

Université Lumière Lyon 2  
Ecole Doctorale : Sciences de l'éducation – Information et Communication – Psychologie  
(EPIC)  
Institut de Psychologie  
*Laboratoire d'Étude et d'Analyse des Comportements et des Modèles (LEACM-CRIS)*  
*Laboratoire d'Informatique en Image et Systèmes d'information (LIRIS)*

# Analyse de traces d'activité pour la modélisation cognitive

**Par Olivier GEORGEON**

Thèse de doctorat de Psychologie

*Mention : Dimensions Cognitives et Modélisation*

dirigée par Robert MARTIN et Alain MILLE

Présentée et soutenue publiquement le 19 Février 2008

Devant un jury composé de : Claude BASTIEN, Professeur à l'Université Aix-Marseille 1, président du jury Guy BOY, Professeur des universités, EURISCO Int Bernard CADET, Professeur à l'Université de Caen Alain MILLE, Professeur à l'Université Lyon I Robert MARTIN, Professeur à l'Université Lyon II Bruno BACHIMONT, Professeur à l'Université de Compiègne. Andry RAKOTONIRAINY, Professeur à la Queensland University of Technology Thierry BELLET, Chargé de Recherche, INRETS Jean-Claude RABIER, Professeur à l'Université Lyon II



# Table des matières

Remerciements . .	1
Résumé .	3
Contrat de diffusion .	5
Épigraphe .	7
Introduction . .	9
Problématique . .	9
Contexte général . .	10
Organisation générale de la thèse . .	11
1. La recherche en ergonomie cognitive : le rôle moteur de l'ergonome .	15
1.1. Le cadre théorique de l'ergonomie cognitive .	15
1.1.1. Contexte historique . .	16
1.1.2. Comprendre l'activité d'un opérateur .	16
1.1.3. L'ergonomie des activités comportant une dimension cognitive . .	18
1.1.4. Une approche de la cognition « située » et « écologique » . .	21
1.1.5. L'analyse de l'activité .	22
1.1.6. Conclusion . .	23
1.2. Comprendre l'activité : Questions épistémologiques .	24
1.2.1. Problématique épistémologique .	24
1.2.2. Les réponses classiques en sciences humaines . .	26
1.2.3. Les réponses de l'ingénierie des connaissances .	28
1.2.4. Les réponses en philosophie des sciences .	29
1.2.5. Conclusion . .	31
2. L'opérateur humain en ergonomie cognitive : cas du conducteur automobile .	35
2.1. Introduction .	35
2.2. Le cadre de la psychologie cognitive .	36
2.2.1. Introduction philosophique .	36

2.2.2. Le cerveau comme système de traitement de l'information .	38
2.2.3. Les modèles structuraux de la mémoire humaine . .	38
2.2.4. Les représentations mentales dans les activités dynamiques . .	43
2.2.5. Les apports de la théorie des Schémas .	45
2.2.6. Les apports de la théorie de la conscience de la situation .	46
2.2.7. Les niveaux de contrôle de l'activité .	48
2.2.8. Conclusion sur l'apport de la psychologie cognitive . .	49
2.3. La Simulation cognitive . .	50
2.3.1. Introduction .	50
2.3.2. Les "frameworks" de simulation cognitive . .	51
2.3.3. La simulation cognitive de haut niveau d'abstraction . .	52
2.3.4. La simulation cognitive de bas niveau .	54
2.3.5. Conclusion sur la simulation cognitive . .	55
2.4. L'état de l'art de la modélisation cognitive de la conduite automobile .	56
2.4.1. Introduction : l'activité de conduite automobile . .	56
2.4.2. Bases historiques de la modélisation de l'activité de conduite .	57
2.4.3. Les modèles contrôle / commande. . .	58
2.4.4. Les schémas tactiques de conduite automobile .	60
2.4.5. Les modèles de simulation cognitive .	61
2.4.6. La catégorisation par apprentissage automatique . .	65
2.4.7. L'exemple des changements de voie sur autoroute .	67
2.5. Conclusion : problématique en ergonomie . .	68
3. Une méthodologie basée sur des instruments d'observation et d'analyse .	71
3.1. Introduction .	71
3.2. Méthodologies d'observation de l'activité . .	72
3.2.1. L'observation directe de l'activité par l'ergonome .	73
3.2.2. Traçage instrumenté de l'activité .	74
3.2.3. Notion de « trace d'activité » .	77
3.3. Explicitation de l'activité par l'opérateur . .	77

3.3.1. La verbalisation pendant l'activité . .	78
3.3.2. Les entretiens d'explicitation .	79
3.3.3. La technique de l'auto-confrontation . .	79
3.4. Analyse des traces d'activité .	80
3.4.1. L'étude de cas .	80
3.4.2. L'analyse exploratoire de données séquentielles .	84
3.4.3. Conclusion . .	88
3.5. Conclusion : problématique méthodologique . .	88
4. Conception d'instruments informatiques pour l'analyse de traces d'activité .	91
4.1. L'apport de l'ingénierie des connaissances .	92
4.1.1. Introduction à l'ingénierie des connaissances . .	92
4.1.2. Acquisition des connaissances . .	93
4.1.3. La découverte de connaissances à partir de données .	95
4.1.4. Les outils de modélisation des connaissances .	96
4.1.5. Modèle du domaine et ontologie .	97
4.1.6. Conclusion sur l'apport de l'Ingénierie des Connaissances . .	98
4.2. L'exploitation des traces d'interaction : Etat de l'art .	99
4.2.1. Introduction .	99
4.2.2. Outils d'analyse de données séquentielles d'interaction .	101
4.2.3. La visualisation de données séquentielles . .	102
4.2.4. Limites des outils existant .	105
4.3. La modélisation des traces d'interaction .	105
4.3.1. Introduction .	105
4.3.2. Le raisonnement à partir d'expérience tracée .	105
4.3.3. Modélisation des traces sous forme de graphes conformes à une ontologie . .	109
4.3.4. Les systèmes à base de traces .	110
4.4. Les outils informatiques pour la construction d'un système à base de trace . .	111
4.4.1. Le formalisme de graphe RDF .	112

4.4.2. Le langage de définition d'ontologie RDF-Schema .	114
4.4.3. L'éditeur d'ontologie PROTÉGÉ .	115
4.4.4. La syntaxe RDF/XML . .	116
4.4.5. Le langage de requête SPARQL .	117
4.4.6. Le format de visualisation graphique SVG .	118
4.4.7. Les transformations XSLT .	119
4.5. Conclusion : problématique en ingénierie des connaissances .	119
5. L'atelier ABSTRACT .	121
5.1. L'architecture logicielle . .	122
5.1.1. Le système de collecte .	123
5.1.2. Le système à base de traces .	127
5.1.3. Le système de documentation . .	133
5.2. L'outil de modélisation interactive AbstractXML .	134
5.2.1. Introduction .	134
5.2.2. Sélection de trace .	135
5.2.3. Informations générales d'une trace . .	136
5.2.4. Visualisation d'une séquence transformée . .	137
5.2.5. Création interactive de transformations .	138
5.3. L'interface bureautique .	140
5.4. Capitalisation de l'expérience de travail sur les traces .	141
5.4.1 L'implémentation d'une sémantique spécifique aux traces . .	142
5.4.2 Manipulation d'éléments génériques de transformation .	143
5.5. Conclusion .	145
6. Mise en œuvre de l'analyse de l'activité .	149
6.1. Recueil de données expérimentales .	150
6.1.1. Introduction : objectifs de l'expérimentation .	150
6.1.2. Le parcours de référence .	151
6.1.3. La pré-expérimentation . .	151
6.1.4. Conditions de déroulement de l'expérimentation .	152

6.1.5. Les participants . . .	152
6.1.6. La procédure . . .	153
6.1.7. Phase d'entretien d'auto-confrontation. . .	153
6.2. Le processus de modélisation de base . . .	156
6.2.1. Le processus de collecte . . .	156
6.2.2. Le premier niveau de trace analysée . . .	161
6.2.3. Conclusion . . .	167
6.3. Construction de modèles cognitifs appliqués aux changements de voie sur autoroute . . .	168
6.3.1. Introduction . . .	168
6.3.2. Apport de la littérature . . .	169
6.3.3. Identification de comportements typiques . . .	169
6.3.4. Schémas cognitifs de changement de voie . . .	172
6.3.5. Conclusion sur la modélisation cognitive des changements de voie . . .	176
6.4. Conclusion . . .	177
7. Résultats et perspectives . . .	179
7.1. Résultats et perspectives en ingénierie des connaissances . . .	179
7.1.1. L'outil ABSTRACT et son usage . . .	179
7.1.2. Vers un outil professionnel d'analyse des traces d'activité . . .	183
7.2. Résultats et perspectives en ergonomie cognitive . . .	187
7.2.1. Des modèles permettant une simulation cognitive du conducteur . . .	188
7.2.2. Vers une application aux systèmes d'assistance à la conduite . . .	189
7.2.3. Une méthodologie de construction de connaissances à partir des traces . . .	190
7.2.4. Contribution à l'étude de la prise de conscience . . .	192
Conclusion . . .	201
Bibliographie . . .	205
Références Bibliographiques . . .	205
Publications . . .	215
Conférences . . .	215

Chapitre de livre . . .	216
Annexes . . .	217
Annexe 1. Parcours de l'expérimentation . . .	217
Annexe 2. Questionnaire de profil du conducteur . . .	219
Annexe 3. Données d'évaluation subjective . . .	223
Annexe 4. Synchronisation des données oculométriques . . .	228
Annexe 5. Synchronisation de la vidéo et des données . . .	230
Annexe 6. Centrage du volant . . .	232
Annexe 7. Informations de cartographie . . .	233
7.1. Données collectées (niveau 0 et 1) . . .	233
7.2. Prétraitements (niveau 2) . . .	236
7.3. Inférences de niveau 3 . . .	238
7.4. Qualité des données . . .	239
Annexe 8. Acquisition des données oculométriques . . .	241
8.1. Données collectées niveau 0 et 1 . . .	241
8.2. World model . . .	242
8.3. Prétraitement des données (niveau 2) . . .	243
8.4. Inférences de niveau 3 . . .	244
8.5. Qualité des données . . .	246
Annexe 9. Données télémétriques . . .	250
9.1. Données collectées (niveau 0 et 1) . . .	250
9.2. Prétraitements (niveau 2) . . .	251
9.3. Inférences de niveau 3 . . .	253
9.4. Qualité de la détection . . .	254
Annexe 10. Analyse d'une tentative de dépassement abandonnée . . .	257
10.1 Identification des dépassements critiques . . .	257
10.2 Analyse . . .	258
10.3 Capitalisation de l'expertise d'analyse . . .	260
Annexe 11. Recherche de prédicteurs de changements de voie . . .	261



<b>11.1. Identification des situations nécessitant un changement de voie . .</b>	<b>261</b>
<b>11.2. Analyse des dépassements et changements de voie . .</b>	<b>262</b>
<b>11.3. Détermination de prédicteurs de dépassement . .</b>	<b>264</b>
<b>11.4. Catégorisation des changements de voie .</b>	<b>266</b>



## Remerciements

Je tiens à témoigner ici que cette thèse ne serait pas ce qu'elle est, si elle n'avait pas bénéficié de multiples collaborations. Mes remerciements vont donc en premier lieu à ceux qui ont apporté la contribution la plus concrète à ce travail, et avec qui j'ai eu grand plaisir à collaborer dans un esprit dynamique, constructif, passionné et toujours amical.

Je remercie Benoit Mathern pour son gros travail de développement informatique sur AbstractXML ; Jean-Marc Trémeaux pour sa contribution aux premiers développements d'ABSTRACT ; Arnaud Bonnard, également pour sa contribution en informatique ; Daniel Letisserand, pour son apport en mathématiques et traitement du signal.

Je remercie Matthias Henning pour sa collaboration scientifique et pour son accueil à Chemnitz ; Anna Mikolajetz et Tony Wynn pour leur partenariat dans notre expérimentation.

Je remercie Philippe Deleurence, Céline Goupil, Vincent Blanchet, Bruno Piechnik également pour leur contribution à cette expérimentation ; ainsi que les participants qui ont bien voulu donner leur « comportement » à la science, au risque de laisser deviner une partie de leur « esprit ».

Je remercie les membres du LESCOT et du LIRIS qui m'ont offert un contexte de travail sympathique et agréable, et tout particulièrement Aurélie Banet.

Je remercie, pour leur encadrement scientifique, chaleureux et motivant, et pour tout ce qu'ils m'ont appris pendant ces trois années, Thierry Bellet et Alain Mille ; et également Robert Martin, Joseph Krems, Frank Ritter.

Je remercie Messieurs les professeurs Bruno Bachimont, Andry Rakotonirainy, Claude Bastien et Jean-Claude Rabier d'avoir accepté de participer au jury de cette thèse, ainsi que Messieurs les Professeurs Guy Boy et Bernard Cadet d'avoir accepté d'être mes rapporteurs.

Enfin je vous remercie, lecteur, qui avez probablement participé, en tant que contribuable européen, au financement de ce travail, par l'intermédiaire de la commission européenne et du réseau d'excellence HUMANIST. J'espère que vous trouverez, dans ce mémoire, des réponses à vos questions.



## Résumé

Comment parvient-on à décrire les processus et états "mentaux" qu'un sujet humain met en œuvre lorsqu'il réalise une activité ? C'est-à-dire : qu'est-ce que des processus et états "mentaux" ? Comment peut-on parvenir à les inférer à partir des comportements et des déclarations de ce sujet ? Quelle description obtient-on ? Notre objectif est d'apporter des réponses à ces questions à partir du contexte de l'ergonomie cognitive de la conduite automobile.

Pour cela nous avons collecté des "traces d'activité" pendant une expérimentation de conduite sur route ouverte, avec un véhicule instrumenté. Ces traces sont des séquences d'événements qui décrivent l'interaction du sujet avec son environnement. Elles contiennent des données issues de capteurs, ou issue d'évaluation faites par l'ergonome ou par le conducteur lui-même. Nous avons mis au point un processus progressif de modélisation de ces traces, avec l'aide d'un outil d'ingénierie des connaissances, que nous avons spécifiquement développé. Ce processus nous permet de produire des modèles de l'activité à différents niveaux d'abstraction. A partir de ces modèles d'activité, nous montrons comment un ergonome peut expliquer l'activité, en référence à son propre cadre théorique explicatif.

Le cadre théorique explicatif que nous avons choisi provient de la psychologie cognitive. Il propose de décrire les processus et états mentaux du sujet comme des "schémas cognitifs", mis en œuvre de manière plus ou moins automatisés ou conscients, c'est-à-dire selon différents "niveaux de contrôle".

Ainsi, avec notre approche, nous pouvons inférer des schémas cognitifs à partir des traces d'activité. Ensuite, nous pouvons expliquer des activités de conduite particulières par le fait que le conducteur met en œuvre certains de ces schémas cognitifs, à certains niveaux de contrôle. Cette démarche soulève des difficultés épistémologiques auxquelles nous répondons par un positionnement "constructiviste", c'est-à-dire évolutionniste, pragmatique, et dirigé par l'ergonome.

Les résultats obtenus sont constitués de la méthodologie que nous avons mise au point, de l'outil informatique que nous avons conçu et réalisé, des modèles de l'activité que nous avons produits, et des schémas cognitifs de conduite automobile que nous avons modélisés.



