anticipée 60 secondes avant la fin de disponibilité de la conduite automatisée (Présentation générale, Guide interactif).
- Le véhicule peut alerter le conducteur pour une demande de reprise en main rapide 10 secondes avant la fin de disponibilité de la conduite automatisée (Présentation générale, Guide interactif).
- Le conducteur a la possibilité de désactiver la conduite automatisée et de reprendre la main à tout moment (Présentation générale, Guide interactif, Situations types).
- Le conducteur doit reprendre conscience de la situation et contrôler l'environnement avant de désactiver la conduite automatisée (Présentation générale, Guide interactif) :
 - Le conducteur doit vérifier les rétroviseurs avant de désactiver la conduite automatisée (Guide interactif).
- Le conducteur doit se remettre dans une posture de conduite adéquate avant de désactiver la conduite automatisée (Présentation générale, Guide interactif) :
 - Le conducteur doit être face à la route, avoir les mains sur le volant et le pied droit face aux pédales (Guide interactif).
- Le conducteur doit choisir la meilleure modalité de reprise en main en fonction du contexte : boutons, accélérateur, frein, volant (Présentation générale, Guide interactif, Situations types) :
 - Les boutons pour ne pas influencer la dynamique (Guide interactif, Situations types).
 - L'accélérateur, par exemple si un véhicule est trop proche derrière (Guide interactif, Situations types).
 - Le frein, par exemple si le trafic ralentit (Guide interactif, Situations types).
 - Le volant, par exemple pour changer de voie ou éviter un obstacle (Guide interactif, Situations types).
- Le conducteur doit désactiver au moment le plus opportun en fonction du contexte (Présentation générale, Guide interactif, Situations types) :
 - Avant ou après un virage, une voie d'insertion ou une sortie d'autoroute (Guide interactif, Situations types).
- Le véhicule effectue une manœuvre de refuge automatique en cas de non désactivation lors d'une demande de reprise en main (Présentation générale, Guide interactif, Situations types) :

- Le véhicule change de voie jusqu'à la bande d'arrêt d'urgence si possible, il ralentit et s'arrête (Guide interactif, Situations types).
- Le véhicule active les feux de détresses et alerte le conducteur via les interfaces (Situations types).

Annexe 16

Situations de la Classe B mentionnées dans le didacticiel « AUTO-DIDACT' » :

- **Embouteillage (exemple présenté dans le didacticiel) :** le conducteur peut laisser le véhicule gérer la situation, mais il a aussi la possibilité de gérer la situation manuellement en désactivant la conduite automatisée (Situations types).
- **Changement de voie automatisé (exemple présenté dans le didacticiel) :** le conducteur peut laisser le véhicule gérer la situation, mais il a aussi la possibilité de gérer la situation manuellement en désactivant la conduite automatisée (Situations types).
- **Dépassement automatisé d'un poids-lourd (exemple présenté dans le didacticiel) :** le conducteur peut laisser le véhicule gérer la situation, mais il a aussi la possibilité de gérer la situation manuellement en désactivant la conduite automatisée (Situations types).
- **Passage à côté d'un poids-lourd :** le véhicule automatisé reste centré dans sa voie et n'augmente pas la distance de sécurité latérale (Guide interactif).
- **Accélération :** le conducteur peut laisser le véhicule gérer la situation, mais il a aussi la possibilité de gérer la situation manuellement en désactivant la conduite automatisée (Situations types).
- **Ralentissement :** le conducteur peut laisser le véhicule gérer la situation, mais il a aussi la possibilité de gérer la situation manuellement en désactivant la conduite automatisée (Situations types).
- **Queue de poisson :** le conducteur peut laisser le véhicule gérer la situation, mais il a aussi la possibilité de gérer la situation manuellement en désactivant la conduite automatisée (Situations types).
- **Passage à hauteur d'une voie d'insertion ou sortie :** le conducteur peut laisser le véhicule gérer la situation, mais il a aussi la possibilité de gérer la situation manuellement en désactivant la conduite automatisée (Situations types).

Annexe 17

Situations de la Classe D mentionnées dans le didacticiel « AUTO-DIDACT' » :

- **Désactivation avec un véhicule proche derrière (exemple présenté dans le didacticiel)** : il est conseillé au conducteur de privilégier l'accélérateur pour désactiver la conduite automatisée (Guide interactif, Situations types)
 - Si le conducteur freine pour désactiver, cela peut surprendre le conducteur du véhicule suivant (Situations types).
- **Désactivation pour cause de travaux (exemple présenté dans le didacticiel)** : pour désactiver la conduite automatisée le conducteur doit privilégier le frein pour ralentir, le volant si besoin de changer de voie, ou les deux boutons du volant pour ne pas influencer la dynamique (Situations types).
- Désactivation avec un véhicule proche devant ou lors d'un ralentissement du trafic : le conducteur doit privilégier le frein pour désactiver la conduite automatisée (Guide interactif).
- Désactivation pour changer de voie ou éviter un obstacle : le conducteur doit privilégier le volant pour désactiver la conduite automatisée (Guide interactif).
- Désactivation dans un virage : le conducteur doit privilégier de désactiver la conduite automatisée avant ou après le virage (Guide interactif).
- Désactivation à hauteur d'une entrée ou d'une sortie d'autoroute : le conducteur doit privilégier de désactiver la conduite automatisée avant ou après l'entrée ou la sortie d'autoroute (Guide interactif).
- **Manœuvre de refuge automatique (exemple présenté dans le didacticiel)** : si le conducteur ne désactive pas la conduite automatisée dans le temps imparti lors d'une demande de reprise en main, le véhicule garantit sa protection en ralentissant, en changeant de voie jusqu'à la bande d'arrêt d'urgence si possible, et en s'arrêtant tout en activant les feux de détresse et en l'alertant via les interfaces : message au tableau de bord, signaux lumineux internes à l'habitacle, signaux sonores et messages vocaux (Situations types).

Annexe 18

Spécifications détaillées du Scénario A :

Zone 1 : Trafic fluide

- T0 : Début du scénario en mode manuel
Au démarrage le véhicule automatisé est sur une voie d'insertion et le conducteur doit s'insérer sur l'autoroute en mode manuel.
- T0 + 00:30 : Activation de la conduite automatisée
Le mode automatisé est disponible, le conducteur peut activer alors qu'il se trouve dans un virage (situation n°6).
- T0 + 01:45 : Mode automatisé
En sortie de courbe le véhicule automatisé cherche à se recentrer (situation n°11), provoquant un « ping-pong » entre les lignes (situation n°8).

Zone 2 : Trafic fluide

- T0 + 02:30 : Désactivation de la conduite automatisée
Le système demande une reprise en main rapide pour cause de défaillance d'un capteur (situation n°28), le conducteur doit donc désactiver la conduite automatisée en moins de 10 secondes.
- T0 + 03:45 : Activation de la conduite automatisée
Le mode automatisé est disponible, le conducteur peut activer alors qu'il se trouve dans un virage (situation n°6).

Zone 3 : Trafic dense

- T0 + 04:30 : Mode automatisé
Le véhicule automatisé freine brutalement en raison d'un ralentissement fort et soudain du trafic (situation n°13) pour cause d'embouteillage (situation n°9).
- T0 + 05:00 : Mode automatisé
Le véhicule effectue un changement de voie automatisé (situation n°10) et remonte la file par la voie de gauche en dépassant trois poids-lourds qui empiètent sur la ligne centrale (situation n°18).
- T0 + 05:45 : Mode automatisé
Le véhicule effectue un changement de voie automatisé pour se remettre sur la voie de droite (situation n°10).
- T0 + 06:30 : Désactivation de la conduite automatisée
Le système demande une reprise en main rapide pour cause de travaux sur la voie de droite (situation n°27), le conducteur doit donc désactiver la conduite automatisée en moins de 10 secondes.
- T0 + 07:35 : Activation de la conduite automatisée
Le mode automatisé est disponible, le conducteur peut activer alors que des véhicules sont proches devant et/ou derrière (situation n°3).

Zone 4 : Entrée d'autoroute, trafic dense et sortie d'autoroute

- T0 + 08:30 : Mode automatisé

Le véhicule automatisé passe à côté d'une entrée d'autoroute (situation n°17) avec plusieurs véhicules voulant s'insérer sur sa voie, dont un qui lui coupe la route (situation n°19).