## Contrat de diffusion

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





## Épigraphe

***“If we are to look for substance anywhere, I should find it in events which are in some sense the ultimate substance of nature.” Alfred N. Whitehead***

***« S’il nous faut partout chercher la substance, je la trouverai quant à moi dans les événements qui sont en un sens la substance ultime de la nature. »***

***Traduction de Guillaume Durand***



# Introduction

## Problématique

Lorsque vous conduisez votre voiture, vous réalisez des séries d'actions dont vous êtes plus ou moins conscient. Vous manipulez les organes de commande : pédales, volant, clignotant, etc. Votre regard parcourt votre environnement, vous réagissez à des informations inattendues telles que des bruits de klaxon ou des commentaires de vos passagers. Vous prenez en permanence des "micro décisions", et parfois des décisions plus importantes telles que des choix de manœuvres particulières. En général, vos actions sont adaptées à la situation dans laquelle vous êtes plongés, mais vous seriez bien incapable de les décrire après coup, dans le détail. Quand vous conduisez, vous démontrez à la fois un "savoir-faire" et des capacités de raisonnement que vous mettez en œuvre plus ou moins consciemment. C'est l'ensemble de ces mécanismes "mentaux" que nous désignons par le terme de mécanismes cognitifs.

Lorsque vous êtes passager, vous pouvez vous faire une idée de ces mécanismes mentaux de votre conducteur. Vous pouvez tenter de comprendre ses actes, en observant à la fois ses comportements et la situation dans laquelle il est plongé. Par exemple, vous pouvez vous apercevoir qu'il a "pris conscience" d'une limitation de vitesse, ou au contraire, qu'il n'a pas conscience d'un danger, ce qui peut vous pousser à

le lui signaler. Pour cela, vous vous appuyez, plus ou moins consciemment, sur votre "savoir-faire" en "psychologie de tous les jours".

Imaginez que vous soyez un ergonomiste de la conduite automobile, travaillant à mieux connaître les mécanismes cognitifs du conducteur, pour proposer des recommandations de sécurité routière ou pour concevoir des systèmes d'assistance "intelligents", qui s'adaptent au conducteur et aux situations. Ces observations et ces interprétations "de tous les jours" ne vous seraient alors plus suffisantes. Vous auriez besoin, d'une part de moyens d'observation plus précis et reproductibles, et d'autre part d'un cadre théorique plus complet pour décrire les mécanismes cognitifs du conducteur que vous déduiriez de vos observations. Comment vous y prendriez-vous, et que découvririez-vous ? Voilà notre question de recherche : comment un ergonomiste peut-il inférer les mécanismes cognitifs d'un conducteur automobile à partir d'une observation instrumentée de son activité de conduite, et quels modèles cognitifs peut-il produire ?

Plus précisément, l'hypothèse de base de notre travail est qu'il est possible, avec les technologies actuelles, de recueillir un enregistrement informatique de l'activité de conduite et de permettre à un ergonomiste, avec l'aide d'outils informatiques, d'en inférer une description des mécanismes cognitifs du conducteur dans le cadre théorique de la psychologie cognitive. C'est cette hypothèse que nous allons chercher à démontrer.

## Contexte général

Notre recherche concerne à la fois l'ergonomie cognitive et l'informatique. Du point de vue de l'ergonomie cognitive, nous travaillons dans le cadre de l'axe "Ergonomie et sécurité des systèmes embarqués" du LESCOT (Laboratoire en Ergonomie et Sciences Cognitives pour les Transports) de l'INRETS (Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité). Nous bénéficions, au LESCOT, d'un véhicule instrumenté qui permet d'enregistrer les comportements du conducteur ainsi que certaines informations sur les situations routières dans lesquelles ils sont mis en œuvre.

Pour l'exploitation informatique de ces données, nous travaillons avec le laboratoire LIRIS (Laboratoire d'InfoRmatique en Image et Systèmes d'information) de l'université Claude Bernard Lyon 1, et plus particulièrement avec l'équipe SILEX (Supporting Interaction and Learning by Experience). L'équipe SILEX travaille sur l'exploitation des traces d'interaction homme/machine avec des techniques d'ingénierie des connaissances. Elle a été également amenée à s'intéresser aux phénomènes cognitifs mis en œuvre par les utilisateurs des outils développés avec ces techniques.

La "cognition étudiée selon son déploiement en interaction avec un objet technique" constitue ainsi un intérêt scientifique commun entre l'équipe SILEX et le LESCOT. C'est cet intérêt commun qui a justifié notre volonté de collaboration. Les problématiques du LESCOT feront progresser les problématiques de l'équipe SILEX en leur offrant un terrain d'application. En retour, les techniques de l'équipe SILEX apporteront au LESCOT de nouvelles méthodologies et outils pour étudier les processus cognitifs du conducteur

automobile. Notre travail vise donc des avancées scientifiques dans les deux domaines : l'ergonomie cognitive appliquée à la conduite automobile et l'ingénierie des connaissances au service d'un utilisateur humain. C'est un travail trans-disciplinaire.

Enfin ce travail a été financé par la commission européenne par l'intermédiaire du réseau d'excellence HUMANIST (HUMAN centered design for Information Society Technologies). Dans ce cadre, deux autres partenaires se sont associés à nous : le laboratoire de psychologie de l'université de Chemnitz en Allemagne (Technische Universität Chemnitz – CUT) avec le projet de thèse de Matthias Henning ; et le Transportation Research Laboratory (Laboratoire de recherche sur les transports en Angleterre – TRL) avec la thèse de Tony Wynn. Ces partenariats nous ont amenés à utiliser l'anglais comme vocabulaire technique dans nos travaux.

Notre partenariat avec le CUT a été très étroit et nous a conduits, dans un cadre scientifique que nous développerons, à choisir l'exemple du changement de voie sur autoroute pour illustrer nos analyses. Il s'agit du thème de recherche de Matthias Henning. Notre partenariat avec le TRL a été plus ponctuel et s'est limité au recueil de données sur la personnalité de nos sujets d'expérimentation. Le but de Tony Wynn était d'examiner des éventuelles corrélations entre la personnalité des conducteurs et leur style de conduite.

## Organisation générale de la thèse

Afin de rendre compte du caractère trans-disciplinaire de notre travail, ce mémoire adopte le plan croisé présenté à la Figure 1. Nous commencerons par présenter notre positionnement général entre les deux champs de recherche de l'ergonomie cognitive et de l'ingénierie des connaissances (1). Ensuite, nous nous positionnerons du côté de l'ergonomie cognitive pour présenter le cadre théorique de l'étude du conducteur automobile (2), et notre approche méthodologique (3). Puis nous nous positionnerons du côté de l'ingénierie des connaissances pour présenter son état de l'art (4), suivi de nos propres réalisations informatiques (5). Enfin, nous unirons ces deux aspects pour présenter l'accomplissement de notre travail de modélisation cognitive du conducteur automobile, grâce à nos réalisations informatiques (6). En dernière partie, nous ferons un bilan des résultats et en discuterons les perspectives (7).

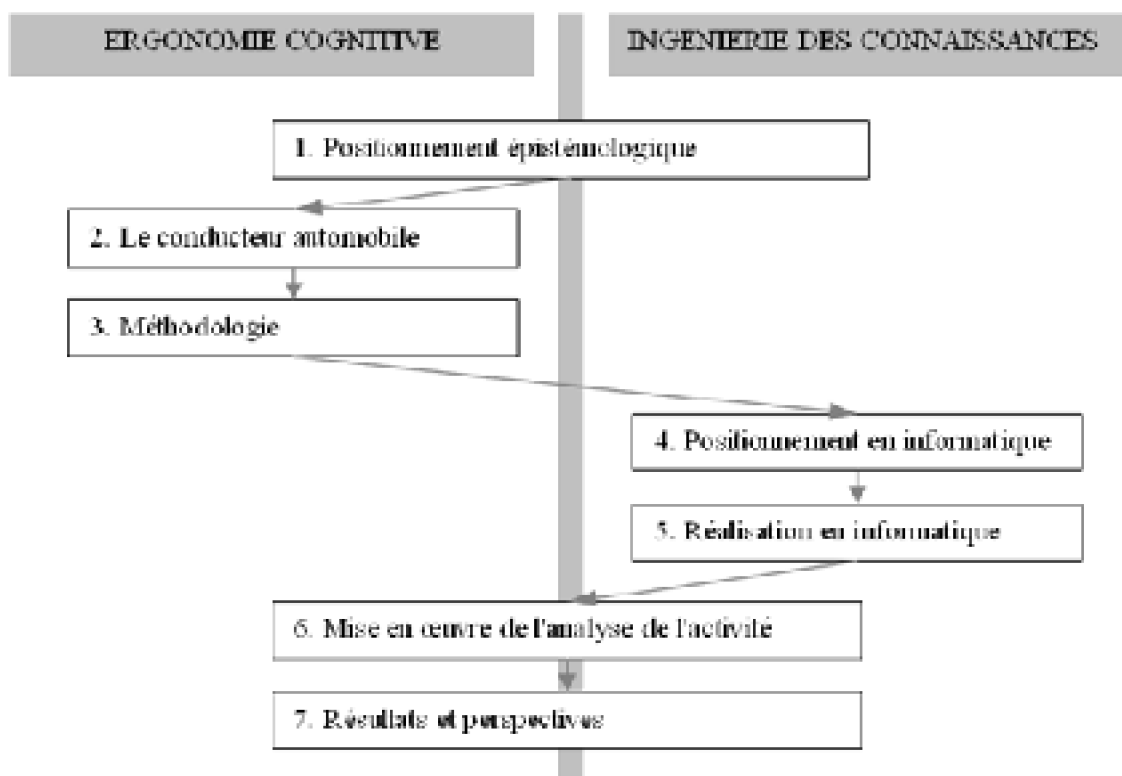


Figure 1 : Architecture du mémoire

Le chapitre 1 présentera notre objectif général de construction de connaissances en ergonomie cognitive. Dans ce chapitre, l'ergonome est présenté à la fois comme le moteur du processus de construction de connaissances à propos de la cognition du conducteur, et comme l'utilisateur d'un système d'ingénierie des connaissances. Ce chapitre nous positionne dans le cadre des épistémologies constructivistes selon lesquelles toute connaissance est construite par et pour un "sujet connaissant", et à ce titre, les connaissances en ergonomie sont construites par et pour un ergonome, ou une communauté d'ergonomes.

Le chapitre 2 présentera le point de vue de l'ergonome sur l'opérateur qu'il étudie. L'opérateur est considéré comme un sujet cognitif plongé dans une activité. Nous présenterons tout d'abord l'apport de la psychologie cognitive pour décrire ce "sujet cognitif", avec les notions de "représentation mentale", de "conscience de la situation" et de "schéma cognitif". Nous présenterons les architectures du système cognitif humain et les approches de simulation qui permettent de modéliser son activité cognitive et son comportement. Enfin nous décrirons nos connaissances sur l'opérateur particulier qu'est le conducteur automobile, et la façon dont il est étudié au Lescot. Cela nous conduira à nous intéresser plus particulièrement à la notion de "schéma tactique de conduite automobile".

Le chapitre 3 présentera notre méthodologie pour étudier ce conducteur automobile. Cette méthodologie nous conduira à définir la notion de "trace d'activité" comme un ensemble de données séquentielles produites par l'observation de l'activité et permettant à un ergonome de comprendre l'opérateur. Nous formulerons alors des besoins en termes de méthodologie et d'outils informatiques pour analyser ces traces d'activité.

Le chapitre 4 présentera le cadre théorique de la partie informatique de notre travail. Il nous conduira à définir la notion de "Système à Base de Traces" (SBT) comme un système à base de Connaissances dédié aux traces. Nous formulerons des objectifs pour la partie informatique de notre travail : concevoir l'architecture et la méthodologie d'usage d'un outil d'analyse des traces d'activité, et en réaliser un prototype.

Le chapitre 5 présentera notre réponse à cet objectif en informatique. Il décrira l'architecture et la réalisation de notre outil, nommé ABSTRACT pour "*Analysis of Behavior and Situation for menTal Representation Assessment and Cognitive acTivity modeling*". Cet outil est conçu comme un outil générique permettant d'analyser des traces de toutes formes d'activités.

Le chapitre 6 réalisera le rapprochement entre notre travail en informatique et notre objectif d'ergonomie cognitive. Nous présenterons comment, en prenant le rôle de l'ergonome, nous avons mis en œuvre notre méthodologie de recueil des traces à partir d'une expérimentation de conduite automobile, et réalisé leur analyse avec ABSTRACT. Ce chapitre constituera donc à la fois une réponse à nos objectifs en ergonomie cognitive et une illustration de l'utilisabilité de notre système informatique.

Le chapitre 7 fera un bilan des résultats obtenus et en proposera une discussion. En particulier, nous proposerons une synthèse des deux approches de la cognition que nous avons utilisées tout au long de notre travail : une approche centrée sur un sujet humain qui est l'opérateur, et une approche centrée sur l'interaction d'un sujet humain avec son environnement, qui est l'ergonome utilisant le système ABSTRACT pour construire des connaissances.





# 1. La recherche en ergonomie cognitive : le rôle moteur de l'ergonome

Dans ce premier chapitre, nous positionnons notre travail dans le cadre de l'ergonomie cognitive. Nous commençons par présenter l'objet d'étude de celle-ci : un opérateur, qui est un sujet cognitif impliqué dans une activité. Dans ce cadre, la cognition de cet opérateur est étudiée par la façon dont elle se déploie dans cette activité, toujours en rapport à un contexte courant. Nous présentons la méthodologie employée par les ergonomes pour l'étudier : l'analyse de l'activité. Cette approche soulève alors la question de savoir comment un ergonome peut-il construire une connaissance à propos des connaissances traitées par l'opérateur.

Cette double question sur la connaissance nous oblige à préciser notre positionnement épistémologique. C'est ce que nous faisons dans la deuxième partie de ce chapitre. Cela nous conduit à préciser davantage notre sujet d'étude, qui ne porte pas seulement sur la cognition de cet opérateur mais aussi sur la façon dont l'ergonome peut étudier la cognition de cet opérateur.

## 1.1. Le cadre théorique de l'ergonomie cognitive

### 1.1.1. Contexte historique

---

L'homme a probablement toujours porté une réflexion sur son activité pour tenter de l'optimiser. On en retrouve des traces qui remontent à la Grèce antique : Xénophon, général et philosophe athénien (vers 427 - 355 avant J-C.) préconisait de diviser le travail de fabrication des chaussures de l'armée de façon à ce que chaque ouvrier n'effectue qu'une seule opération.

Cette réflexion sur l'activité dans le but de l'optimiser s'est constituée comme science en 1949 avec la création de la société anglaise d'ergonomie. Cette nouvelle science a depuis lors posé les bases de son objet, mis au point le cadre de ses pratiques, et défini ses notions fondatrices. C'est dans ce cadre de recherche que nous positionnons notre travail. Ces dernières décennies, la mécanisation, l'automatisation et l'informatisation ont entraîné une profonde transformation des activités humaines, entraînant parallèlement une évolution de l'ergonomie. Les activités physiques, impliquant une mise en œuvre d'énergie importante, ont massivement laissé la place à des activités mentales qui se traduisent par des actions à vocation informationnelle, telles qu'appuyer sur une pédale ou taper un texte sur un clavier.

Dans ce contexte, les performances des opérateurs ne s'expriment plus en termes physiques, telles que la qualité du geste ou la rapidité d'exécution, mais en termes mentaux, tels que le bien-fondé d'un choix ou la qualité d'un texte. Du point de vue de la subjectivité de l'opérateur, les contraintes ne s'expriment plus en termes de fatigue musculaire mais en termes de fatigue mentale, de charge mentale, de difficulté de compréhension, de difficulté à prendre en compte tous les éléments d'une situation ou d'un problème. L'activité elle-même ne s'exprime plus en termes de gestes physiques mais en termes mentaux tels que raisonnement, évaluation, anticipation. Cette évolution du travail a donné naissance à l'ergonomie cognitive, que nous présentons dans ce chapitre.

### 1.1.2. Comprendre l'activité d'un opérateur

---

#### 1.1.2.1. Le positionnement de l'ergonome comme sujet épistémologique

Il existe plusieurs définitions de l'ergonomie. Etymologiquement, ce terme provient du mot grec "ergon" qui signifie travail, et désigne donc la science du travail. Mais si l'ergonomie s'est initialement intéressée aux situations de travail définies comme « un comportement acquis par apprentissage et tenu de s'adapter aux exigences d'une tâche », elle a depuis élargi son champ d'étude à toutes les formes d'activité susceptibles d'être améliorées. En pratique, Leplat, l'un des membres fondateurs de la société d'ergonomie de langue française (SELF), en propose deux acceptions différentes : soit « *une technologie dont l'objet est l'aménagement du travail* », soit *la science de l'activité de l'homme au travail, voire la science du travail* ». La SELF a adopté en 1988 la définition suivante : « la mise en œuvre de connaissances scientifiques relatives à l'homme et nécessaires pour concevoir des outils, des machines et des dispositifs qui puissent être utilisés par le plus

grand nombre avec le maximum de confort, de sécurité et d'efficacité. » Dans le monde anglo-saxon, une définition couramment acceptée est celle de Wilson & Corlett : "the theoretical and fundamental understanding of human behavior and performance in purposeful interacting systems, and its application to design interactions in the context of real settings" , p560.

Pour comprendre l'activité d'un opérateur, l'ergonomie fait appel à des connaissances issues de plusieurs disciplines : psychologie, physiologie, sociologie, sémiotique, médecine, ingénierie, sciences cognitives. Son originalité est d'essayer d'exploiter ces connaissances de manière coordonnée pour la solution de problèmes pratiques. Ce faisant, elle contribue elle-même à la production de connaissances dans ces domaines et au développement de ces sciences. Leplat souligne qu'elle peut dès lors être considérée comme une des quelques sciences multi- ou trans-disciplinaires qui peuvent réellement contribuer à améliorer le bien-être et les performances des gens, organisations ou sociétés.

L'ergonomie comporte donc une partie théorique qui vise à la compréhension de l'activité humaine et une partie applicative qui vise à l'amélioration de cette activité. Notre travail se focalisera principalement sur la partie théorique : comprendre et produire des modèles qui permettent d'expliquer et prédire le comportement des opérateurs. Cependant nous prenons le terme "comprendre" dans son sens pragmatique, qui considère toute signification comme fondée par un usage final. Cet objectif de compréhension nous amène à nous interroger sur le statut épistémologique du "sujet comprenant", qui est l'ergonome au sein de la communauté scientifique de l'ergonomie. Nous discutons de cet aspect épistémologique au paragraphe 1.2. Ce "sujet comprenant" qu'est l'ergonome porte son étude sur un "sujet agissant" qu'est l'opérateur.

### 1.1.2.2. Objet d'étude de l'ergonomie : l'activité d'un opérateur humain

De nombreux auteurs nous rappellent que deux objets d'étude de l'ergonomie doivent être distingués .

Le premier est l'humain en tant que système indépendant. Dans ce cas, l'ergonomie vise à produire des connaissances, telles que l'anthropométrie, la physiologie, les caractéristiques cognitives, qui sont applicables à la conception de systèmes techniques. C'est l'approche souvent reconnue comme dominante aux Etats-Unis sous le terme de « human factors » .

Le second objet d'étude est l'activité en elle-même. Cette approche privilégie le dynamisme de l'activité humaine plutôt que la permanence des caractéristiques physiques et physiologiques. L'activité est analysée comme un processus où interagissent un opérateur et son environnement technique, lui aussi évolutif et influençable. Dans ce cadre, l'ergonomie définit l'opérateur comme un "sujet humain agissant", capable d'initiatives et de réactions. Contrairement à la psychologie, l'ergonomie ne conçoit pas le sujet humain indépendamment de son activité. Comme le souligne Montmollin (p14), dans cette approche, « la dimension temporelle est donc essentielle. Sans elle, l'ergonome ne pourrait prendre en compte ce dont il se délecte aujourd'hui : les stratégies de l'opérateur pour s'adapter et pour adapter, les diagnostics

qu'il élabore progressivement et les problèmes qu'il résout, les incidents auxquels il participe et l'historique de leur « récupération » ».

Nous nous plaçons résolument dans la deuxième approche en nous intéressant à l'activité de conduite automobile. Dans ce cadre, nous serons amenés à adopter le terme "d'opérateur", proposé par l'ergonomie pour désigner notre "sujet cognitif" qu'est le conducteur. Nous voulons souligner ainsi que nous ne le considérons pas indépendamment de son activité qu'est la conduite automobile.

Nous adoptons alors ce que Montmollin désignait comme une nouvelle approche de l'ergonomie qui viserait à apporter de nouveaux types de recommandations. Ces recommandations pourront porter sur des situations précises, ou sur des catégories de situations qui auront pu être identifiées et décrites dans leur dimension contextuelle. De part notre intérêt pour l'action, nous pouvons alors adopter une approche plus cognitive qui s'intéresse à la façon dont l'opérateur donne sens aux situations et aux éléments qui les constituent. Pour cette nouvelle ambition, Montmollin soulignait que l'ergonomie devait forger des outils qui permettraient, « plus localement, plus singulièrement, et donc plus lentement et plus coûteusement, d'analyser les processus d'interaction entre les opérateurs et les « machines », afin de modifier ces processus mêmes, en agissant aussi bien sur les compétences des opérateurs, sur l'organisation du travail, ou sur les caractéristiques des machines. »

### **1.1.3. L'ergonomie des activités comportant une dimension cognitive**

---

Toute activité humaine comporte une dimension mentale puisque sa conscience accompagne naturellement l'être humain dans toute sa vie éveillée. Ainsi, toute activité implique une intention ou une volonté, un contrôle ou un pilotage, une organisation, des choix, une évaluation affective, et en général une recherche de satisfaction immédiate ou différée. L'ergonomie a commencé à s'intéresser à la dimension mentale des activités humaines quand de nouvelles questions liées à l'usage et à la conception ont commencé à se poser avec l'apparition des nouvelles technologies de l'information. L'apparition de l'ergonomie cognitive (Cognitive Ergonomics) est située par Hoc dès les années 1970 avec la publication de l'article de Sime, Fitter & Green traitant de l'activité de programmation de systèmes informatiques. Elle provient d'un double constat d'insuffisance de l'ergonomie traditionnelle : insuffisance pour comprendre l'utilisation des nouveaux outils et insuffisance pour les concevoir.

La première insuffisance souligne que les nouvelles activités étudiées ne peuvent plus être comprises sans prendre en considération les activités cognitives mises en jeu par les opérateurs. La seule observation du comportement ne suffit plus et d'autres méthodes doivent être élaborées. Les états mentaux et raisonnements n'étant pas directement observables, ils doivent être inférés à partir de ce qui est observable, c'est-à-dire les comportements et les déclarations de l'opérateur. Ces nouvelles méthodes de l'ergonomie peuvent elles-mêmes s'appuyer sur les principes et les outils de l'ingénierie cognitive, reprenant et adaptant à ses besoins des concepts de traitement de l'information symbolique ou de résolution de problème.

## 1. La recherche en ergonomie cognitive : le rôle moteur de l'ergonome

---

L'insuffisance pour la conception repose sur le pressentiment que les nouveaux outils informatiques devraient permettre d'assister et d'améliorer les activités cognitives humaines dans des situations de résolution de problèmes complexes . Mais comment ?

Ces deux insuffisances rejoignent deux préoccupations classiques de l'ergonomie. D'une part la préoccupation d'améliorer les conditions de l'activité telle qu'elle est vécue par le sujet humain. D'autre part la préoccupation d'améliorer la performance de l'activité. Selon le point de vue, l'objet même auquel renvoie le terme *cognitif* peut varier :

- Si le terme *cognitif* est pris comme renvoyant à l'expérience subjective de l'opérateur, alors on adopte un point de vue centré sur cet opérateur, qui se focalise sur son vécu subjectif, sur ses compétences et sur le statut éthique qu'on lui reconnaît.
- Si le terme *cognitif* est pris comme renvoyant à une propriété émergente d'un système complexe, alors on peut adopter un point de vue qui considère l'ensemble homme-machine comme un système cognitif en tant que tel, et qui vise à améliorer ses performances globales.

La première approche semble plutôt issue de la tradition de la psychologie, et accorde une place centrale au sujet humain, sans l'étudier comme une machine. En France, elle provient des travaux issus de la psychologie du travail, notamment de J.-M. Lahy, J. Leplat, A. Laville, M. de Montmollin, A. Bisseret, J.-C. Sperandio. Leplat la présente comme l'ensemble des connaissances psychologiques pertinentes à l'analyse et à la solution des problèmes ergonomiques.

La seconde approche semble plutôt provenir d'une tradition d'ingénierie. Elle considère les agents humains comme des systèmes cognitifs dont les actions se combinent avec celles de la machine, qui, elle aussi, peut être vue comme un système cognitif jouissant de propriétés déterminées. Ainsi Hollnagel & Woods ont proposé la notion de système cognitif conjoint (joint cognitive system). L'analyse cognitive du travail est alors celle du fonctionnement de ce système conjoint, c'est-à-dire celle du couplage entre l'homme et le système technique auquel il est associé.

Hollnagel & Woods cherchent à rendre compte de ce couplage dans le modèle ECOM présenté à la Figure 2. Sa caractéristique principale est de proposer un découpage orthogonal par rapport au découpage classique homme/machine. Ce découpage intègre le couplage homme/machine à chacun de ses niveaux.

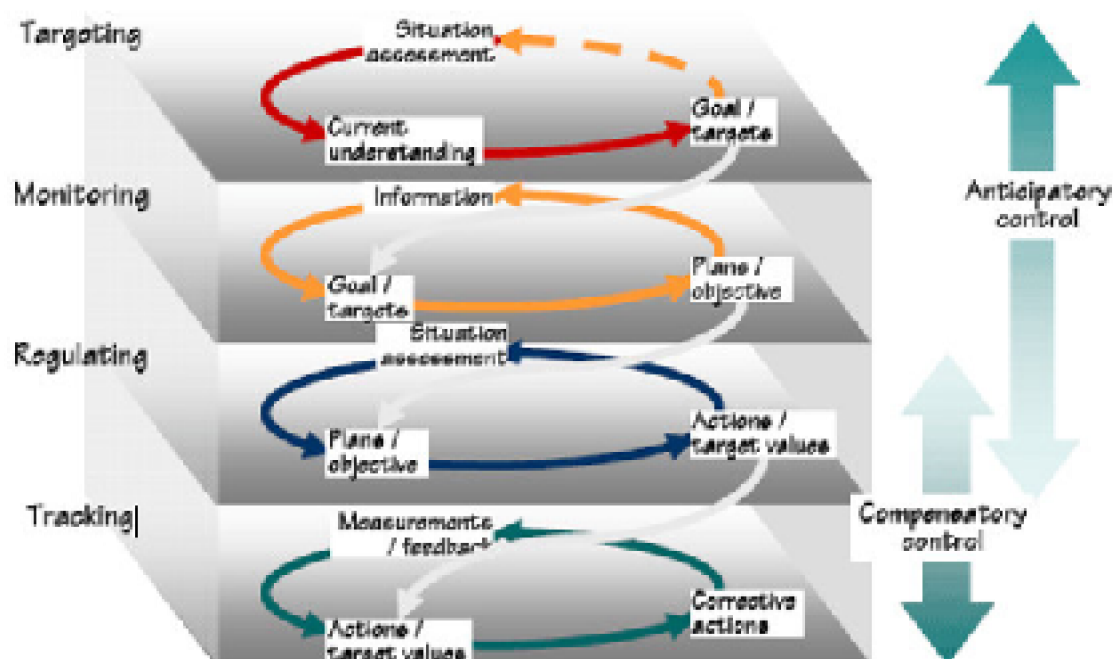


Figure 2 : The Extended Control Model (ECOM), (Hollnagel 2005)

Le modèle ECOM repose sur l'hypothèse fondatrice que des objectifs correspondant à des couches différentes peuvent être poursuivis simultanément, et que ces objectifs et leurs processus de contrôle associés interagissent de façon complexe. Il propose donc une vision de la façon dont les objectifs de différents niveaux interagissent. Les objectifs de haut niveau se propagent vers le bas pour produire les manipulations instantanées. Mais des tâches de contrôles des différents niveaux peuvent aussi interférer. Ainsi, quatre niveaux de contrôle sont proposés : "tracking", "regulating", "monitoring", et "targeting". En situation de tâche contrôlée, les objectifs de chaque niveau sont déterminés par le niveau du dessus. Le niveau "tracking" correspond aux corrections immédiates et automatisées des perturbations. Le niveau "regulating" correspond à des processus plus conscients qui fixent les valeurs cibles de la boucle de "tracking". Le niveau "monitoring" réfère au contrôle de l'état du système cognitif joint en rapport avec l'environnement. Il génère l'évaluation de la situation qui détermine les objectifs du niveau "regulating". Le niveau "targeting" définit les objectifs généraux.

Ce cadre conceptuel, puisqu'il se focalise sur le couplage homme-machine, est aussi propice à l'étude de la coévolution homme/machine proposée par Boy ou Rabardel . Dans le domaine de la conduite automobile, il rejoint celle de "Conducteur-Véhicule-Environnement" (DVE Model) de Cacciabue & Re .

Ces deux conceptions de l'ergonomie cognitive, centrée sur l'opérateur ou centrée sur l'interaction, issues de deux approches de la cognition différentes, nous semblent complémentaires. Elles se rejoignent même dans le fait qu'elles accordent toutes deux à la cognition un caractère incarné dans un opérateur en prise avec un environnement. Dans les deux cas, elles s'écartent d'une conception de laboratoire qui chercherait à

étudier la cognition en dehors de son contexte.

### 1.1.4. Une approche de la cognition « située » et « écologique »

---

Dès les débuts de la psychologie scientifique, James énonça le principe qu'il ne pouvait exister d'activité mentale en dehors de tout contexte humain de sa production. L'idée que toute cognition est intimement liée à son contexte d'existence est actuellement largement admise. Comme le soulignent Hollnagel & Woods p60, la notion de "contexte" est consubstantielle à la notion de cognition. "Considering cognition and context together is not only appropriate, it is imperative and therefore in a sense superfluous. To talk about cognition and context - such as contextual or situated cognition - logically implies that there is also cognition without a context, i.e., cognition as pure, abstract, or ethereal process. Since this clearly cannot be the case in an absolute sense, there is strictly speaking no need to talk about context".