- T0 + 09:45 : Mode automatisé
Le véhicule automatisé freine brutalement en raison d'un ralentissement fort et soudain du trafic (situation n°13) pour cause d'embouteillage (situation n°9).
- T0 + 10:30 : Mode automatisé
Le trafic devient chaotique (situation n°23), plusieurs véhicules profitent de la distance de sécurité du véhicule automatisé pour lui couper la route (situation n°19), ce qui le fait ralentir jusqu'au point de s'arrêter.
 - Option 1 : Le conducteur décide de reprendre la main de sa propre initiative et gère la situation de trafic chaotique manuellement.
 - Option 2 : Le conducteur laisse faire le véhicule automatisé et attend que la situation se débloque seule (au bout de 2 minutes).
- T0 + 13:00 : Désactivation de la conduite automatisée
Le système demande une reprise en main rapide pour cause de travaux (situation n°27) obligeant à sortir de l'autoroute, le conducteur doit donc désactiver la conduite automatisée en moins de 10 secondes alors qu'il se trouve à hauteur d'une sortie d'autoroute (situation n°31).

Zone 5 : Trafic fluide

- T0 + 14:00 : Mode manuel
Le conducteur doit s'insérer à nouveau sur l'autoroute en mode manuel.
- T0 + 14:15 : Activation de la conduite automatisée
Le mode automatisé est disponible, le conducteur peut activer alors qu'il se trouve dans un virage (situation n°6).
- T0 + 16:00 : Désactivation de la conduite automatisée
Le système demande une reprise en main anticipée pour cause de fin de zone de disponibilité de la conduite automatisée (échangeur), le conducteur doit donc désactiver en moins de 60 secondes alors qu'un véhicule est proche devant ou derrière (situation n°30).

T0 + 17:00 : Fin du scénario.

Annexe 19

Spécifications détaillées du Scénario B :

Zone 1 : Trafic dense et sortie d'autoroute

- T0 : Début du scénario en mode manuel
Au démarrage le véhicule automatisé est sur une voie d'insertion et le conducteur doit s'insérer sur l'autoroute en mode manuel.
- T0 + 01:00 : Activation de la conduite automatisée
Le mode automatisé est disponible, le conducteur peut activer alors qu'il arrive à hauteur d'une sortie d'autoroute (situation n°4) et que le véhicule de devant ralentit fortement pour prendre cette sortie (situation n°3).
- T0 + 01:45 : Mode automatisé
Le véhicule effectue un changement de voie automatisé car la voie de gauche est dégagée (situation n°10).
- T0 + 02:45 : Mode automatisé
Un véhicule de police avec gyrophare et sirène arrive derrière et souhaite passer sur la voie de gauche (situation n°24).
 - Option 1 : Le conducteur décide de reprendre la main de sa propre initiative et gérer la situation manuellement en laissant passer le véhicule de police.
 - Option 2 : Le conducteur laisse faire le véhicule automatisé et attend que la situation se débloque seule (au bout de 30 secondes le véhicule de police décide de dépasser par la voie de droite).

Zone 2 : Trafic dense

- T0 + 04:30 : Mode automatisé
Le véhicule automatisé freine brutalement en raison d'un ralentissement fort et soudain du trafic (situation n°13) pour cause d'embouteillage (situation n°9).
- T0 + 05:15 : Mode automatisé
Trois motos remontent l'inter-file en passant entre les véhicules (situation n°12).
- T0 + 06:00 : Mode automatisé
Fin de l'embouteillage, le trafic se fluidifie.

Zone 3 : Trafic fluide

- T0 + 08:25 : Mode automatisé
Apparition d'un brouillard léger (situation n°14).
- T0 + 09:15 : Désactivation de la conduite automatisée
Le brouillard se densifie fortement, le système demande donc une reprise en main rapide pour cause de météo défavorable (situation n°26), le conducteur doit désactiver la conduite automatisée en moins de 10 secondes.
- T0 + 10:30 : Activation de la conduite automatisée
Le brouillard s'estompe légèrement, le mode automatisé est à nouveau disponible, le conducteur peut activer alors qu'un poids lourd est en train de le dépasser sur la voie de gauche (situation n°7). Selon la vitesse en conduite manuelle, le poids-lourd peut arriver après l'activation (situation n°22).

Zone 4 : Trafic fluide

- T0 + 13:30 : Mode automatisé
Le véhicule automatisé arrive à hauteur d'un *lane-split* (la voie de droite se divise en deux voies), il suit la ligne blanche de droite et se retrouve donc sur la nouvelle voie la plus à droite (situation n°20).
- T0 + 14:00 : Mode automatisé
Un poids-lourd dépasse lentement le véhicule automatisé par la voie centrale (situation n°22).
- T0 + 14:30 : Mode automatisé
Le véhicule arrive à hauteur d'un *lane-merge* (la voie de droite et la voie centrale fusionne en une seule voie), il suit toujours la ligne blanche de droite et se retrouve à nouveau sur la voie de droite initiale (situation n°20).
- T0 + 15:45 : Mode automatisé
Après le *lane-merge*, le véhicule automatisé se retrouve derrière le poids-lourd qui vient de le dépasser, il est contraint de le suivre à basse vitesse pendant plus d'une minute (situation n°16).

Zone 5 : Trafic fluide

- T0 + 17:00 : Mode automatisé
Apparition d'une pluie légère (situation n°14).
- T0 + 17:25 : Désactivation de la conduite automatisée
La pluie s'intensifie fortement, le système demande donc une reprise en main rapide pour cause de météo défavorable (situation n°26), le conducteur doit désactiver la conduite automatisée en moins de 10 secondes alors qu'il se trouve dans un virage (situation n°33).

T0 + 18:15 : Fin du scénario.

Annexe 20

Évolutions des scores des Groupes 1 « didacticiel » et 2 « sans didacticiel » pour la question sur l'activation de la conduite automatisée :

Participants	Q Pré-test	Questionnaires Session 1		Questionnaires Session 2	
		Q1	Q2	Q3	Q4
Groupe 1 (test « didacticiel »)					
P1G1	1	2	1	2	2
P2G1	1	2	3	3	3
P3G1	1	3	2	3	3
P4G1	0	3	4	3	3
P5G1	2	3	3	3	3
P6G1	1	3	1	4	3
P7G1	1	3	3	3	3
P8G1	0	3	3	3	3
Moyenne	0,88	2,75	2,5	3	2,88
Écart-type	0,64	0,46	1,07	0,53	0,35
Groupe 2 (témoin « sans didacticiel »)					
P1G2	1	2	3	4	4
P2G2	1	4	3	4	3
P3G2	1	3	2	2	2
P4G2	1	1	1	2	2
P5G2	1	4	4	4	4
P6G2	2	3	3	3	3
P7G2	1	1	2	2	2
P8G2	1	3	3	3	3
Moyenne	1,13	2,63	2,63	3	2,88
Écart-type	0,35	1,19	0,92	0,93	0,83

Annexe 21

Comparaison intra-groupe des moyennes des scores sur la connaissance de la procédure d'activation de la conduite automatisée :

Groupe 1 « didacticiel »				
Test de Wilcoxon (non-paramétrique) : Comparer les moyennes 2 à 2				
	Q1	Q2	Q3	Q4
Pré-test	S (p = 0,01)	-	-	S (p = 0,01)
Q1	-	NS (p = 0,57)	-	-
Q2	-	-	NS (p = 0,34)	-
Q3	-	-	-	NS (p = 1)
ANOVA de Friedman (non-paramétrique) : Analyse de variance				S (p < 0.01)
Groupe 2 « sans didacticiel »				
Test de Wilcoxon (non-paramétrique) : Comparer les moyennes 2 à 2				
	Q1	Q2	Q3	Q4
Pré-test	S (p = 0,03)	-	-	S (p = 0,01)
Q1	-	NS (p = 1)	-	-
Q2	-	-	NS (p = 0,15)	-
Q3	-	-	-	NS (p = 1)
ANOVA de Friedman (non-paramétrique) : Analyse de variance				S (p < 0.01)

Légende : S = Significatif ; NS = Non significatif.