Cette nature intrinsèquement contextualisée de la cognition n'empêche pas de considérer qu'elle possède des caractéristiques générales, qui puissent être mises en évidence et étudiée dans des contextes simplifiés, et rester valides dans de nombreuses situations spécifiques. Elle n'empêche pas non plus de s'intéresser aux capacités humaines de manipulation de symboles, une fois que ceux-ci ont été construits dans le contexte d'une activité. Cette manipulation de symboles peut ensuite être simulée dans un système informatique. Une telle simulation décontextualisée, qui s'exécute sans recours à la signification des symboles, ne constitue pas en elle-même un système cognitif, mais peut jouer le rôle de modèle d'un système cognitif réel.

Wilhelm Wundt, le fondateur en 1879 du premier laboratoire de psychologie expérimentale, exprime cette distinction entre deux approches de la psychologie. D'une part l'étude des lois associatives qui décrivent le fonctionnement de l'intelligence, qui peuvent être étudiées en laboratoire. D'autre part l'étude de la volonté libre et créatrice du sujet, qu'il appréhende par la notion d'*aperception*. « L'aperception consistant en ce pouvoir volontaire que nous avons d'amener une représentation au point de vision distincte de la conscience et de l'y maintenir ». L'étude de l'*aperception* consiste en l'étude de l'exercice de la volonté en situation active, et non des comportements passifs en situation réactive de laboratoire.

L'ergonomie cognitive, se rattache à cette approche qui s'intéresse à des activités humaines en situation « écologique », finalisées par une tâche non volontairement conçue à des fins de recherche. Comme le souligne Hoc, les propriétés cognitives qu'elle cherche à mettre en évidence ainsi que les modèles de traitement de la connaissance qu'elle produit, visent à rendre compte de leur caractère finalisé par l'action. Par le choix de son domaine d'intérêt elle se fixe les objectifs et se donne du même coup les moyens d'étudier comment les actes et les connaissances manipulées par le sujet prennent sens pour lui dans le contexte de son activité.

Ce parti pris de l'ergonomie cognitive d'étudier la cognition « in vivo » la rapproche du courant de la "cognition située". Ce courant des sciences cognitives propose l'idée que la construction du sens par un sujet puisse être comprise par l'étude de son activité située

dans son environnement. Selon Clancey , le vécu subjectif d'une personne ne peut pas être réduit à sa simple activité cérébrale : "What is experienced by a person and viewed by an observer [...] is the ongoing product of a coupled causal relation, such that the entity being studied and its context (whether neurological, conceptual, physical-artifactual, interpersonal, or ecological) are shaping each other in a complex system".

En reconnaissant que le vécu subjectif d'une personne a quelque chose à voir avec son incarnation dans une situation finalisée, cette approche soulève des questions sur la nature même de la connaissance. Ce sont des questions d'ordre épistémologique que nous discutons au paragraphe 1.2.

### 1.1.5. L'analyse de l'activité

---

L'activité se définit intuitivement par « ce qui se fait dans une situation particulière » , p26. Pour préciser les termes, l'ergonomie la distingue traditionnellement de la tâche comme l'exprime Ombredane & Faverge , p2 : « Deux perspectives sont à distinguer dès le départ dans une analyse du travail : celle du quoi et celle du comment. Qu'est ce qu'il y a à faire et comment les travailleurs qu'on considère le font-il ? D'une part la perspective des exigences de la tâche et d'autre part, celle des attitudes et séquences opérationnelles par lesquels les individus observés répondent réellement à ces exigences. » L'activité se distingue d'un phénomène purement physique par le fait qu'elle est produite par un opérateur qui poursuit une certaine intention. Dans cette perspective, Leontiev la caractérise comme étant composée d'un sujet (une personne ou un groupe), d'un objet (qui lui donne une orientation consciente et spécifique, et derrière lequel se trouve nécessairement un besoin ou un désir que l'activité doit permettre d'atteindre), d'actions (qui correspondent aux processus structurés par les buts conscients) et d'opérations (les moyens non conscients mis en œuvre par l'atteinte d'un but conscient).

Par définition, toute activité se déroule au cours du temps, c'est un processus dynamique. Du point de vue de l'opérateur, son environnement lui-même lui apparaît souvent comme un environnement dynamique, c'est-à-dire susceptible d'évoluer par lui-même sans intervention de sa part. Il est vrai que dans certains cas, par certains aspects, on peut définir des situations statiques qui n'évoluent pas sans action de l'opérateur, par exemple l'usage d'un système informatique dont chaque évolution apparaît à l'opérateur comme une conséquence directe et attendue d'une action sur le clavier ou la souris. Mais dans le cas général, l'activité apparaît comme le contrôle d'une situation dynamique par un sujet intentionnel ; la situation apparaissant comme dynamique au sujet par les aspects qui concernent ses intentions. Ainsi, selon Clot , l'activité « est loin d'être la simple et libre manifestation des intentions d'un sujet mais plutôt la médiation entre les attendus génériques de l'action et les inattendus du réel. »

La difficulté pour un ergonomiste qui observe à la fois l'opérateur et son environnement, réside dans la difficulté de comprendre la pertinence pour l'opérateur, à la fois de ses actes et de l'évolution de la situation. Pour cette compréhension, Hoc , p224, souligne le rôle central des *objets informationnels* comme médiateurs entre le monde et l'activité mentale. Il définit l'objet de l'analyse de l'activité comme étant l'interaction entre les éléments de l'environnement et la dynamique des activités mentales de l'opérateur.



## 1. La recherche en ergonomie cognitive : le rôle moteur de l'ergonome

---

Parce que toute activité est toujours l'activité d'un opérateur intentionnel, elle ne peut pas être ramenée à un simple flux temporel de tous les mouvements de cet opérateur et de toutes les évolutions de son environnement. Ces mouvements et ces évolutions ne peuvent être appréhendés que par rapport à des intentions. L'activité est constituée intrinsèquement de ce qui est pertinent, pour l'opérateur lui-même, par rapport à ses propres intentions, dans ce flux d'évolution. Nous proposons donc la définition suivante de l'activité :

L'activité est un flux temporel des aspects pertinents pour un opérateur, de son comportement et de l'évolution de son environnement.

Définir ainsi l'activité revient à la reconnaître comme un objet des sciences humaines, et non comme un phénomène physique qu'il s'agirait de mesurer. C'est se placer dans un cadre scientifique qui reconnaît d'emblée un statut de "sujet connaissant" à l'opérateur.

Pour un ergonome, comprendre l'activité d'un opérateur c'est comprendre le flux temporel de ses comportements et de l'évolution de son environnement, en ce qu'il a de pertinent pour cet opérateur lui-même. Cette compréhension part naturellement d'une observation de l'activité. L'observation se doit d'être la moins intrusive possible de façon à perturber le moins possible l'activité. Elle peut être menée de manière très ouverte ou en se focalisant sur certaines catégories d'information avec des objectifs précis, on parle alors d'observations systématiques. Conformément à la notion même d'activité que nous venons de proposer, la méthodologie d'observation en ergonomie vise à se centrer sur ce que fait l'opérateur, ses actions, son fonctionnement, ses intentions, ce qui est significatif pour lui, à partir de la manière dont il agit face à la tâche. Le but est de permettre à l'ergonome de comprendre les modes de fonctionnement de l'opérateur, sa manière de gérer la diversité et la variabilité des éléments de la situation qui sont pertinents pour atteindre les buts qu'il s'est fixés et son mode d'organisation (actions, prises d'informations, gestion du temps...).

Cette question de la pertinence pour l'opérateur devient alors une question clé : comment l'ergonome peut-il savoir ce qui est pertinent pour l'opérateur ? Cette question nous renvoie à un deuxième niveau de difficulté épistémologique. Il ne s'agit plus seulement de savoir ce qu'est une connaissance connue par un "sujet connaissant". Il s'agit de savoir comment un "sujet connaissant" qui est ergonome, peut construire une connaissance scientifique à propos de ce que connaît un second "sujet connaissant" qui est opérateur.

### 1.1.6. Conclusion

---

Nous avons situé notre travail dans le cadre de l'ergonomie cognitive. Nous nous sommes positionnées dans une conception de l'ergonomie comme une science finalisée de l'activité. Cette finalité porte sur l'amélioration des conditions d'exercice de l'activité, la sécurité et la réduction des risques, l'amélioration des performances, la conception des artefacts techniques ou d'outils d'assistance. Plus spécifiquement, nous avons présenté l'ergonomie cognitive comme une science des activités comportant une dimension

mentale. L'approche "cognitive" renvoie à une approche de l'humain qui s'intéresse aux fonctionnements mentaux de celui-ci. L'ergonomie cognitive part du postulat que les comportements d'un opérateur ne peuvent pas recevoir d'explication définitive sans faire référence aux états mentaux de cet opérateur.

Ce positionnement nous amène à prendre en considération deux rôles distincts de "sujet connaissant". Le premier rôle est le rôle d'un "opérateur" qui réalise une activité. Nous avons défini l'activité comme un flux temporel des aspects pertinents pour cet opérateur, de son comportement et de l'évolution de son environnement. Le second rôle est le rôle de "l'ergonome", qui cherche à construire une connaissance scientifique à propos de l'activité de l'opérateur. D'une manière générale, ces deux rôles peuvent être tenus par des individus isolés ou par des individus agissant collectivement. Les rôles relatifs de ces deux "sujets connaissant" posent des questions sur les conditions de construction de la connaissance, que nous nous proposons d'aborder au paragraphe suivant.

Nous avons introduit deux grandes approches de l'ergonomie cognitive, l'une centrée sur l'opérateur, et l'autre centrée sur l'interaction homme/machine.

Dans la partie de notre travail qui concerne l'analyse du conducteur automobile, nous adopterons une position qui relève de la première approche. Dans ce cadre, nous présenterons au chapitre 2 un état de l'art centré sur l'opérateur humain en général et le conducteur automobile en particulier. Ensuite, nous développerons au chapitre 3 une méthodologie visant à investiguer le fonctionnement cognitif de cet opérateur. Puis nous appliquerons cette approche dans notre analyse de l'activité décrite au chapitre 6.

Dans la partie de notre travail qui porte sur l'ingénierie des connaissances, et sur la façon dont l'ergonome peut construire des connaissances à propos de l'opérateur, nous adopterons une approche plutôt centrée sur l'interaction. Nous ne développerons pas de modèle centré sur l'ergonome mais nous examinerons son interaction avec un système d'ingénierie des connaissances dans les chapitres 4 et 5.

Enfin, nous ferons une synthèse de ces deux approches dans le chapitre 7.

## 1.2. Comprendre l'activité : Questions épistémologiques

### 1.2.1. Problématique épistémologique

---

Comme nous venons de le voir, la question de la compréhension de l'activité et de son explication par l'activité cognitive de l'opérateur pose certaines questions fondamentales d'ordre épistémologique.

Souvent, les praticiens de l'ergonomie cognitive y répondent par une démarche fondée sur un savoir-faire non entièrement explicité comme nous l'avons présenté au

paragraphe 1.1.5.

Toutefois, cette question revêt une importance particulière lorsque l'ergonome tente de formaliser le processus d'analyse à l'aide d'un système d'ingénierie des connaissances. Dans ce cas, l'ergonome, qui devient un "ingénieur des connaissances", est amené à expliciter les mécanismes et les concepts les plus basiques qu'il définit dans le système d'ingénierie des connaissances. Si certaines limites épistémologiques rendent impossible une démonstration absolue de chacun de ses choix élémentaires de modélisation, alors comment l'édifice qu'il construit pourrait-il constituer un ensemble de connaissances valides ?

Pour répondre à cette question, nous sommes amenés à discuter du statut épistémologique de nos objets d'étude. D'une part, le statut épistémologique de l'activité en sciences humaines, c'est-à-dire comment l'activité peut-elle être prise comme objet de connaissance par un ergonome ? Et d'autre part, le statut épistémologique du "point de vue de l'opérateur", par lequel l'ergonome cherche à expliquer cette activité. C'est-à-dire comment les états et processus mentaux de l'opérateur peuvent-ils être pris comme objets de connaissance par l'ergonome ? Nous développons ces deux questions ci-dessous, puis nous présenterons les réponses classiques apportées par les sciences humaines, l'ingénierie des connaissances, et la philosophie des sciences.

### **1.2.1.1. Quel statut épistémologique de l'activité en sciences humaines ?**

Au paragraphe précédent nous nous sommes demandé comment l'ergonome pouvait déterminer ce qui est pertinent pour l'opérateur, avant même d'avoir analysé l'activité. Il y a là un problème de circularité de la connaissance : pour connaître, il faut observer, mais pour observer il faut connaître. On peut se référer à Popper pour une discussion largement reconnue de cette difficulté, qui l'a conduit, dans cet ouvrage, à interroger la notion de réalité objective.

Ce problème, que toute observation contient en son sein une dose de théorie, est commun à toute science expérimentale, mais il prend toute son importance en sciences humaines. Dans ce cas, l'objet même de la science n'est pas posé comme un objet préexistant indépendamment de la communauté scientifique qui l'étudie. La définition de l'activité dans le cadre des sciences humaines que nous avons adopté au paragraphe 1.1.5 : « un flux temporel des aspects pertinents pour un sujet, de son comportement et de l'évolution de son environnement », pose le problème de définir a priori ce qui est pertinent pour le sujet. En d'autres termes, il faut déjà avoir une certaine compréhension de l'activité qu'on étudie pour pouvoir l'observer, et apprendre ainsi de nouvelles choses. Mais comment cette circularité peut-elle mener à un accroissement de la connaissance ?

### **1.2.1.2. Quel statut épistémologique de la vie mentale du sujet ?**

Le second problème vient du fait que l'ergonome cherche à expliquer un phénomène observé, l'activité, par un autre phénomène qu'il postule comme réel et objectif, bien qu'inobservable : l'activité cognitive de l'opérateur. Celle-ci étant inobservable, le seul moyen d'y accéder consiste à l'inférer. L'ergonome est, là aussi, face une circularité qui consiste à vouloir expliquer l'observable par de l'inobservable qui est lui-même inféré de

l'observable.

Si l'ergonome infère un état ou processus cognitif  $\lambda$  de l'opérateur quand il observe un certain type de comportement  $\Lambda$ , il pourra ensuite expliquer ce comportement par l'état ou processus cognitif  $\lambda$ , et ceci quel que soit  $\lambda$ . Dans ces conditions comment démontrer que  $\lambda$  est la bonne explication ?

### 1.2.2. Les réponses classiques en sciences humaines

---

#### 1.2.2.1. Exprimer l'observation dans le langage de la théorie

Traditionnellement, l'ergonomie cognitive répond au problème de l'objectivité de ses observations par l'adoption d'une méthodologie pragmatique. Ericsson & Simon dans *Protocol Analysis*, p274, expriment cette position d'une manière très claire. Ils prennent acte que toute observation est imprégnée d'une théorie. La décision de choisir quelles données sont pertinentes pour tester une théorie, est dépendante de la théorie. L'observation est faite par des instruments qui sont conçus avec des théories. La théorie est intrinsèquement présente dans la collecte de données.

Malgré cela, leur réponse est de chercher à garder la plus grande distance possible entre les données et la théorie, de façon que les données puissent être utilisées pour tester les théories avec le minimum de biais : « In designing our data-gathering schemes, we make minimal essential theoretical commitments, then try to use the data to test stronger theories. » (p274).