- Test des rangs signés de Wilcoxon : Test d'hypothèse non-paramétrique, alternative au test T de Student pour des petites échantillons permettant de s'affranchir de l'hypothèse de normalité des échantillons nécessaire pour les tests paramétriques. Il consiste à comparer les médianes de deux échantillons pour déterminer leurs positions relatives de manière bilatérale.
- ANOVA de Friedman : Test d'hypothèse non-paramétrique, alternative à l'ANOVA pour les petits échantillons permettant de s'affranchir de l'hypothèse de normalité des échantillons nécessaire pour les tests paramétriques. Il vise à mettre en évidence une différence entre les médianes de k échantillons appariés de taille n (mesures répétées).

Annexe 22

Comparaison intergroupe des moyennes des scores pour la connaissance de la procédure d'activation de la conduite automatisée :

Test de Wilcoxon (Non-paramétrique)	Groupe 1 « didacticiel »					
	Pré-test	Q1	Q2	Q3	Q4	
Groupe 2 « sans didacticiel »	Pré-test	NS (p = 0,37)	-	-	-	-
	Q1	-	NS (p = 1)	-	-	-
	Q2	-	-	NS (p = 0,91)	-	-
	Q3	-	-	-	NS (p = 1)	-
	Q4	-	-	-	-	NS (p = 1)

Légende : S = Significatif ; NS = Non significatif.

- Test des rangs signés de Wilcoxon : Test d'hypothèse non-paramétrique, alternative au test T de Student pour des petites échantillons permettant de s'affranchir de l'hypothèse de normalité des échantillons nécessaire pour les tests paramétriques. Il consiste à comparer les médianes de deux échantillons pour déterminer leurs positions relatives de manière bilatérale.

Annexe 23

Difficultés rencontrées par les participants du Groupe 1 « didacticiel » en fonction des sous-buts de la tâche d'activation dans les situations de la Classe A :

Sous-buts	Difficultés	Situations de la Classe A						Total
		Nominale		Virage		Sortie d'autoroute + véhicule proche		
		S1	S2	S1	S2	S1	S2	
1 (N=4)	Tentative avant disponibilité	-	-	P1(x2)	P2(x2)	-	-	N=4
2 (N=13)	Activation décentrée	P1, P2	-	P1(x2)	P2, P4(x2), P8(x3)	P2	-	N=11
	Activation proche d'un poids-lourd	-	-	P7	-	-	-	N=1
	Activation entre deux voies	-	P4	-	-	-	-	N=1
3 (N=1)	Appui boutons raté	-	-	P3	-	-	-	N=1
4 (N=3)	Pense avoir activé	-	-	P1, P3	-	-	-	N=2
	Pense qu'il y a un délai	-	-	-	P2	-	-	N=1
5 (N=10)	Garde pied au-dessus des pédales	P3, P6	-	P3(x2)	P6	-	-	N=5
	Garde mains sur le volant	P8	-	-	-	P8	-	N=2
	Garde pied et mains proches commandes	-	-	-	P2, P6	P6	-	N=3

Légende : S = Session, P = Participant

- Sous-but 1 : identifier et comprendre les interfaces
- Sous-but 2 : être dans les bonnes conditions « micro »
- Sous-but 3 : appliquer la procédure d'activation (appuyer sur les deux boutons simultanément)
- Sous-but 4 : vérifier l'activation de la conduite automatisée
- Sous-but 5 : se désengager physiquement de la conduite

Annexe 24

Difficultés rencontrées par les participants du Groupe 2 « sans didacticiel » en fonction des sous-buts de la tâche d'activation dans les situations de la Classe A :

Sous-buts	Difficultés	Situations de la Classe A						Total
		Nominale		Virage		Sortie d'autoroute + véhicule proche		
		S1	S2	S1	S2	S1	S2	
1 (N=4)	Tentative avant disponibilité	-	P4	P3	-	-	-	N=2
	Trop concentré sur le tableau de bord	-	-	P1	-	-	P1	N=2
2 (N=14)	Activation décentrée	-	P8	P1(x2), P5, P7(x2)	P4, P6, P8(x2)	P2, P6	-	N=12
	Activation trop proche du véhicule précédent	-	-	-	-	-	P1	N=1
	Activation entre deux voies	-	-	P7	-	-	-	N=1
3 (N=8)	Appui boutons raté	-	-	P3	P2, P4, P6	-	-	N=4
	Pense que le véhicule active tout seul	P3	-	-	-	-	P7	N=2
	Appui boutons et frein en même temps	-	-	-	-	-	P3, P5	N=2
4 (N=3)	Pense avoir activé alors que non	-	-	P3	P4, P6	-	-	N=3
5 (N=23)	Garde pied au-dessus des pédales	P1, P4	P1, P4, P5	P1, P3(x2), P5	P4(x3)	-	P1	N=13
	Garde mains sur le volant	P2	-	-	-	-	-	N=1
	Garde pied et mains proches commandes	P3	-	P1, P3, P5	-	P2, P4, P6, P8	P3	N=9

Légende : S = Session, P = Participant

- Sous-but 1 : identifier et comprendre les interfaces
- Sous-but 2 : être dans les bonnes conditions « micro »
- Sous-but 3 : appliquer la procédure d'activation (appuyer sur les deux boutons simultanément)
- Sous-but 4 : vérifier l'activation de la conduite automatisée
- Sous-but 5 : se désengager physiquement de la conduite

Annexe 25

Évolutions des scores des Groupes 1 « didacticiel » et 2 « sans didacticiel » pour la question sur les technologies régissant le fonctionnement de la conduite automatisée :

Participants	Q Pré-test	Questionnaires Session 1		Questionnaires Session 2	
		Q1	Q2	Q3	Q4
Groupe 1 (test « didacticiel »)					
P1G1	6	6	7	6	7
P2G1	8	7	3	7	7
P3G1	9	8	9	8	8
P4G1	8	8	8	7	9
P5G1	9	10	9	10	10
P6G1	9	9	9	9	9
P7G1	8	8	8	10	7
P8G1	9	10	10	9	10
Moyenne	8,25	8,25	7,88	8,25	8,38
Écart-type	1,04	1,39	2,17	1,49	1,3
Groupe 2 (témoin « sans didacticiel »)					
P1G2	6	4	10	5	5
P2G2	9	8	10	8	9
P3G2	8	6	9	9	9
P4G2	8	10	8	9	8
P5G2	8	7	8	7	8
P6G2	9	7	6	7	7
P7G2	8	7	8	8	8
P8G2	8	7	7	5	6
Moyenne	8	7	8,25	7,25	7,5
Écart-type	0,93	1,69	1,39	1,58	1,41

Annexe 26

Comparaison intra-groupe des moyennes des scores pour la question sur les technologies régissant le fonctionnement de la conduite automatisée :

Groupe 1 « didacticiel »				
Test de Wilcoxon (non-paramétrique) : Comparer les moyennes 2 à 2				
	Q1	Q2	Q3	Q4
Pré-test	NS (p = 1)	-	-	NS (p = 0,78)
Q1	-	NS (p = 0,85)	-	-
Q2	-	-	NS (p = 0,79)	-
Q3	-	-	-	NS (p = 0,85)
ANOVA de Friedman (non-paramétrique) : Analyse de variance				NS (p = 0,92)
Groupe 2 « sans didacticiel »				
Test de Wilcoxon (non-paramétrique) : Comparer les moyennes 2 à 2				
	Q1	Q2	Q3	Q4
Pré-test	NS (p = 0,11)	-	-	NS (p = 0,27)
Q1	-	NS (p = 0,23)	-	-
Q2	-	-	NS (p = 0,2)	-
Q3	-	-	-	NS (p = 0,42)
ANOVA de Friedman (non-paramétrique) : Analyse de variance				NS (p = 0,22)

Légende : S = Significatif ; NS = Non significatif.

- Test des rangs signés de Wilcoxon : Test d'hypothèse non-paramétrique, alternative au test T de Student pour des petites échantillons permettant de s'affranchir de l'hypothèse de normalité des échantillons nécessaire pour les tests paramétriques. Il consiste à comparer les médianes de deux échantillons pour déterminer leurs positions relatives de manière bilatérale.
- ANOVA de Friedman : Test d'hypothèse non-paramétrique, alternative à l'ANOVA pour les petits échantillons permettant de s'affranchir de l'hypothèse de normalité des échantillons nécessaire pour les tests paramétriques. Il vise à mettre en évidence une différence entre les médianes de k échantillons appariés de taille n (mesures répétées).