Coombs parle de science dirigée par la théorie ("theory-driven"). Cette approche scientifique débute le cycle par une théorie qui existe avant toute collecte de données. La théorie délimite quel aspect d'une observation potentielle doit être enregistré et devient disponible pour les traitements. Les informations potentielles en dehors des limites seront ignorées. Mais Ericsson souligne que l'investigation scientifique peut également être dirigée par les données ("data-driven"). Il insiste sur le fait que la théorie ne devrait pas empêcher les scientifiques de s'ouvrir aux nouveaux phénomènes rencontrés accidentellement. Il rappelle que beaucoup de découvertes scientifiques importantes ont été faites de cette façon, avec peu de guidage initial et peu de discipline par rapport à la théorie. Soulignant que dans la pratique, aucune recherche scientifique n'est totalement "theory-driven" ni totalement "data-driven", il défend une voie médiane. Cette voie consiste à collecter des observations brutes, puis, dans un deuxième temps, à les mettre en relation ("mapping") avec le langage de la théorie : « Si la théorie est suffisamment souple, cela permettra l'expression d'hypothèses alternatives ». Il propose de réserver le terme "données" ("data") pour désigner le résultat de ce processus de mise en relation qui encode les observations brutes dans le langage de la théorie. Par exemple, l'observation brute peut être un compte rendu d'entretien ou un enregistrement vidéo ou audio. Les données, selon Ericsson, seront le résultat d'un processus d'encodage, selon une grille construite pendant l'analyse et issue de la confrontation des observations et de la théorie.

#### 1.2.2.2. Les étapes classiques de l'épistémologie génétique de Piaget

Dans le champ des sciences humaines, Piaget a pris en compte ce caractère récursif de la connaissance par ce qu'il a appelé une "épistémologie génétique". Il résout cette circularité par une conception évolutionniste. Piaget propose ainsi une théorie constructiviste de la genèse de l'intelligence et des connaissances humaines.

Selon Piaget, le point de départ de toute connaissance est "l'expérience vécue". Le Moigne dans sa présentation des épistémologies constructivistes cite Piaget « l'intelligence (et donc l'action de connaître) ne débute ainsi ni par la connaissance du moi, ni par celle des choses comme telles, mais par celle de leur interaction ; c'est en s'orientant simultanément vers les deux pôles de cette interaction qu'elle organise le monde en s'organisant elle-même. » (p311).

Piaget part d'une hypothèse phénoménologique dans laquelle l'intentionnalité du sujet connaissant est centrale. Grâce à l'interaction répétée du sujet avec son environnement, se développent des unités élémentaires de l'activité intellectuelle, qu'il appelle schèmes. Un schème est une entité abstraite qui est l'organisation de l'interaction du sujet avec son environnement. Ces schèmes s'ancrent dans l'esprit, lorsque l'expérience les conforte ou se modifient lorsqu'ils sont contredits par les faits. Ils se structurent ainsi de manière évolutionniste dans une organisation de type moyen-but. Piaget résout ainsi le problème de la circularité de la connaissance par la conservation évolutionniste des schèmes qui répondent à l'intentionnalité du sujet, au cours de son développement ontogénétique.

Si Piaget a surtout présenté son approche sous forme d'une théorie développementale de l'enfant, on peut soutenir, avec Vermersch, qu'elle peut s'appliquer à toute construction de nouvelle connaissance chez l'adulte.

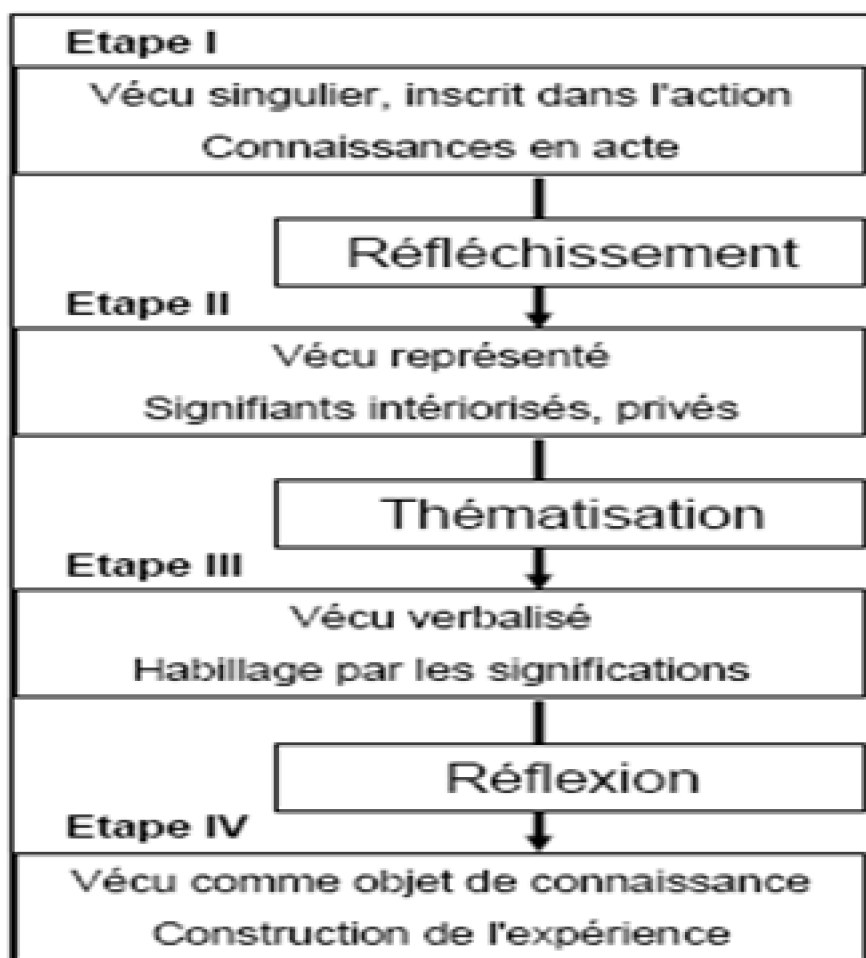


Figure 3 : Etapes de la construction de connaissance à partir de l'expérience vécue selon Piaget, d'après Vermersch 1994.

La Figure 3 montre les étapes de la construction de connaissance selon Piaget d'après Vermersch . En partant d'une activité vécue par le sujet sur la base de ses connaissances courantes qui lui permettent d'interagir avec son environnement (étape 1), celui-ci peut construire et sélectionner de nouveaux schèmes d'interaction qui deviendront porteurs de sens dans le contexte de cette nouvelle activité (étape 2). Ces schèmes pourront être verbalisés et confrontés aux catégories proposées par la communauté humaine pratiquant cette activité (étape 3). La connaissance ainsi abstraite pourra faire l'objet d'une analyse réflexive par le sujet qui pourra prendre cette activité comme un nouvel objet de connaissance (étape 4).

### 1.2.3. Les réponses de l'ingénierie des connaissances

L'informatique, par les moyens de stockage et de traitement qu'elle offre, peut apporter un éclairage nouveau sur la question de la genèse des connaissances. Précisons que les outils informatiques ne doivent être considérés que comme des outils de combinaison et d'affichage de signes et non de connaissances en tant que telles. Bachimont propose une description du rapport entre connaissance et capacité de manipulation symbolique des

systèmes informatiques : « Il y a connaissance et représentation des connaissances quand les manipulations symboliques effectuées par la machine via des programmes, prennent un sens et une justification pour les utilisateurs interagissant avec ces programmes. Les utilisateurs interprètent alors le comportement de la machine, c'est-à-dire qu'ils lui donnent un sens et tendent même, au regard de l'usage qu'ils ont de la machine, à lui conférer une certaine rationalité. ».

L'informatique décuple les possibilités de combinaison et d'affichage de signes, et l'humain peut s'appuyer sur ces possibilités pour constituer des connaissances, les faire évoluer, les accumuler. Bachimont propose d'utiliser la notion de système de manipulation d'inscriptions de connaissances plutôt que de système de connaissance afin de bien marquer cette distinction. C'est l'interprétation humaine qui fait exister la connaissance à partir des signes mémorisés et produits par l'outil informatique.

L'ingénierie des connaissances réaffirme donc le rôle central de l'humain en tant que "sujet connaissant". Dans le cadre d'un système informatique d'analyse de l'activité, les connaissances produites seront avant tout construites à partir du projet propre de l'ergonome. L'ergonome n'a donc pas seulement un rôle central, mais également un rôle moteur, puisque la connaissance est construite par lui et pour lui. Ce point de vue s'inspire des épistémologies constructivistes que nous présenterons au paragraphe 1.2.4.3.

### 1.2.4. Les réponses en philosophie des sciences

---

#### 1.2.4.1. L'épistémologie évolutionniste comme sélection d'explications résistantes à la réfutation

« La connaissance précède l'observation. Tout animal naît avec des attentes ou anticipations qu'on pourrait reconstruire sous la forme d'hypothèses. En ce sens nous disposons d'un certain degré de connaissance innée. Elles seront, si elles sont désavouées, nos premiers problèmes. » , p389. En affirmant que la connaissance est issue de l'observation, mais que l'observation est elle-même précédée de la connaissance, Popper pose dans cet ouvrage les bases d'une théorie évolutionniste de la connaissance. Etant issue de l'observation, la connaissance ne peut jamais être acquise comme vraie en un sens absolu. D'une part, toute observation est toujours biaisée par une connaissance antérieure. D'autre part, rien ne permet d'affirmer qu'aucun contre-exemple ne viendra jamais réfuter cette connaissance. Dès lors, propose Popper, toute connaissance ne peut, au mieux, qu'être retenue comme acceptable aussi longtemps qu'elle n'a pas été réfutée. Selon lui, cette forme de "sélection naturelle" des connaissances par leur réfutation est la seule possibilité de progression de la science. Lorsqu'une connaissance est rejetée par réfutation, elle appelle la conception d'une nouvelle connaissance plus englobante. C'est ainsi qu'il cite le physicien John Wheeler : « Tout notre problème est de commettre les erreurs le plus vite possible » .

Cette approche de la connaissance scientifique a été depuis amplement critiquée, notamment par les sciences humaines, pour lesquelles un critère de réfutabilité apparaît

souvent difficile à mettre en place. De plus, elle n'accorde pas de place à l'induction, sans laquelle aucune démarche scientifique n'apparaît possible.

Malgré cela, le critère de résistance à la réfutabilité nous semble pertinent dans le cadre de notre approche d'ingénierie des connaissances. Il s'agit en effet de sélectionner les meilleurs éléments explicatifs élémentaires, ou micro-hypothèses, parmi une grande quantité de candidats créés pour expliquer le recueil d'observations. Ainsi, l'outil d'ingénierie des connaissances devra permettre à l'ergonome d'accélérer la boucle de production/réfutation, répondant ainsi concrètement au problème de John Wheeler.

### **1.2.4.2. L'épistémologie pragmatique : la signification est fondée par l'usage**

Le pragmatisme désigne une épistémologie selon laquelle la connaissance est fondée par l'usage qui peut en être fait.

Le terme de "pragmatisme" vient du grec *pragmata*, action. Cette épistémologie provient des travaux de Charles Sanders Peirce et est également associée à William James et John Dewey. Pour James, le vrai absolument objectif n'existe pas, car on ne peut séparer une idée de ses conditions humaines de production. La vérité, qu'elle soit scientifique ou naïve, est nécessairement choisie en fonctions d'intérêts subjectifs. On associe également Wittgenstein à la philosophie pragmatique plus particulièrement dans le cadre de la philosophie du langage, avec sa formule "meaning is use". Pour Wittgenstein, la signification d'un énoncé pour un "sujet connaissant" correspond à l'usage qu'il peut faire de cet énoncé.

Pour autant, cette théorie ne réduit pas le vrai à l'utile, contrairement à ce que ses détracteurs lui reprochaient. En effet, cette théorie conserve d'une part une idée d'accord avec le réel, "accord" défini comme vérification et non comme correspondance terme à terme ; d'autre part, une idée de cohérence interne avec l'ensemble des vérités déjà adoptées.

Cette théorie peut s'appliquer à notre travail à deux niveaux. D'une part, par rapport à la pratique de l'ergonomie, pour expliquer qu'un ergonome comprendra un énoncé descriptif de l'activité en vertu de ses objectifs d'ergonome. Et d'autre part, par rapport à la pratique de la conduite automobile, pour expliquer que les symboles qui participent à cet énoncé descriptif, prennent sens dans le contexte de cette pratique même.

### **1.2.4.3. Les épistémologies constructivistes : la connaissance comme produit d'une activité cognitive**

Le Moigne fonde les épistémologies constructivistes sur deux hypothèses :

a) L'hypothèse phénoménologique. Cette hypothèse accorde le primat absolu au "sujet connaissant" capable d'attacher quelque valeur à la connaissance qu'il constitue. La connaissance implique un "sujet connaissant" et n'a pas de sens ou de valeurs en dehors de lui. Il s'en suit qu'il est impossible de séparer la connaissance du processus qui la produit.

b) L'hypothèse téléologique. Cette hypothèse consiste reconnaître l'intentionnalité ou la finalité de ce sujet connaissant, comme moteur du processus de construction de



connaissance. La connaissance devient alors le produit d'un processus actif, dirigé par le "sujet connaissant" en fonction de ses intentions et orienté vers ses propres finalités.

Le Moigne justifie ces hypothèses par opposition aux épistémologies positivistes. Selon lui, ces dernières reposent sur deux autres hypothèses principales : l'hypothèse ontologique et l'hypothèse déterministe. L'hypothèse ontologique postule que la connaissance que constitue la science est la connaissance de la réalité, une réalité elle-même postulée indépendante des observateurs qui la décrivent. L'hypothèse déterministe postule une détermination interne propre à la réalité connaissable. Dans cette hypothèse la réalité contient des lois de causalité.

Le Moigne souligne que si les épistémologies positivistes fonctionnaient dans le cadre de sciences telles que la physique classique, elles commencent à être remises en cause avec l'apparition de la physique quantique, où il est impossible d'observer une réalité sans la modifier. énonce leurs limites dans le cadre de ce qu'il définit comme des sciences de l'artificiel, telles que les sciences de l'ingénieur ou les sciences de la cognition. Pour ces sciences, l'objet même de la connaissance est clairement posé comme n'étant plus une réalité naturelle indépendante des scientifiques, mais au contraire comme étant une réalité construite par une communauté dont les scientifiques constituent un sous-ensemble.

Ainsi, les épistémologies constructivistes visent à sortir de cette circularité, dans laquelle l'objet même de la connaissance est constitué, au moins en partie, par le sujet connaissant. En cela, elles recouvrent les principes évolutionnistes et pragmatiques, en leur ajoutant un troisième principe : le principe téléologique.

### 1.2.5. Conclusion

---

Comme nous l'avons énoncé au paragraphe 1.2.1, l'analyse de l'activité avec des outils d'ingénierie des connaissances nous confronte à deux problèmes épistémologiques. Le premier concerne le statut d'objet scientifique de l'activité, vue du point de vue des sciences humaines, le second concerne le statut d'objet scientifique des processus et états mentaux de l'opérateur. Nous venons de présenter les réponses apportées en psychologie, en ingénierie des connaissances et en philosophie. Elles se rejoignent autour des principes évolutionniste, pragmatique et téléologique, et plus généralement dans le cadre des épistémologies constructivistes. Ces principes répondent à notre problématique, pour les raisons que nous résumons ci-dessous.

#### 1.2.5.1. Une analyse itérative de l'activité

Selon une démarche scientifique communément admise, au moins depuis Popper, nous adoptons une étude évolutionniste de l'activité, c'est-à-dire une étude menée de manière itérative. A chaque cycle d'itération l'activité est mieux connue, donc elle est mieux observée au cycle suivant.

Cette approche itérative inclut une "grande boucle", classique dans toutes les sciences expérimentales, qui débute par la conception d'une expérimentation permettant de recueillir des données. Ce recueil de données est fondé sur un état de l'art explicite ou

implicite qui conditionne la conception d'une situation de mise en œuvre de l'activité, c'est la définition d'une expérimentation. Elle conditionne également la mise en place de moyens d'observation, caméras, capteurs, ainsi que la réduction anticipée des données collectées, c'est-à-dire la sélection a priori des données considérées comme pertinentes parmi toutes les données qu'il serait techniquement possible de recueillir.

De manière plus spécifique à notre travail, cette méthode itérative concerne également le processus d'analyse des données d'observation recueillies. Les données d'observation passent à travers un processus de filtrage, de recodage, de transformation, qui est lui-même conditionné par la théorie. Chaque filtrage, recodage, transformation constitue une hypothèse de modélisation que nous cherchons à pouvoir soumettre aisément à des tests de réfutation par rapport aux données collectées.

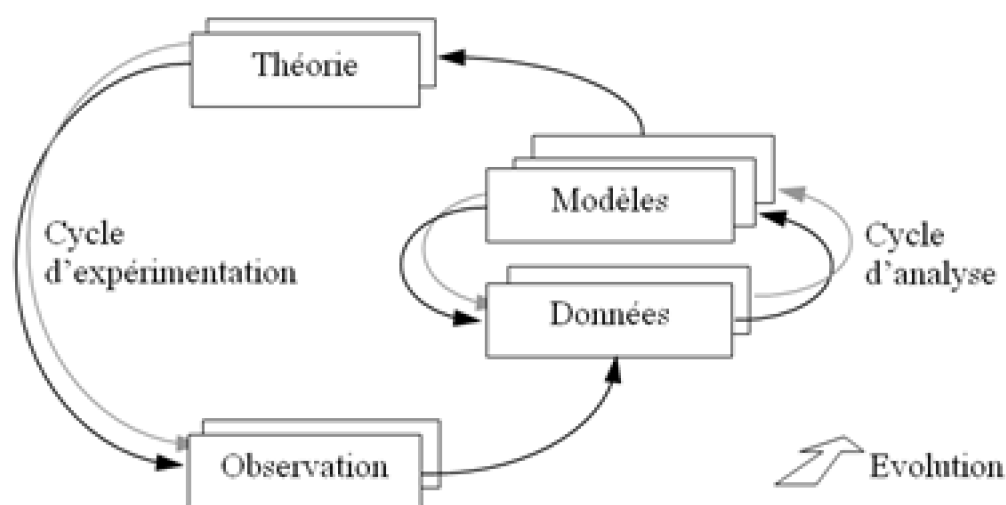


Figure 4 : Imbrication des cycles évolutionnistes d'expérimentations et d'analyses

La Figure 4 met en évidence l'imbrication du cycle d'observation classique et du cycle d'analyse plus spécifique à notre travail. Dans cette figure, la case *théorie* représente les connaissances générales qui fixent le cadre initial de l'observation et de l'analyse, la case *observation* représente l'expérimentation et le recueil de données brutes. La case *Données* représente les données en cours d'analyse, au sens proposé par Ericsson & Simon cités au paragraphe 1.2.2.1. La case *Modèles* représente les connaissances élémentaires en cours de modélisation à partir des données. La boucle de *cycle court* représente le processus évolutionniste de création de filtrage, recodage, transformation des données qui doit être facilité par l'outil d'ingénierie des connaissances.

### 1.2.5.2. Une production pragmatique d'explications

Le principe pragmatique nous rappelle que toute connaissance n'existe que pour un "sujet connaissant". Ce "sujet connaissant" est dans notre cas l'ergonome cognitiviste, pris individuellement ou au sein d'une communauté scientifique. Ces principes nous rappellent également que toute connaissance n'a de sens qu'en vertu de son utilisation. Dans notre cas, l'ergonome utilise la connaissance pour produire des recommandations concernant la conception et l'usage des outils impliqués dans l'activité, ou plus indirectement pour

produire des énoncés intéressants sa communauté scientifique.

Les principes pragmatiques nous rappellent en outre une exigence de cohérence interne de la connaissance par rapport aux autres champs de connaissances acceptés par le sujet connaissant. L'ergonome cognitiviste peut rattacher ses explications à différents champs théoriques que nous passerons en revue au chapitre 2. Marmaras & Nathanael analysent l'influence du champ théorique sur les interprétations produites et l'illustre par la Figure 5.

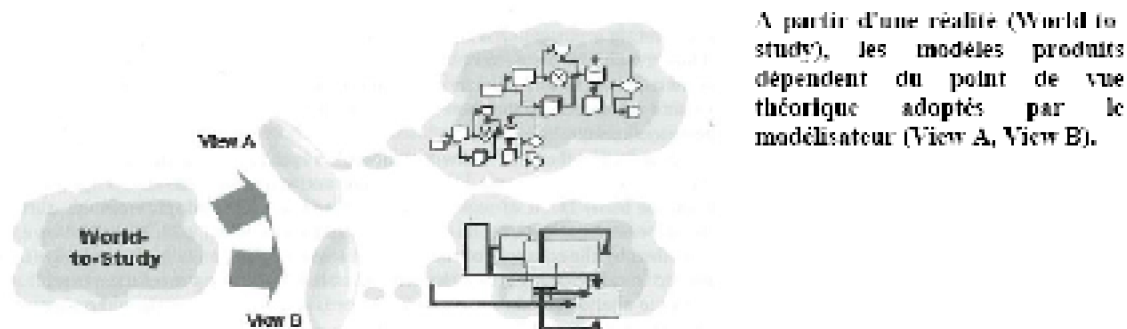


Figure 5 : Influence de la théorie sur l'interprétation du monde étudié, (Marmaras 2005)

Mais quel que soit le cadre théorique adopté par l'ergonome, les outils d'ingénierie des connaissances devront lui permettre de produire des concepts qui fassent sens de par leur utilité explicative au sein d'un contexte d'utilisation. Le contexte dans lequel s'inscrivent les données d'observation est double : il y a le contexte de l'analyse, au sein duquel chaque filtrage, recodage, transformation de données prend son sens par rapport à son utilité pour l'ergonome. Il y a également le contexte de l'activité observée elle-même par rapport à laquelle chaque concept explicatif prend son sens au sein de l'épisode d'activité qu'il sert à décrire. L'outil d'ingénierie des connaissances doit permettre à l'ergonome d'appréhender les données d'une façon qui lui permette de les saisir dans le contexte de l'activité dans lequel elles s'inscrivent, et également dans le contexte de ses propres objectifs d'ergonomie.

### 1.2.5.3. Une approche pragmatique de la subjectivité de l'opérateur

Les cadres conceptuels dans lesquels peut s'inscrire l'ergonome cognitiviste pour expliquer l'activité sont multiples. En ce qui concerne notre travail, nous nous rattachons au champ théorique de la psychologie cognitive, qui vise à comprendre l'activité par rapport aux processus et états mentaux de l'opérateur.

Expliquer le comportement d'autrui par ses états et processus subjectifs est quelque chose que chacun de nous fait quotidiennement. Nous avons appris à inférer intuitivement cette subjectivité d'autrui à partir d'une observation contextualisée de ses comportements.

Cette position, qui consiste à attribuer à autrui une subjectivité, est un thème récurrent de la philosophie. Par exemple, Chalmers propose un exercice de pensée qui consiste à imaginer un être, qu'il nomme un « zombie philosophique », qui aurait des comportements totalement humains mais serait dépourvu de toute vie subjective. Il montre que, du point de vue d'un observateur extérieur, la meilleure façon d'expliquer ses comportements reviendrait à lui attribuer une vie subjective. Cette position rejoint celle que Dennett

nomme « The intentional stance ».

L'hypothèse ontologique fondatrice de la psychologie cognitive est que ce vécu subjectif constitue une réalité qui peut être appréhendée scientifiquement. Même s'il y a d'autres arguments pour gratifier autrui d'une vie subjective, tels que des arguments éthiques ou affectifs, il reste que l'argument pragmatique rencontre bien notre recherche d'explication de l'activité humaine. Les explications doivent rester compatibles avec ce qu'on sait par ailleurs de la cognition humaine, et avec les données d'explication issues de l'opérateur. Ces données issues de l'opérateur doivent provenir de ses explicitations confrontées à une analyse critique de la part de l'ergonome.

### **1.2.5.4. Une connaissance construite par l'ergonome**

Le principe évolutionniste nous permet d'écartier les connaissances réfutées. Il nous incite à concevoir une méthodologie et des outils facilitant la production de *modèles candidats* et de les soumettre à des tests de réfutation en un cycle court. En revanche il ne nous guide pas pour la recherche de nouvelles connaissances.

Le principe pragmatique fonde la signification de la connaissance pour l'ergonome par l'usage qu'il peut en faire. Il nous incite à concevoir une méthodologie et des outils qui permettent à l'ergonome cognitiviste de donner du sens aux données par rapport à ses propres objectifs.

Il ne nous reste plus qu'à souligner le rôle central de l'ergonome pour guider le processus de construction de connaissance. Entre une approche "theory-driven" et une approche "data-driven", le principe constructiviste nous permet de nous positionner clairement dans ce qui pourrait être appelé une approche "researcher-driven". En reconnaissant le caractère téléologique de la connaissance, c'est-à-dire orientée vers les finalités de l'ergonome, cette approche nous incite à concevoir une méthodologie et des outils facilitant le contrôle par l'ergonome du processus de modélisation de l'activité. Parmi une possibilité infinie de filtrages, encodages, transformations des enregistrements d'observation, c'est l'ergonome qui choisit d'explorer ceux qui paraissent pertinents par rapport à ses objectifs finaux. Finalement, la connaissance est construite par lui et fait sens pour lui.

## 2. L'opérateur humain en ergonomie cognitive : cas du conducteur automobile

### 2.1. Introduction

Le premier chapitre nous a amenés à distinguer deux rôles dans la démarche d'ergonomie cognitive. Le rôle de l'ergonome, et le rôle de l'opérateur. Nous nous sommes intéressés jusqu'à présent au rôle de l'ergonome, comme moteur du processus d'analyse de l'activité. Nous nous sommes placés dans le cadre d'une épistémologie constructiviste dans lequel l'ergonome construit des connaissances à propos de l'opérateur. Ces connaissances sont construites de manière évolutionniste et pragmatique, nous avons insisté sur le fait qu'elles étaient soumises à une exigence de cohérence avec les connaissances précédemment reconnues par la communauté de l'ergonomie.

Le présent chapitre vise à présenter ces connaissances de référence à propos de l'opérateur. Il constitue en ce sens le cadre théorique de la modélisation du conducteur automobile sur lequel nous nous appuierons lorsque nous prendrons le rôle de

l'ergonome. Il présente dans un premier temps les concepts de la psychologie cognitive, ensuite les outils de simulation cognitive et finalement un état de l'art de la modélisation cognitive du conducteur automobile.

## 2.2. Le cadre de la psychologie cognitive

### 2.2.1. Introduction philosophique

---

#### 2.2.1.1. La question de la conscience

En principe, la question de la conscience relève de la philosophie plutôt que de la psychologie. Du moins, la conscience au sens transcendantal du terme, c'est-à-dire au sens de "être conscient" ("consciousness" en anglais) plutôt que "avoir conscience de" ("to be aware of", en anglais). Cependant cette question est présente, de manière récurrente, en arrière fond de toute science de l'esprit. Pour Ey , « dire d'un être qu'il sent, qu'il perçoit, qu'il se souvient de quelque chose, qu'il prépare une action ou qu'il se sent ou se sait être quelqu'un qui dirige son existence vers telle ou telle fin, c'est toujours et nécessairement dire qu'il est conscient ». Pourtant, la question de la conscience ne semble pas admettre, à l'heure actuelle, de réponse qui fasse consensus au sein de la communauté scientifique. On retrouve à ce propos souvent cité le commentaire de Sutherland dans son dictionnaire de psychologie : « Consciousness is a fascinating but elusive phenomenon; it is impossible to specify what it is, what it does, or why it evolved. Nothing worth reading has been written on it. » Le concept de conscience apparaît pourtant étroitement lié à d'autres concepts avec lesquels nous sommes amenés à travailler et que nous devons approfondir : les concepts de connaissance, de représentation, d'information, de compréhension, d'implicite et d'explicite. C'est peut-être parce que la notion même de conscience reste insuffisamment définie, que ces concepts qui en découlent donnent encore lieu à de multiples débats. Par exemple le bienfondé d'utiliser le concept de représentation en sciences cognitives est encore régulièrement questionné . Face à cette incertitude, nous ne pouvons guère que situer notre travail par rapport à ces concepts sans en apporter une explication complète.

En ce qui concerne la psychologie cognitive, celle-ci inclut souvent la conscience dans ses modèles comme une boîte noire qui supervise les autres composants du modèle. Par exemple la boîte "centre exécutif" dans les modèles de Baddeley ou de Cowan que nous présenterons au paragraphe 2.2.3 ; ou les boîtes "compréhension" et "attention" dans le modèle d'Endsley, paragraphe 2.2.6. Les perceptions, les informations, les décisions sont considérées en rapport à une conscience qui leur donne sens, mais qui est posée dans le modèle sans que son fonctionnement ne soit éclairci.

En ce qui concerne la simulation cognitive par des outils informatiques, celle-ci vise à reproduire de manière automatisée des traitements de données qui n'ont valeur de symboles que pour le scientifique qui les regarde. Elle ne vise en aucun cas à créer un

système artificiel conscient, ni à reproduire un traitement conscient d'une information signifiante.

En ce qui concerne les systèmes d'ingénierie des connaissances, ceux-ci se déploient pour et par la conscience de leurs utilisateurs. Les ordinateurs que nous connaissons ne sont bien sûr aucunement conscients et les inscriptions de connaissance qu'ils manipulent ne prennent valeur de connaissances que pour celui qui les regarde.

L'explication de la conscience est malgré tout un thème de recherche scientifique en plein essor, soit sous l'angle de la biologie, soit sous l'angle de la vie artificielle, ou de la robotique. Nous discuterons les apports possibles de notre travail pour ces domaines de recherche au paragraphe 7.2.3.2.

En ce qui concerne notre positionnement en ergonomie, nous avons vu qu'il impliquait deux consciences : celle de l'opérateur et celle de l'ergonome. Nous étudions la première, celle de l'opérateur, en la considérant "de l'extérieur". Pour cela nous prenons le rôle de l'ergonome qui explique l'activité comme étant le résultat d'un contrôle conscient de la part d'un opérateur. L'ergonome propose la notion de conscience comme une explication pragmatique de l'activité. Ce faisant, il reconnaît à l'opérateur le statut de sujet de l'activité. La seconde conscience, celle de l'ergonome, est la conscience qui donne sens aux connaissances que nous produisons en ergonomie. Dans notre travail, nous nous y intéressons "de l'intérieur", c'est-à-dire qu'il s'agit de notre conscience, quand nous prenons le rôle de l'ergonome. Mais dans la partie informatique de notre travail, nous adoptons une position de recul par rapport à elle, pour discuter comment l'ergonome, peut construire de la connaissance en interaction avec notre système informatique. Par souci de clarté nous distinguerons tout au long de notre travail ces deux points de vue sur la conscience, car nous leur appliquerons des positionnements théoriques différents. Nous proposerons au paragraphe 7.2.1 une synthèse de ces deux approches.