Annexe 27

Comparaison intergroupe des moyennes des scores pour la question sur les technologies régissant le fonctionnement de la conduite automatisée :

Test de Wilcoxon (Non-paramétrique)	Groupe 1 « didacticiel »					
	Pré-test	Q1	Q2	Q3	Q4	
Groupe 2 « sans didacticiel »	Pré-test	NS (p = 0,45)	-	-	-	-
	Q1	-	NS (p = 0,12)	-	-	-
	Q2	-	-	NS (p = 1)	-	-
	Q3	-	-	-	NS (p = 0,26)	-
	Q4	-	-	-	-	NS (p = 0,31)

Légende : S = Significatif ; NS = Non significatif.

- Test des rangs signés de Wilcoxon : Test d'hypothèse non-paramétrique, alternative au test T de Student pour des petites échantillons permettant de s'affranchir de l'hypothèse de normalité des échantillons nécessaire pour les tests paramétriques. Il consiste à comparer les médianes de deux échantillons pour déterminer leurs positions relatives de manière bilatérale.

Annexe 28

Évolutions des scores des Groupes 1 « didacticiel » et 2 « sans didacticiel » pour la question sur les conditions de disponibilité de la conduite automatisée :

Participants	Q Pré-test	Questionnaires Session 1		Questionnaires Session 2	
		Q1	Q2	Q3	Q4
Groupe 1 (test « didacticiel »)					
P1G1	8	9	8	10	9
P2G1	8	8	9	7	6
P3G1	3	9	6	8	9
P4G1	9	8	8	8	8
P5G1	8	9	9	9	9
P6G1	7	5	7	9	9
P7G1	9	9	9	9	9
P8G1	7	7	8	9	8
Moyenne	7,38	8	8	8,63	8,38
Écart-type	1,92	1,41	1,07	0,92	1,06
Groupe 2 (témoin « sans didacticiel »)					
P1G2	8	5	9	10	10
P2G2	7	7	9	8	10
P3G2	4	4	9	7	7
P4G2	3	3	6	8	7
P5G2	9	10	9	8	7
P6G2	5	5	4	4	5
P7G2	3	3	3	3	3
P8G2	8	5	5	5	5
Moyenne	5,88	5,25	6,75	6,63	6,75
Écart-type	2,42	2,31	2,55	2,39	2,43

Annexe 29

Comparaison intra-groupe des moyennes des scores pour la question sur les conditions de disponibilité de la conduite automatisée :

Groupe 1 « didacticiel »				
Test de Wilcoxon (non-paramétrique) : Comparer les moyennes 2 à 2				
	Q1	Q2	Q3	Q4
Pré-test	NS (p = 0,78)	-	-	NS (p = 0,34)
Q1	-	NS (p = 1)	-	-
Q2	-	-	NS (p = 0,32)	-
Q3	-	-	-	NS (p = 0,42)
ANOVA de Friedman (non-paramétrique) : Analyse de variance				NS (p = 0,46)
Groupe 2 « sans didacticiel »				
Test de Wilcoxon (non-paramétrique) : Comparer les moyennes 2 à 2				
	Q1	Q2	Q3	Q4
Pré-test	NS (p = 0,41)			NS (p = 0,34)
Q1		NS (p = 0,14)		
Q2			NS (p = 0,89)	
Q3				NS (p = 0,85)
ANOVA de Friedman (non-paramétrique) : Analyse de variance				NS (p = 0,67)

Légende : S = Significatif ; NS = Non significatif.

- Test des rangs signés de Wilcoxon : Test d'hypothèse non-paramétrique, alternative au test T de Student pour des petites échantillons permettant de s'affranchir de l'hypothèse de normalité des échantillons nécessaire pour les tests paramétriques. Il consiste à comparer les médianes de deux échantillons pour déterminer leurs positions relatives de manière bilatérale.
- ANOVA de Friedman : Test d'hypothèse non-paramétrique, alternative à l'ANOVA pour les petits échantillons permettant de s'affranchir de l'hypothèse de normalité des échantillons nécessaire pour les tests paramétriques. Il vise à mettre en évidence une différence entre les médianes de k échantillons appariés de taille n (mesures répétées).

Annexe 30

Comparaison intergroupe des moyennes des scores pour la question sur les conditions de disponibilité de la conduite automatisée :

Test de Wilcoxon (Non-paramétrique)	Groupe 1 « didacticiel »					
	Pré-test	Q1	Q2	Q3	Q4	
Groupe 2 « sans didacticiel »	Pré-test	NS (p = 0,26)	-	-	-	-
	Q1	-	S (p = 0,03)	-	-	-
	Q2	-	-	NS (p = 0,58)	-	-
	Q3	-	-	-	S (p = 0,06)	-
	Q4	-	-	-	-	NS (p = 0,18)

Légende : S = Significatif ; NS = Non significatif.

- Test des rangs signés de Wilcoxon : Test d'hypothèse non-paramétrique, alternative au test T de Student pour des petites échantillons permettant de s'affranchir de l'hypothèse de normalité des échantillons nécessaire pour les tests paramétriques. Il consiste à comparer les médianes de deux échantillons pour déterminer leurs positions relatives de manière bilatérale.

Annexe 31

Évolutions des scores des Groupes 1 « didacticiel » et 2 « sans didacticiel » pour l'ensemble des 5 questions sur les interfaces de la conduite automatisée :

Participants	Questionnaire 2 (session 1)	Questionnaire 4 (session 2)
Groupe 1 (test « didacticiel »)		
P1G1	5	4
P2G1	2	2
P3G1	3	3
P4G1	3	4
P5G1	4	4
P6G1	4	3
P7G1	3	3
P8G1	5	5
Moyenne	3,63	3,5
Écart-type	0,99	0,87
Groupe 2 (témoin « sans didacticiel »)		
P1G2	2	1
P2G2	4	4
P3G2	2	2
P4G2	1	1
P5G2	3	3
P6G2	2	2
P7G2	3	1
P8G2	3	3
Moyenne	2,5	2,13
Écart-type	0,87	1,05

Annexe 32

Comparaison intra-groupe des moyennes des scores pour la question concernant les interfaces de la conduite automatisée :

Groupe 1 « didacticiel »	
Test de Wilcoxon (non-paramétrique) : Comparer les moyennes 2 à 2	
	Q4
Q2	NS (p = 0,77)
Groupe 2 « sans didacticiel »	
Test de Wilcoxon (non-paramétrique) : Comparer les moyennes 2 à 2	
	Q4
Q2	NS (p = 0,37)

Légende : S = Significatif ; NS = Non significatif.

- Test des rangs signés de Wilcoxon : Test d'hypothèse non-paramétrique, alternative au test T de Student pour des petites échantillons permettant de s'affranchir de l'hypothèse de normalité des échantillons nécessaire pour les tests paramétriques. Il consiste à comparer les médianes de deux échantillons pour déterminer leurs positions relatives de manière bilatérale.

Annexe 33

Comparaison intergroupe des moyennes des scores pour la question concernant les interfaces de la conduite automatisée :

Test de Wilcoxon (Non-paramétrique)		Groupe 1 « didacticiel »	
		Q2	Q4
Groupe 2 « sans didacticiel »	Q2	S (p = 0,06)	-
	Q4	-	S (p = 0,03)

Légende : S = Significatif ; NS = Non significatif.

- Test des rangs signés de Wilcoxon : Test d'hypothèse non-paramétrique, alternative au test T de Student pour des petites échantillons permettant de s'affranchir de l'hypothèse de normalité des échantillons nécessaire pour les tests paramétriques. Il consiste à comparer les médianes de deux échantillons pour déterminer leurs positions relatives de manière bilatérale.

Annexe 34

Évolutions des scores des Groupes 1 « didacticiel » et 2 « sans didacticiel » pour la question sur les devoirs du conducteur lorsque la conduite automatisée est activée :

Participants	Q Pré-test	Questionnaires Session 1		Questionnaires Session 2	
		Q1	Q2	Q3	Q4
Groupe 1 (test « didacticiel »)					
P1G1	8	8	9	8	9
P2G1	8	6	9	10	9
P3G1	8	8	8	8	8
P4G1	10	10	10	10	10
P5G1	10	10	10	10	10
P6G1	7	8	8	9	9
P7G1	8	9	9	10	10
P8G1	8	10	10	9	10
Moyenne	8,38	8,63	9,13	9,25	9,38
Écart-type	1,06	1,41	0,83	0,89	0,74
Groupe 2 (témoin « sans didacticiel »)					
P1G2	7	8	7	7	7
P2G2	10	9	8	9	8
P3G2	10	9	9	8	8
P4G2	9	8	8	9	7
P5G2	8	9	8	8	8
P6G2	5	6	7	7	8
P7G2	8	9	8	7	7
P8G2	4	8	9	8	8
Moyenne	7,63	8,25	8	7,88	7,63
Écart-type	2,2	1,04	0,76	0,83	0,52

Annexe 35

Comparaison intra-groupe des moyennes des scores pour la question sur les devoirs du conducteur lorsque la conduite automatisée est activée :

Groupe 1 « didacticiel »				
Test de Wilcoxon (non-paramétrique) : Comparer les moyennes 2 à 2				
	Q1	Q2	Q3	Q4
Pré-test	NS (p = 0,71)	-	-	S (p = 0,05)
Q1	-	NS (p = 0,37)	-	-
Q2	-	-	NS (p = 0,77)	-
Q3	-	-	-	NS (p = 0,77)
ANOVA de Friedman (non-paramétrique) : Analyse de variance				S (p = 0,02)
Groupe 2 « sans didacticiel »				
Test de Wilcoxon (non-paramétrique) : Comparer les moyennes 2 à 2				
	Q1	Q2	Q3	Q4
Pré-test	NS (p = 0,4)	-	-	NS (p = 1)
Q1	-	NS (p = 0,48)	-	-
Q2	-	-	NS (p = 0,77)	-
Q3	-	-	-	NS (p = 0,59)
ANOVA de Friedman (non-paramétrique) : Analyse de variance				NS (p = 0,4)

Légende : S = Significatif ; NS = Non significatif.

- Test des rangs signés de Wilcoxon : Test d'hypothèse non-paramétrique, alternative au test T de Student pour des petites échantillons permettant de s'affranchir de l'hypothèse de normalité des échantillons nécessaire pour les tests paramétriques. Il consiste à comparer les médianes de deux échantillons pour déterminer leurs positions relatives de manière bilatérale.
- ANOVA de Friedman : Test d'hypothèse non-paramétrique, alternative à l'ANOVA pour les petits échantillons permettant de s'affranchir de l'hypothèse de normalité des échantillons nécessaire pour les tests paramétriques. Il vise à mettre en évidence une différence entre les médianes de k échantillons appariés de taille n (mesures répétées).

Annexe 36

Comparaison intergroupe des moyennes des scores pour la question sur les devoirs du conducteur lorsque la conduite automatisée est activée :

Test de Wilcoxon (Non-paramétrique)	Groupe 1 « didacticiel »					
	Pré-test	Q1	Q2	Q3	Q4	
Groupe 2 « sans didacticiel »	Pré-test	NS (p = 0,66)	-	-	-	-
	Q1	-	NS (p = 0,55)	-	-	-
	Q2	-	-	S (p = 0,02)	-	-
	Q3	-	-	-	S (p = 0,01)	-
	Q4	-	-	-	-	S (p = 0,002)

Légende : S = Significatif ; NS = Non significatif.

- Test des rangs signés de Wilcoxon : Test d'hypothèse non-paramétrique, alternative au test T de Student pour des petites échantillons permettant de s'affranchir de l'hypothèse de normalité des échantillons nécessaire pour les tests paramétriques. Il consiste à comparer les médianes de deux échantillons pour déterminer leurs positions relatives de manière bilatérale.

Annexe 37

Évolutions des scores des Groupes 1 « didacticiel » et 2 « sans didacticiel » pour la question sur les possibilités de vie à bord lorsque la conduite automatisée est activée :

Participants	Q Pré-test	Questionnaires Session 1		Questionnaires Session 2	
		Q1	Q2	Q3	Q4
Groupe 1 (test « didacticiel »)					
P1G1	7	8	6	6	8
P2G1	8	9	9	9	9
P3G1	7	7	7	6	6
P4G1	10	10	10	10	10
P5G1	8	9	9	9	9
P6G1	7	7	7	10	8
P7G1	6	10	10	8	10
P8G1	8	8	8	10	8
Moyenne	7,63	8,5	8,25	8,5	8,5
Écart-type	1,19	1,2	1,49	1,69	1,31
Groupe 2 (témoin « sans didacticiel »)					
P1G2	10	8	10	10	10
P2G2	7	9	8	8	8
P3G2	7	9	9	9	9
P4G2	7	7	7	8	8
P5G2	8	10	10	10	9
P6G2	6	8	9	7	8
P7G2	5	5	5	5	7
P8G2	6	7	10	9	9
Moyenne	7	7,88	8,5	8,25	8,5
Écart-type	1,51	1,55	1,77	1,67	0,93

Annexe 38

Comparaison intra-groupe des moyennes des scores pour la question sur les possibilités de vie à bord lorsque la conduite automatisée est activée :

Groupe 1 « didacticiel »				
Test de Wilcoxon (non-paramétrique) : Comparer les moyennes 2 à 2				
	Q1	Q2	Q3	Q4
Pré-test	S (p = 0,09)	-	-	NS (p = 0,12)
Q1	-	NS (p = 1)	-	-
Q2	-	-	NS (p = 0,71)	-
Q3	-	-	-	NS (p = 1)
ANOVA de Friedman (non-paramétrique) : Analyse de variance				NS (p = 0,29)
Groupe 2 « sans didacticiel »				
Test de Wilcoxon (non-paramétrique) : Comparer les moyennes 2 à 2				
Pré-test	NS (p = 0,18)			S (p = 0,02)
Q1		NS (p = 0,27)		
Q2			NS (p = 0,59)	
Q3				NS (p = 0,59)
ANOVA de Friedman (non-paramétrique) : Analyse de variance				S (p = 0,02)

Légende : S = Significatif ; NS = Non significatif.

- Test des rangs signés de Wilcoxon : Test d'hypothèse non-paramétrique, alternative au test T de Student pour des petites échantillons permettant de s'affranchir de l'hypothèse de normalité des échantillons nécessaire pour les tests paramétriques. Il consiste à comparer les médianes de deux échantillons pour déterminer leurs positions relatives de manière bilatérale.
- ANOVA de Friedman : Test d'hypothèse non-paramétrique, alternative à l'ANOVA pour les petits échantillons permettant de s'affranchir de l'hypothèse de normalité des échantillons nécessaire pour les tests paramétriques. Il vise à mettre en évidence une différence entre les médianes de k échantillons appariés de taille n (mesures répétées).

Annexe 39

Comparaison intergroupe des moyennes des scores pour la question sur les possibilités de vie à bord lorsque la conduite automatisée est activée :

Test de Wilcoxon (Non-paramétrique)	Groupe 1 « didacticiel »					
	Pré-test	Q1	Q2	Q3	Q4	
Groupe 2 « sans didacticiel »	Pré-test	NS (p = 0,28)	-	-	-	-
	Q1	-	NS (p = 0,48)	-	-	-
	Q2	-	-	NS (p = 0,67)	-	-
	Q3	-	-	-	NS (p = 0,7)	-
	Q4	-	-	-	-	NS (p = 0,91)

Légende : S = Significatif ; NS = Non significatif.

- Test des rangs signés de Wilcoxon : Test d'hypothèse non-paramétrique, alternative au test T de Student pour des petites échantillons permettant de s'affranchir de l'hypothèse de normalité des échantillons nécessaire pour les tests paramétriques. Il consiste à comparer les médianes de deux échantillons pour déterminer leurs positions relatives de manière bilatérale.