### 2.2.1.2. Représentations mentales

« Etre conscient c'est disposer d'un modèle personnel de son monde. » Cette citation de Ey rattache d'emblée la notion de conscience à la question des représentations mentales. Intuitivement, la notion de représentation mentale correspond à ce sentiment que nous avons qu'il existe une réalité objective qu'on peut appréhender au travers d'une connaissance abstraite. Nous n'agissons pas en fonction de cette réalité objective mais en fonction de ce que nous en savons, cette sorte de modèle personnel de notre monde.

Ladrière présente le concept de représentation comme reposant sur une double métaphore, celle de la représentation théâtrale et celle de la représentation diplomatique. La première suggère l'idée de la « mise en présence » : la représentation mentale « met en présence » pour la conscience, le monde extérieur, comme la représentation théâtrale « met en présence » pour le spectateur, sous une forme concrète et signifiante, la vie, le cours du monde. La seconde métaphore suggère l'idée de « vicariance » : la représentation mentale tient lieu de la réalité pour la conscience, comme un représentant diplomatique qui peut agir en nom et place d'une personne ou d'un état. La représentation peut être vue comme la représentante de la réalité auprès de notre conscience, c'est par son intermédiaire que la réalité agit sur notre conscience.

Les deux sens sont liés : la représentation-vicariance n'a son efficacité sur la conscience que parce qu'elle est présente "devant elle", et qu'elle peut être lue par elle. La représentation est perçue par la conscience comme "existant réellement" en tant que représentation, comme une sorte de double de la réalité qu'elle représente. En tant que telle, la représentation mentale nous apparaît comme observable et objet possible de connaissance. L'univers subjectif, la vie mentale du sujet, lui apparaît à lui-même comme un fait qui existe et dont la notion de représentation mentale est une première tentative pour en rendre compte, une fois mis de côté le problème de la conscience.

C'est en référence à cette conception philosophique de la notion de représentation mentale que nous tentons d'expliquer l'activité, en recourant à l'étude plus approfondie qu'en fait la psychologie cognitive.

### **2.2.2. Le cerveau comme système de traitement de l'information**

---

Une fois introduit le concept de représentations, se pose la question de comment les représenter. Pour cela, la psychologie cognitive se fonde sur le concept d'information.

Ce concept apparaît pourtant très difficile à définir. On trouve dans le dictionnaire philosophique de Lalande une définition classique : « une information est un élément de connaissance apporté par un message qui en est le support et dont elle constitue la signification. » Cette définition officielle s'écarte malheureusement d'une définition d'usage qui voudrait que les ordinateurs soient capables de traiter de l'information. Or les ordinateurs ne traitent certainement pas la signification, mais uniquement le message.

Cette confusion renvoie à la question de savoir pour quel "sujet connaissant" l'information est signifiante. Elle oblige les psychologues à distinguer deux niveaux de description : le niveau symbolique et le niveau sub-symbolique. Le niveau symbolique décrit les aspects de la cognition qui concernent le traitement d'informations signifiantes pour le sujet lui-même. Le niveau sub-symbolique décrit la cognition comme une transformation d'information effectuée par le cerveau, et non perçue par le sujet, si ce n'est à travers une émergence au niveau symbolique. L'information traitée au niveau sub-symbolique est information pour l'ergonome ou le neurologue qui tente d'en modéliser les mécanismes. Mais ces deux niveaux, symbolique et sub-symbolique sont étroitement imbriqués puisque le premier est globalement expliqué comme un phénomène émergent du second. Si on peut affirmer que l'esprit humain est un système de traitement de l'information, au sens de traitement de la signification, on ne sait en revanche pas (encore ?) le réduire à un système de traitement de l'information au sens informatique de ce terme, c'est-à-dire à un système de traitement de message.

La psychologie cognitive se définit finalement comme l'étude générale des processus de traitement de l'information qui interviennent dans les conduites humaines, qu'ils soient symboliques ou sub-symboliques. Nous nous intéressons ici à ce qu'elle peut apporter pour permettre à un ergonome d'expliquer les activités dynamiques d'un opérateur.

### **2.2.3. Les modèles structuraux de la mémoire humaine**

---



## 2. L'opérateur humain en ergonomie cognitive : cas du conducteur automobile

La mémoire est une des capacités fondamentales des systèmes cognitifs. Nous présentons ici les aspects dits "structuraux" de la mémoire humaine par opposition aux aspects "fonctionnels". Cette distinction, parfois ambiguë, renvoie à l'idée qu'il y aurait une structure constitutive de la machine de traitement de l'information qu'est le cerveau humain, qui sous-tendrait ses fonctionnalités, ces dernières pouvant être décrites sur un autre plan. L'étude structurelle de la mémoire humaine a donné lieu à de nombreux travaux. Nous en donnons ici une présentation historique. Elle a pour but d'expliquer, ce que peut signifier l'idée qu'une représentation est une structure d'information "contenue" dans la mémoire de l'opérateur.

D'après Tiberghien, la mémoire humaine est habituellement définie comme la capacité à réactiver, partiellement ou totalement, de façon véridique ou erronée, les événements du passé. Vue sous cet angle, la mémoire "contiendrait" des connaissances du passé. Mais au-delà de cette réactivation du passé, Tiberghien insiste sur le fait que la mémoire détermine également largement notre présent perceptif. La mémoire produit, de façon permanente, des schémas hiérarchisés et emboîtés qui façonnent nos anticipations et sont porteurs de surprises potentielles. Ainsi, dans les situations dynamiques qui nous intéressent, sa fonction est également de détecter la nouveauté et de permettre l'apprentissage.

La détermination des principes structuraux de la mémoire humaine est une problématique qui date des débuts de la psychologie scientifique. Un certain nombre d'expériences emblématiques ont permis de poser les bases de la distinction entre "registres sensoriels", "mémoire à court terme" (MCT) et "mémoire à long terme" (MLT). Citons Miller qui a mis en évidence un empan de la mémoire à court terme de  $7 \pm 2$  items. Peterson & Peterson ont montré l'oubli d'items en quelques secondes en cas d'impossibilité de mémorisation volontaire en situation de double tâche. Milner, dans une étude sur des patients cérébrolésés, montre des troubles spécifiques de la MLT ou de la MCT. L'ensemble de ces faits se trouve résumés dans le modèle dit "modal", présenté.

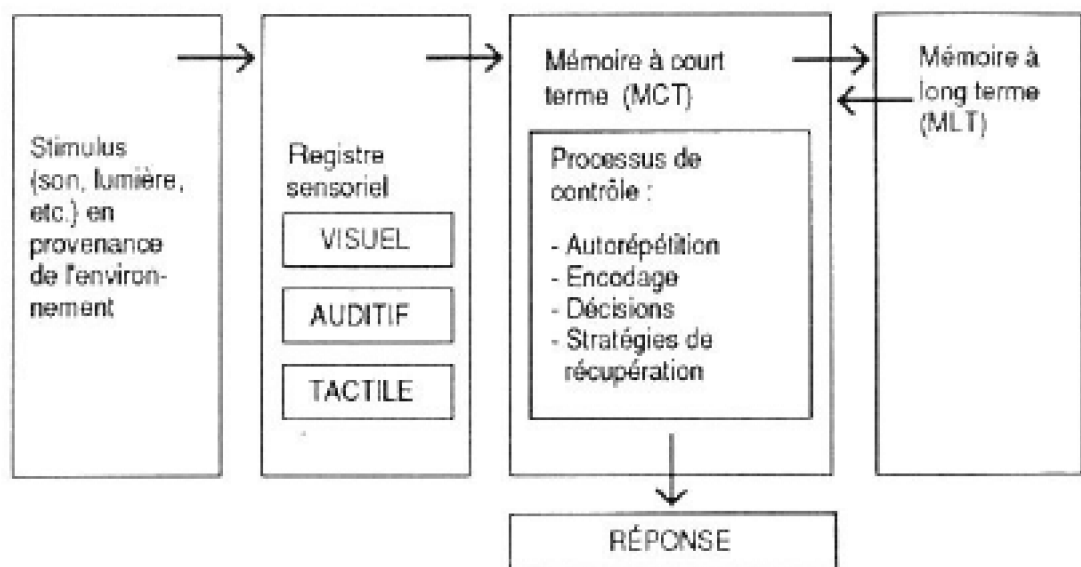


Figure 6 : Le modèle "Modal" d'Atkinson et Shiffrin (1968)

Ce modèle divise la mémoire en trois sous-systèmes principaux : a) Le registre sensoriel : il peut retenir une grande quantité d'informations pendant un temps extrêmement court (quelques millisecondes). b) La mémoire à court terme (MCT) : elle contient un nombre limité d'éléments. c) La mémoire à long terme (MLT). Les informations en MLT sont de nature sémantique. La MLT ne connaît pas en pratique de limites de capacité ou de durée de mémorisation.

Ce modèle représente la conception dominante de la mémoire humaine dans la psychologie cognitive de la fin des années 1960. Il a été ensuite profondément renouvelé par l'introduction du concept de mémoire de travail (MDT) pour rendre compte des capacités de raisonnement symbolique complexe de l'esprit humain. La mémoire de travail se définit comme un système à capacité limitée qui gère à la fois des opérations de stockage et de traitement pendant la réalisation des activités cognitives complexes.

L'un des premiers modèles de computation symbolique intégrant la notion de MDT est celui de Greeno, montré Figure 7. Dans ce modèle, la MCT stocke les informations extraites de l'environnement, la MLT contient les connaissances du sujet acquises au cours de ses expériences passées (procédures de résolution déjà mises en œuvre lors d'anciens problèmes). Enfin la MDT est le siège de la représentation du problème en cours de résolution. Greeno indique que sa capacité de stockage, bien que limitée, est bien plus importante que celle de la MCT.

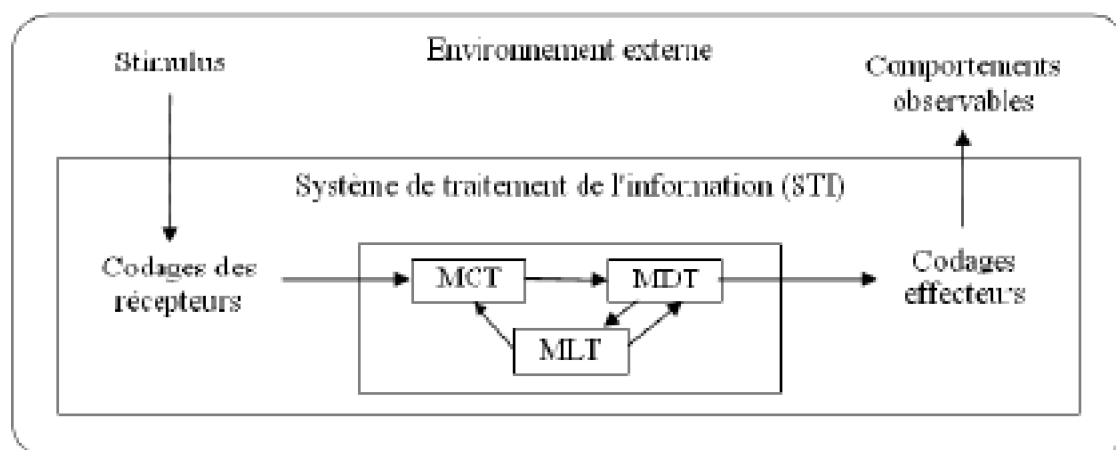


Figure 7 : Modèle de Greeno (1973)

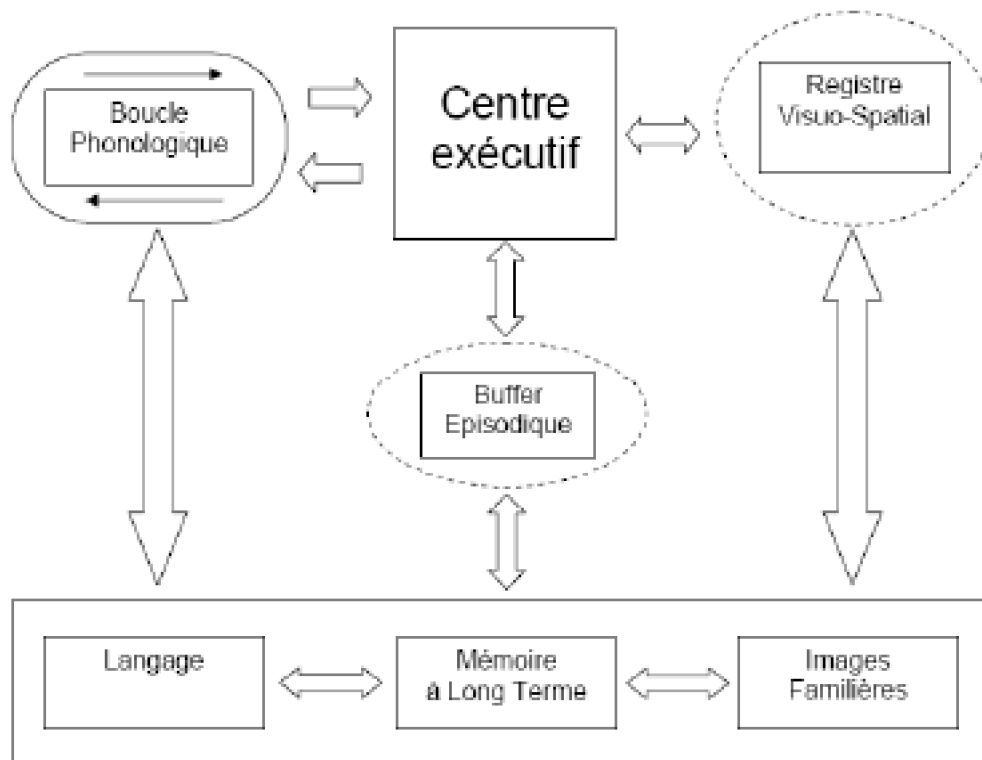


Figure 8 : Modèle de Baddeley (2000)

Du point de vue de la psychologie expérimentale, Baddeley & Hitch ont montré qu'un sujet peut maintenir un certain nombre d'unités de traitement en MCT tout en réalisant des opérations cognitives complexes : apprentissage, compréhension, raisonnement. Ces résultats l'ont conduit à proposer un modèle de mémoire de travail présenté en Figure 8

Ce modèle est composé de deux sous-systèmes esclaves spécialisés, l'un dans le traitement verbal et l'autre dans le traitement visuo-spatial, et d'un sous-système exécutif central. Chaque composante de ce système a des ressources propres et une relative autonomie de fonctionnement, mais peut, sous certaines conditions, puiser dans les capacités des autres composantes. Le concept même de mémoire de travail suppose que le stockage temporaire d'informations n'est pas de nature passive mais qu'il nécessite le maintien de ces informations à un haut niveau d'évocabilité tout en permettant au sujet d'effectuer, sur ces informations, les traitements nécessaires à un stockage efficace en MLT ou à une réponse motrice.

La MCT ainsi que la MDT sont maintenant considérées par de nombreux auteurs comme une partie de la MLT qui se trouve à un instant donné dans un état d'activation particulier. Selon Cowan, la partie la plus activée de la MCT correspond à ce qu'il nomme le focus attentionnel, la partie d'activation intermédiaire correspond à la mémoire de travail. En effet, l'attention portée sur certaines des informations activées serait dépendante du degré d'activation de ces dernières, soit par la perception, sous la forme de stimuli, soit sous la forme d'informations récupérées par les phénomènes d'amorçage. En d'autres termes, moins une information serait activée, moins elle aura de chance de faire partie d'une représentation explicite, verbale ou imagée.