Annexe 40

Évolutions des scores des Groupes 1 « didacticiel » et 2 « sans didacticiel » pour la question sur la désactivation de la conduite automatisée :

Participants	Q Pré-test	Questionnaires Session 1		Questionnaires Session 2	
		Q1	Q2	Q3	Q4
Groupe 1 (test « didacticiel »)					
P1G1	1	4	5	5	5
P2G1	1	0	4	5	5
P3G1	4	5	5	5	5
P4G1	0	3	2	3	3
P5G1	2	5	5	5	5
P6G1	3	5	5	5	5
P7G1	3	5	5	5	5
P8G1	0	5	5	5	5
Moyenne	1,75	4	4,5	4,75	4,75
Écart-type	1,49	1,77	1,07	0,71	0,71
Groupe 2 (témoin « sans didacticiel »)					
P1G2	1	1	2	5	5
P2G2	3	3	3	5	5
P3G2	2	5	4	5	4
P4G2	1	1	2	5	5
P5G2	1	5	3	5	5
P6G2	1	2	2	2	2
P7G2	1	1	2	4	4
P8G2	1	3	4	5	5
Moyenne	1,38	2,63	2,75	4,5	4,38
Écart-type	0,74	1,69	0,89	1,07	1,06

Annexe 41

Comparaison intra-groupe des moyennes des scores pour la question sur la désactivation de la conduite automatisée :

Groupe 1 « didacticiel »				
Test de Wilcoxon (non-paramétrique) : Comparer les moyennes 2 à 2				
	Q1	Q2	Q3	Q4
Pré-test	S (p = 0,02)	-	-	S (p = 0,01)
Q1	-	NS (p = 0,59)	-	-
Q2	-	-	NS (p = 0,35)	-
Q3	-	-	-	NS (p = 1)
ANOVA de Friedman (non-paramétrique) : Analyse de variance				S (p < 0,01)
Groupe 2 « sans didacticiel »				
Test de Wilcoxon (non-paramétrique) : Comparer les moyennes 2 à 2				
	Q1	Q2	Q3	Q4
Pré-test	S (p = 0,1)	-	-	S (p = 0,01)
Q1	-	NS (p = 0,82)	-	-
Q2	-	-	S (p = 0,02)	-
Q3	-	-	-	NS (p = 1)
ANOVA de Friedman (non-paramétrique) : Analyse de variance				S (p < 0,01)

Légende : S = Significatif ; NS = Non significatif.

- Test des rangs signés de Wilcoxon : Test d'hypothèse non-paramétrique, alternative au test T de Student pour des petites échantillons permettant de s'affranchir de l'hypothèse de normalité des échantillons nécessaire pour les tests paramétriques. Il consiste à comparer les médianes de deux échantillons pour déterminer leurs positions relatives de manière bilatérale.
- ANOVA de Friedman : Test d'hypothèse non-paramétrique, alternative à l'ANOVA pour les petits échantillons permettant de s'affranchir de l'hypothèse de normalité des échantillons nécessaire pour les tests paramétriques. Il vise à mettre en évidence une différence entre les médianes de k échantillons appariés de taille n (mesures répétées).

Annexe 42

Comparaison intergroupe des moyennes des scores pour la question sur la désactivation de la conduite automatisée :

Test de Wilcoxon (Non-paramétrique)	Groupe 1 « didacticiel »					
	Pré-test	Q1	Q2	Q3	Q4	
Groupe 2 « sans didacticiel »	Pré-test	NS (p = 0,74)	-	-	-	-
	Q1	-	NS (p = 0,14)	-	-	-
	Q2	-	-	S (p = 0,007)	-	-
	Q3	-	-	-	NS (p = 0,59)	-
	Q4	-	-	-	-	NS (p = 0,33)

Légende : S = Significatif ; NS = Non significatif.

- Test des rangs signés de Wilcoxon : Test d'hypothèse non-paramétrique, alternative au test T de Student pour des petites échantillons permettant de s'affranchir de l'hypothèse de normalité des échantillons nécessaire pour les tests paramétriques. Il consiste à comparer les médianes de deux échantillons pour déterminer leurs positions relatives de manière bilatérale.

Annexe 43

Utilisation du didacticiel « AUTO-DIDACT' » par le Participant 3 (Groupe 1) :

Le Participant 3 a passé 25 minutes et 37 secondes sur le didacticiel lors de la phase de « formation » de la Session 1. Il a ainsi exploré le module « Mes premiers pas » (12 secondes), le module vidéo « Présentation générale » (4 minutes et 8 secondes), le module « Guide interactif » (1 minute et 45 secondes), le module vidéo « Situations types » (7 minutes), et le module « Simulation embarquée » (12 minutes et 22 secondes). Concernant l'apport du didacticiel pour l'activité de conduite automatisée, ce participant évoque les limites du système dans les situations de « cut-in » légers (Classe B) : « *J'ai été un peu étonnée sur la façon que ça prend en compte les véhicules qui nous doublent. Ça ne les prend en compte qu'une fois qu'il a franchi la ligne blanche. Je suis un petit peu déçue, je suis un petit peu étonnée que ça ne le prenne en compte qu'à ce moment-là* » ; il évoque également les procédures d'activation et de désactivation, ainsi que les situations de reprise en main : « *C'est comment on active, comment on désactive le système. C'est le principal, c'est très utile. Les situations où il faut reprendre la main, où il est conseillé de reprendre la main, aussi* » ; il nous partage son expérience d'un ping-pong à l'activation de la conduite automatisée : « *C'est-à-dire que c'est marqué dans le didacticiel que le véhicule se positionne au milieu de la voie. Et donc là, on sent bien que dès qu'on active le système, au milieu de la voie, ça nous déporte un petit peu* » ; enfin, les demandes de reprise en main rapide pour cause de travaux : « *C'était dans les consignes du didacticiel. Quand il y avait des travaux, il fallait reprendre la main* ». En Session 2, le Participant 3 a passé 11 minutes et 5 secondes sur le didacticiel. Il a exploré le module « Mes premiers pas » (55 secondes), les modules vidéo « Présentation générale » (5 minutes et 37 secondes) et « Situations types » (58 secondes), ainsi que le module « Simulation embarquée » (2 minutes et 15 secondes). Lors de l'entretien de fin de session, concernant l'apport du didacticiel, ce participant n'évoque que le fonctionnement du système : « *La description du fonctionnement au départ, la vigilance, les points de vigilance quand c'était automatisé, et puis comment elle fonctionnait quand même par rapport à la vitesse, qui s'adaptait à la vitesse de devant* ».

Annexe 44

Utilisation du didacticiel « AUTO-DIDACT' » par le Participant 4 (Groupe 1) :

Lors de la phase de « formation » de la Session 1, le Participant 4 a exploré le didacticiel pendant 47 minutes et 42 secondes. Durant cette utilisation il est passé par le module « Mes premiers pas » (1 minute et 6 secondes), le module vidéo « Présentation générale » (10 minutes et 39 secondes), le module « Guide interactif » (11 minutes et 26 secondes), le module vidéo « Situations types » (5 minutes et 9 secondes), et le module « Simulation embarquée » (13 minutes et 19 secondes). En ce qui concerne l'apport du didacticiel pour l'activité de conduite automatisée, ce participant évoque la procédure d'activation : « *Le départ, comment prendre en main le véhicule et sur quel bouton appuyer* » ; il nous partage sa gestion d'une situation de demande de reprise en main rapide pour cause de brouillard dense (Classe C) : « *J'étais plus en éveil parce que je m'attendais à ce qu'il me dise qu'il fallait que je reprenne. Parce qu'ils disent dans le didacticiel qu'il faut que le temps ne soit pas trop sombre, donc je me disais voilà, là il y a du brouillard* » ; et enfin, il évoque la limitation de vitesse du système : « *Ils le disent dans le didacticiel. Que c'était limité à 110* ». Lors de la Session 2, le Participant 4 a passé 4 minutes et 13 secondes sur le didacticiel. Il a seulement visité les modules « Mes premiers pas » (25 secondes) et « Présentation générale » (3 minutes et 48 secondes). Concernant l'apport du didacticiel, lors de l'entretien de cette même session ce participant évoque la procédure de désactivation de la conduite automatisée : « *J'ai regardé la reprise, ouais la reprise de base je crois. Mais bon après je me suis dit c'est bon, je m'en souviens, allons-y [...] Lui donner la main, ça c'était acquis. C'est la reprise où c'était peut-être un peu moins acquis. C'est là-dessus que j'ai un peu galéré hier, je ne savais plus trop comment on reprenait la main. Donc voilà, une petite vérification* » ; ainsi que des méta-connaissances à propos de la reprise en main et de sa capacité à faire confiance au système : « *Après la séance d'hier, j'avais quand même acquis comment conduire, comment lui faire confiance, comment reprendre les manettes* ».

Annexe 45

Utilisation du didacticiel « AUTO-DIDACT' » par le Participant 5 (Groupe 1) :

Le Participant 5 a passé 34 minutes et 55 secondes sur le didacticiel lors de la phase de « formation » de la Session 1. Il a ainsi pu explorer le module « Mes premiers pas » (1 minute et 7 secondes), le module vidéo « Présentation générale » (5 minutes et 25 secondes), le module « Guide interactif » (9 minutes et 34 secondes), le module vidéo « Situations types » (8 minutes et 31 secondes), et le module « Simulation embarquée » (9 minutes et 49 secondes). Concernant l'apport du didacticiel pour l'activité de conduite automatisée, ce participant évoque des connaissances sur les procédures d'activation et de désactivation de la conduite automatisée : « *Donc on est quand même un petit peu coaché sur la mise en route et la désactivation. Mais j'ai trouvé bien, ouais. C'est sécurisant, ce didacticiel* » ; sur les conditions de disponibilité du mode automatisé : « *Il m'a dit qu'en fait je ne pouvais pas l'activer n'importe quand, que j'avais un mode pour l'activer. Donc déjà, il y a une plage de sécurité* » ; sur les demandes de reprise en main et la manœuvre de refuge automatique : « *Pour le désactiver, il y a aussi une plage de sécurité puisque j'avais 60 secondes ou 10 secondes en cas vraiment de problème. Et même si je ne reprenais pas la main, il y avait ce mode en fait de manœuvre de refuge qui m'était imposé. Donc je ne risquais vraiment rien* » ; le Participant 5 évoque également sa gestion d'une situation de ping-pong à l'activation : « *Vu que c'était expliqué dans le didacticiel, qu'en fait quand on était dans une courbe, il fallait qu'il reprenne une bonne ligne et qu'il avait tendance à faire des petits mouvements, ça ne m'a pas du tout inquiété* » ; enfin, il nous partage des méta-connaissances sur sa confiance envers le système : « *Ça m'a mis en confiance de savoir comment ça allait se passer, surtout le petit test, en fait. Le petit test où on prend le volant, la simulation. Je trouve qu'elle est très parlante* ». En Session 2, le Participant 5 a passé 25 minutes et 39 secondes sur le didacticiel. Il a exploré le module « Mes premiers pas » (1 minute), le module « Guide interactif » (2 minutes et 58 secondes), les modules vidéo « Présentation générale » (4 minutes et 20 secondes) et « Situations types » (9 minutes et 19 secondes), ainsi que le module « Simulation embarquée » (6 minutes et 33 secondes). Lors de l'entretien de fin de session, concernant l'apport du didacticiel, ce participant évoque des connaissances sur le rôle du conducteur : « *J'ai appliqué dans le didacticiel tout ce qui était conseillé. Donc de laisser faire la voiture si on voulait, mais vraiment de la laisser faire si c'était conseillé. Donc c'est vrai que c'était génial* » ; sur la gestion des situations ambiguës (Class C) : « *Donc il n'est pas conseillé de le laisser dans des zones où il devrait y avoir plus de voitures qui viennent, des queues de poisson, des insertions, etc. Voilà, il y avait le fait que la voiture pouvait le faire, mais que ce n'était pas vraiment conseillé* » et « *Dans le didacticiel, c'est vrai qu'il est stipulé comme quoi quand il y a une situation d'urgence, voilà. Il y avait la sirène, il fallait les laisser passer. Je l'ai*

lu. Je savais que dans ces situations un peu désordonnées, il fallait reprendre la main. Donc inconsciemment de toute façon, j'ai repris la main » ; il évoque également les situations de demande de reprise en main rapide pour cause de forte pluie : « Donc dès qu'il pleut bien sûr, il faut reprendre la main. Il n'y a pas de souci à ce niveau-là, pour moi c'est intégré. Via le didacticiel » ; et enfin, il nous partage des méta-connaissances sur son propre apprentissage : « J'ai refait le quizz pour être sûr d'avoir les bonnes réponses. Parce que ça permet de bien se rappeler les bonnes choses, les bons boutons, ce qu'il faut faire, ne pas faire, les bonnes pratiques. Je pense juste que c'est de l'apprentissage » et « J'ai encore plus lu le didacticiel, donc c'est plus rentré en fait. J'ai consolidé, j'ai les informations. La première fois, je les ai comprises. Mais c'est vrai que plus on le fait et plus ça rentre et après, plus on a confiance dans les gestes à faire ».

Annexe 46

Utilisation du didacticiel « AUTO-DIDACT' » par le Participant 6 (Groupe 1) :

Lors de la phase de « formation » de la Session 1, le Participant 6 a exploré le didacticiel pendant 12 minutes et 39 secondes. Durant cette utilisation il est passé par le module « Mes premiers pas » (1 minutes et 3 secondes), le module vidéo « Présentation générale » (10 secondes), le module « Guide interactif » (6 minutes et 52 secondes), et le module vidéo « Situations types » (4 minutes et 36 secondes). Pendant le scénario de cette session, il a également ouvert le didacticiel pendant la conduite automatisée, pour une durée totale d'utilisation de 3 minutes et 41 secondes. Lors de cette utilisation, il a visité le module « Mes premiers pas » (34 secondes), le module « Présentation générale » (46 secondes), le module « Guide interactif » (1 minute et 5 secondes), et le module « Situations types » (1 minute et 16 secondes). En ce qui concerne l'apport du didacticiel pour l'activité de conduite automatisée, pendant l'entretien de la Session 1 ce participant évoque les procédures d'activation et de désactivation : « En fait c'est tout ce qui est activation, désactivation et tout. En fait, je n'avais pas peur de m'y mettre et d'utiliser la fonctionnalité » et « C'était hyper simple. Le didacticiel a tout écrit, et c'était exactement comme il l'avait écrit » ; il évoque aussi son manque de connaissance concernant la situation avec le véhicule d'intervention (Classe C) : « Je ne me rappelais plus si c'était une situation où je devais reprendre la main ou pas, parce que j'avais mal lu tout simplement. En fait dans la première interface avec la petite titine qui est représentée avec toutes les images et tout, c'était très bien fait et je n'ai pas cliqué sur les boutons, tout simplement. En fait, je l'aurais su. Mais bon, je n'ai pas cliqué et du coup je ne savais pas, et je n'ai pas compris ». Lors de la Session 2, le Participant 6 a passé 10 minutes et 27 secondes sur le didacticiel. Il a visité le module « Mes premiers pas » (47

secondes), les modules vidéo « Présentation générale » (1 minute et 6 secondes) et « Situations types » (4 minutes et 5 secondes), ainsi que le module « Guide interactif » (4 minutes et 29 secondes). Concernant l'apport du didacticiel, lors de l'entretien de cette même session ce participant évoque ses connaissances sur les situations gérées par la conduite automatisée (Classe B) : « *Il me disait pour les queues de poisson, laissez le véhicule faire. En fait, il y a pas mal de situations où je dois laisser faire le véhicule* » et « *Je me suis demandé s'il était capable de gérer. Pour moi, dans ma tête oui, parce que j'avais regardé la situation sur le didacticiel, avant. Mais j'étais quand même prête à reprendre la main, mais je l'ai laissé faire et il a très bien géré la situation* » ; il évoque également les situations ambiguës (Classe C) : « *J'ai re-regardé toutes ces situations que je trouvais ambiguës la première fois. Je les ai checkées sur le didacticiel avant de conduire* » ; et enfin, il nous partage des méta-connaissances sur son niveau de connaissances et sur sa confiance en lui-même et envers le véhicule automatisé : « *Quand j'ai fait le quizz, je me suis trompée sur pas mal de questions, quand même. C'est peut-être des détails, mais c'est important de le savoir* » et « *C'est en moi que je n'ai pas forcément confiance. Alors du coup, le fait d'avoir ce didacticiel me permet d'être sûre d'avoir les informations, donc ça m'apporte de la confiance en moi et de la confiance dans la conduite autonome, aussi* ».

Annexe 47

Utilisation du didacticiel « AUTO-DIDACT' » par le Participant 7 (Groupe 1) :

Le Participant 7 a passé 23 minutes et 54 secondes sur le didacticiel lors de la phase de « formation » de la Session 1. Il a ainsi exploré le module « Mes premiers pas » (47 secondes), le module vidéo « Présentation générale » (3 minutes et 58 secondes), le module « Guide interactif » (8 minutes et 11 secondes), le module vidéo « Situations types » (2 minutes et 11 secondes), et le module « Simulation embarquée » (8 minutes et 24 secondes). Concernant l'apport du didacticiel pour l'activité de conduite automatisée, ce participant évoque le rôle du conducteur : « *Peut-être plus mettre l'accent dans le didacticiel, justement, sur le fait que c'est l'humain qui est toujours conducteur, c'est à lui de gérer la route. On ne sait jamais ce qu'il peut se passer. Peut-être plus mettre l'accent sur le fait qu'il faut rester attentif* » ; ainsi que des méta-connaissances sur sa confiance envers le système et ses connaissances sur les procédures d'activation et de désactivation : « *Avoir un peu plus confiance, en se disant qu'on nous a appris, on nous a montré comment ça marchait avec le didacticiel, donc on a un peu plus confiance dans la maîtrise du véhicule, on sait comment ça fonctionne. On sait comment activer, désactiver* ». En Session 2, le Participant 7 a passé 21 minutes et 51 secondes sur le didacticiel. Il a exploré le module « Mes premiers pas » (15

secondes), les modules vidéo « Présentation générale » (3 minutes et 53 secondes) et « Situations types » (7 minutes et 42 secondes), le module « Guide interactif » (1 minute et 25 secondes), ainsi que le module « Simulation embarquée » (5 minutes et 59 secondes). Lors de l'entretien de fin de session, concernant l'apport du didacticiel, ce participant évoque un manque concernant le rôle du conducteur : « *Je n'ai pas trouvé qu'il abordait le fait qu'il fallait quand même rester un peu... Enfin, de temps en temps, regarder dans ses rétros, ou regarder son tableau de bord, voilà. On peut faire autre chose, mais il faut quand même, pour moi, rester un peu attentif à la conduite* » ; en revanche, il évoque des connaissances sur la gestion des situations ambiguës (Classe C) : « *Quand j'ai vu qu'il n'y avait pas de réaction, je me suis rappelé le didacticiel sur les situations ambiguës. Et du coup, je me suis dit que là, c'était à moi de reprendre la main, et donc voilà, j'ai repris la main, je me suis remise sur la voie et je les ai laissés passer* » ; ainsi que des méta-connaissances sur sa confiance en lui et sur son apprentissage : « *Ça m'a permis d'avoir plus confiance en ce que j'avais retenu. C'est-à-dire que oui, je n'avais pas oublié, et oui, j'avais retenu les bonnes informations, et donc je sais comment ça fonctionne et je n'ai pas d'appréhension à l'utilisation* ».

Annexe 48

Utilisation du didacticiel « AUTO-DIDACT' » par le Participant 8 (Groupe 1) :

Lors de la phase de « formation » de la Session 1, le Participant 8 a exploré le didacticiel pendant 21 minutes et 55 secondes. Durant cette utilisation il est seulement passé par le module vidéo « Présentation générale » (5 minutes et 15 secondes), et le module « Guide interactif » (16 minutes et 33 secondes). En ce qui concerne l'apport du didacticiel pour l'activité de conduite automatisée, ce participant évoque des connaissances sur les capacités et les limites du système, notamment les situations de demande de reprise en main : « *Les conditions d'utilisation du véhicule autonome. La pluie, le brouillard, à quel moment il faut passer en mode manuel. Parce que pour moi, un véhicule autonome était autonome tout le temps. Je ne connaissais pas, je ne savais pas qu'il y avait différents niveaux* » ; il évoque aussi les procédures d'activation et de désactivation de la conduite automatisée : « *On désactive et on réactive avec les deux boutons et un peu plus loin on trouve le freinage, l'accélérateur, le coup de volant* ». Lors de la Session 2, le Participant 8 a passé 22 minutes et 43 secondes sur le didacticiel. Comme à la première session, il a seulement visité le module vidéo « Présentation générale » (7 minutes et 4 secondes), et le module « Guide interactif » (15 minutes et 39 secondes). Concernant l'apport du didacticiel, lors de l'entretien de cette même session ce participant n'évoque que les situations de changement de voie automatisé

Annexes

(Classe B) : « Hier je ne l'avais pas vu ou entendu qu'il pouvait faire des dépassements de lui-même puisque vous m'avez posé la question hier. En fait il sait le faire ».

Titre : Concevoir un outil didactique embarqué pour accompagner l'apprentissage de la conduite automatisée.

Mots clés : Conduite automatisée, Apprentissage, Genèse instrumentale, Conception, Didacticiel

Résumé : L'essor des nouvelles technologies pousse les constructeurs automobiles à proposer des aides à la conduite de plus en plus performantes évoluant vers de la conduite automatisée. De nombreuses études ont montré une rupture dans l'activité des conducteurs nécessitant de les accompagner pour garantir un usage sécurisé de ces systèmes. Cette thèse s'inscrit dans le cadre du projet AD Learning (Direction de la Recherche du Groupe Renault) et a pour but d'explorer, de concevoir et d'évaluer un outil didactique pouvant être embarqué directement dans les véhicules hautement automatisés. Mais alors comment élaborer un contenu pédagogique adapté aux besoins des futurs conducteurs ? Et comment concevoir un dispositif adapté à ce contexte d'activité si particulier ? Pour répondre à ces questions, nous avons élaboré une méthodologie de recherche en trois étapes. Nous avons d'abord mené deux études pour appréhender l'activité de conduite

automatisée et identifier les besoins en apprentissage sous l'angle des genèses instrumentales (Rabardel, 1995). Nous avons ensuite déroulé un processus de conception s'appuyant aussi bien sur nos données empiriques que sur des modèles théoriques issus de l'approche instrumentale de Rabardel (1995). Ce travail a abouti à la conception du didacticiel embarqué « AUTO-DIDACT' », dont nous avons évalué l'impact sur l'apprentissage de la conduite automatisée en situations de simulations élaborées sur la base de nos travaux. Des résultats mitigés mais encourageants au sujet du didacticiel nous ont permis de valider en partie nos hypothèses et d'identifier un effet de la simulation sur les genèses instrumentales, plaidant en faveur d'un parcours mixant simulation et didacticiel embarqué. Enfin, nous proposons des axes d'amélioration du didacticiel en vue de son industrialisation.

Title : Design an on-board didactic tool to support the learning of automated driving.

Keywords : Automated driving, Learning, Instrumental genesis, Design, Tutorial

Abstract : The rise of new technologies is pushing car manufacturers to offer increasingly efficient driving aids that are moving towards automated driving. Many studies have shown a break in the drivers' activity requiring support to ensure safe use of these systems. This thesis took place within The AD Learning project (Renault Group's Research Department), and aimed to explore, design and evaluate a didactic tool that can be embedded directly in highly automated vehicles. But how to develop educational content adapted to the needs of future drivers? And how to design a device adapted to this particular context of activity? To answer these questions, we developed a three-step research methodology. We first conducted two studies to understand the automated driving

activity and identify the learning needs from the instrumental genesis perspective (Rabardel, 1995). We then carried out a design process based both on our empirical data and on theoretical models from the instrumental approach of Rabardel (1995). This work led to the design of the "AUTO-DIDACT" on-board tutorial, whose impact on the automated driving learning was evaluated in simulation situations developed on the basis of our previous work. Mixed but encouraging results allowed us to partially validate our hypotheses and to identify simulation effects on instrumental genesis, pleading for a training mixing the simulation and the on-board tutorial. Finally, we propose areas of improvements of the tutorial for its future industrialization.