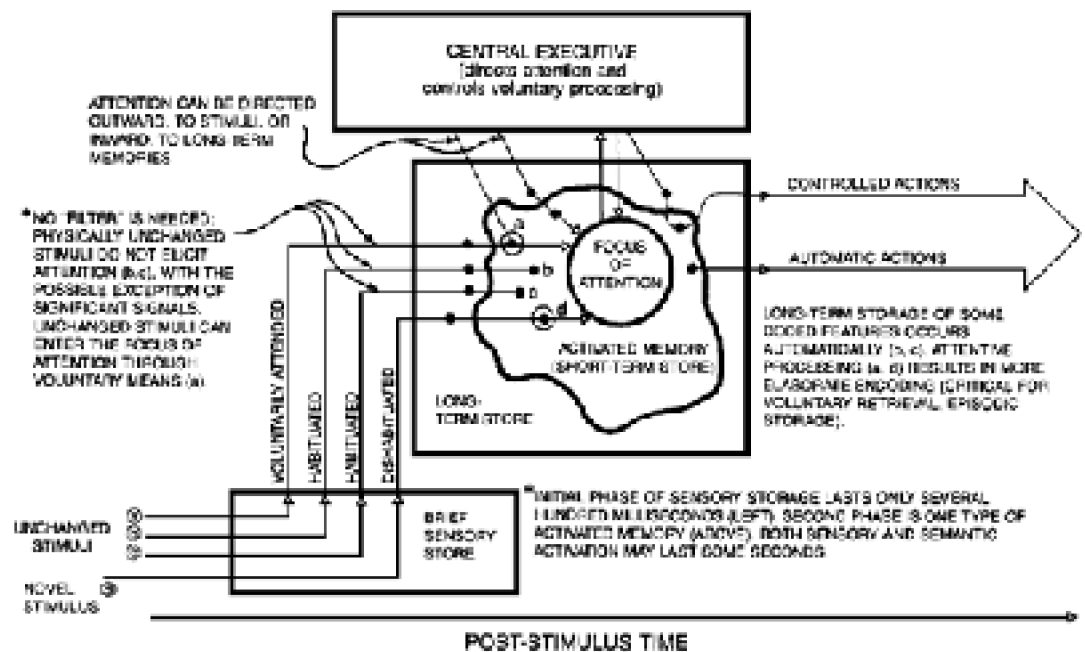


Figure 9 : Modèle de Cowan (1988)

Le temps à partir de la réception d'un stimulus est représenté de gauche à droite. L'information correspondant à un stimulus peut être présente dans plus d'un composant en même temps. La mémoire de travail est représentée comme un sous ensemble actif de la mémoire à long terme. Le focus de l'attention est représenté comme un sous ensemble actif de la mémoire de travail. Les stimuli auxquels le sujet est habitué n'entrent pas dans le focus de l'attention. Le séquençement temporel de l'implication du centre exécutif est flexible. Les flèches représentent le transfert d'information d'un composant à un autre, ce sont des approximations discrètes de processus continus qui peuvent se produire en parallèle ou en cascade. Les chemins qui mènent à la conscience peuvent provenir de trois sources : les stimuli surprenants, les informations sélectionnées par un effort volontaire (d'origine sensorielle ou non), l'activation spontanée d'information en mémoire à long terme basée sur des associations (non représenté sur la figure).

Le modèle de Cowan est présenté Figure 9. Dans ce cadre là, les propriétés d'empan et de durée attribuée à la MCT, deviennent des propriétés attribuées à l'activation de la MLT.

Selon Tiberghien , cette conception de la MCT permet de comprendre pourquoi les traits et les concepts associés à un stimulus sont activés automatiquement. Il considère qu'il est raisonnable de retenir la proposition de Cowan qui définit le MCT comme la somme de toutes les informations activées à un moment donné, laissant de côté le problème de savoir si toutes ces informations activées accèdent à la conscience.

Ce modèle nous apparaît plus intéressant pour rendre compte du traitement des situations dynamiques que les modèles de type Greeno ou Baddeley, qui sont davantage orientés pour les tâches de raisonnement symboliques. De plus, ce modèle permet de rendre compte facilement de la notion de "awareness" telle qu'elle se développe dans la

théorie de la conscience de la situation que nous présenterons au paragraphe 2.2.5. En effet dans ce modèle, des informations peuvent être rendues accessibles sans pour autant être directement dans le champ de la conscience à un instant donné.

### 2.2.4. Les représentations mentales dans les activités dynamiques

---

Etudier les représentations mentales dans le paradigme de la psychologie cognitive revient à étudier la notion de représentation (au sens "philosophique" du paragraphe 2.2.1.2), comme des constructions d'informations dans la mémoire humaine dont nous avons introduit la structure au paragraphe 2.2.3. L'étude de la façon dont ces représentations sont construites correspond à l'étude "fonctionnelle" de la cognition humaine. Cette étude est centrale en psychologie cognitive, elle la fonde pour ainsi dire par opposition au behaviorisme.

Les représentations mentales regroupent l'ensemble des informations prises en compte par le sujet pour la gestion de la situation courante. Richard, Bonnet & Ghiglione les qualifient de constructions circonstancielles faites dans un contexte particulier et à des fins spécifiques. Il les associe d'un point de vue fonctionnel à la notion de "mémoire opérationnelle". Le terme de "mémoire opérationnelle" désigne dans ce sens la mémoire des informations utilisées pour la gestion de la situation courante. C'est une notion fonctionnelle qui peut reposer sur les différents types structuraux de la mémoire humaine présentés au paragraphe précédent. Cette notion de représentation ne doit pas être confondue avec les connaissances en mémoire à long terme, qu'on trouve chez certains auteurs également désignées sous le terme de "représentation", "représentation-types" ou "structures permanentes". Comme Richard, nous réserverons le terme "représentation" pour désigner les représentations de la situation occurrente, et utiliserons le terme "connaissance" pour désigner le contenu de la mémoire à long terme. Cette distinction apparaît cependant moins nette si on adopte un modèle de la mémoire du type de celui de Cowan. Dans ce cas, la représentation mentale est vue comme l'activation de connaissances préalables qui sont reconnues dans la situation courante.

La psychologie cognitive propose donc de décrire les représentations mentales comme des structures d'informations. Mais sous cet angle, les représentations courent le risque de ne plus être comprises comme médiatrices de la réalité auprès de la conscience du sujet. Dans les modèles de psychologie cognitive, la conscience est reléguée au second plan alors que la représentation devient centrale sous la forme d'une structure de données. Il devient possible de raisonner sur ces données, de leur appliquer des règles et des calculs. Finalement, il serait tentant d'expliquer les comportements par le résultat de calculs réalisés à partir de cette structure de données, en oubliant que c'est la conscience du sujet qui leur donne sens. Au contraire, le but est que ces données expriment le mieux possible ce qui fait sens pour le sujet.

Pour clarifier les choses, nous tenons à nous ramener ici à notre cadre de l'ergonomie cognitive dans lequel nous avons distingué les rôles de l'ergonome et de l'opérateur. L'ergonome explique l'activité comme étant contrôlée par un opérateur doué de capacités cognitives. Par exemple, l'ergonome explique que le sujet a tourné à droite parce qu'il voulait aller à droite et que, dans sa représentation de la situation, la voie était

libre. Dans cette explication, la question de la présence de cette représentation à la conscience de l'opérateur devient secondaire, il pouvait aussi bien penser à tout autre chose. Pourtant le but de l'ergonome n'est pas d'expliquer l'activité par rapport à n'importe quelle information, mais de l'expliquer par rapport aux informations qui ont un sens pour l'opérateur dans cette situation, par rapport à ses buts. Mais que deviennent les représentations si elles ne sont plus présentes à la conscience du sujet ?

Ces difficultés ont donné lieu à une importante littérature. Nous tentons de rendre compte ici des aspects qui intéressent notre travail d'analyse des activités dynamiques. Une des difficultés majeures est à nos yeux de rendre compte d'une sorte de continuum entre deux pôles. Le premier pôle correspond aux savoir-faire qui sont activés pour faire face à la situation sans que l'opérateur n'en ait directement conscience. Le deuxième pôle correspond aux représentations explicites pour l'opérateur. Ces représentations explicites ont, pour lui, valeur de symboles d'éléments de la réalité objective. Ces deux pôles sont liés par le fait que l'opérateur attribue une signification aux symboles en vertu des savoir-faire qui permettent leur utilisation.

Ochanine parle d'image opérative pour désigner le fait que, parmi toutes les données présentées qui constituent l'ensemble de la tâche à traiter, l'opérateur ne retiendra que les données utiles pour réaliser son travail. Ainsi l'image opérative est finalisée (créé par et pour l'action), laconique (seules les informations pertinentes sont incluses), et déformée fonctionnellement (les informations les plus importantes pour la tâche sont accentuées).

Minsky et Schank & Abelson parlent de "frame" et de "schéma" pour représenter l'organisation des connaissances en mémoire et exprimer comment ces connaissances sont utilisées pour comprendre, mémoriser et faire des inférences. Nous développons davantage ces concepts au paragraphe 2.2.5

Richard distingue : a) les représentations propositionnelles qui expriment les structures prédicatives caractéristiques du langage, lesquelles sont à la base de sa fonction majeure de communication et de transmission d'information. b) les représentations imagées qui expriment les structures spatiales caractéristiques de la perception visuelle. c) les représentations liées à l'exécution des actions, et reposant donc en grande partie sur la sensori-motricité : elles expriment prioritairement les enchaînements, les transformations et successions d'états et constituent donc une forme d'expression privilégiée des structures temporelles.

Weill-Fassina, Rabardel & Dubois parlent de "représentations pour l'action" en insistant sur le fait qu'elles sont à la fois des processus et des produits. En tant que processus, elles sont des savoir-faire qui vont déterminer l'activité de l'opérateur. Elles s'inscrivent dans une dynamique qui implique des transformations de l'opérateur lui-même. En tant que produit, elles désignent des réseaux de propriétés, de concepts, de croyances, de sensations éprouvées. Endsley a théorisé le concept de "conscience de la situation" (Situation Awareness). Cette notion est assez englobante et de plus en plus souvent utilisée pour rendre compte du traitement des situations dynamiques. Nous la développons au paragraphe 2.2.6.

### 2.2.5. Les apports de la théorie des Schémas

---

Selon Richard, Bonnet & Ghiglione : « les schémas sont à la fois une façon de représenter l'organisation des connaissances en mémoire et une façon d'exprimer comment ces connaissances sont utilisées pour comprendre, mémoriser, faire des inférences. » Cette théorie illustre comment la psychologie cognitive a tenté d'appréhender la double dimension des connaissances d'un sujet humain : leur dimension opérationnelle de "savoir-faire" et leur dimension symbolique pour ce sujet. A notre sens, ce rapport entre la valeur symbolique d'une représentation et le savoir-faire qui permet son utilisation trouve ses fondements dans les épistémologies constructivistes, notamment exprimées par Piaget avec la notion de schème comme organisation "moyen-but" dont nous avons parlé au paragraphe 1.2.2.2.

La théorie des schémas a été introduite par Bartlett . Son interprétation de la mémoire supposait que nous agissions sur le monde, que nous le reconnaissons à partir de structures déjà existantes : les schémas. Pour Bartlett, un schéma est une structure organisée qui intègre les connaissances et les attentes d'un individu pour un aspect du monde. Le schéma résume ce que le sujet connaît du monde. Le schéma a donc pour effet principal d'aider à la compréhension. Bartlett le définit « comme une organisation active de réactions passées ou d'expériences passées, que l'on doit toujours supposer à l'œuvre dans toute réponse organique bien adaptée. » Inversement, la construction d'un schéma est vue comme l'élaboration de connaissances générales bien structurées à partir de situations particulières. En ce sens, les schémas proviendraient de savoirs procéduraux pour parvenir à des savoirs déclaratifs sur les situations. Les schémas sont donc issus de l'expérience par une forme d'abstraction ou de modélisation. C'est une fois qu'une structure de connaissance « décontextualisée » a été construite, que les sujets peuvent l'appliquer aux situations appartenant à la catégorie dont elle relève en vue de les résoudre.

Dans les années 1970, trois auteurs ont eu recours à l'informatique pour expliciter davantage ces mécanismes. Minsky introduit la notion de frame (cadre), Schank & Abelson la notion de script et Rumelhart élargit la notion de schéma à la mémorisation des histoires.

Ces auteurs utilisent des structures de données informatiques pour coder des séquences d'actions et d'événements qui représentent les schémas. Les schémas, en tant que connaissances génériques, sont représentés par des structures de données qui peuvent contenir des variables. Les valeurs particulières de ces variables permettent de décrire les spécificités des situations dans lesquelles ces schémas sont rencontrés. Ainsi les schémas correspondent à des modèles d'activité. Les concepts qui interviennent dans les schémas sont reliés par leur usage pratique et non pas par leur proximité sémantique. Plus précisément, Schank parle de "scripts" qui représentent des séquences d'actions et d'événements qui sont organisés en différents niveaux de description. Il a étudié comment ces scripts pouvaient s'organiser en paquets qu'il nomme MOP (Memory Organization Packets). Il a également étudié comment faire du "raisonnement à partir de cas" sur cette base. Le raisonnement à partir de cas consiste à résoudre des problèmes en appliquant

des solutions déjà utilisées dans des cas similaires. Face à une nouvelle situation, un schéma générique correspondant à cette situation était instancié, ces variables sont adaptées à la situation particulière, pour générer une réponse adaptée.

### 2.2.6. Les apports de la théorie de la conscience de la situation

---

Depuis 1988, R. Mika Endsley a proposé un modèle de la "conscience de la situation" (CS) qui fait aujourd'hui référence. Le terme conscience est pris ici dans son sens de "awareness", pour désigner tout ce dont l'opérateur est "averti" pour contrôler son activité dans une situation donnée. Si on le prend dans un esprit d'ouverture, il nous semble que ce modèle résume assez bien les propositions de la psychologie cognitive pour situer les phénomènes de "prise de conscience" d'un opérateur dans une situation dynamique. Ce modèle se centre sur le cycle perception, cognition, action, classique, et il situe par rapport à ce cycle les différents modèles structuraux et fonctionnels développés par la psychologie cognitive. Endsley définit la CS comme : "The perception of the elements in the environment within a volume of time and space, the comprehension of their meaning, and the projection of their status in the near future."

Ce modèle positionne en premier lieu la conscience de la situation par rapport à la prise de décision, selon le principe de bon sens qu'une bonne conscience de la situation augmentera les chances de prendre une bonne décision. Cependant, il ne suffit pas de savoir ce qui se passe au présent mais il faut également être en mesure d'anticiper sur les possibles évolutions futures. Cette idée générale est représentée par la Figure 10.

La CS est placée au sein d'une boucle CS - Décision - Action - CS, qui, en se déployant réalise une activité dynamique conditionnée par les caractéristiques de la tâche et de l'environnement ainsi que par les caractéristiques du sujet. La CS inclut trois niveaux : le niveau 1 : perception, le niveau 2 : compréhension, le niveau 3 : projection. La CS, autant que la décision, sont dépendantes des buts et attentes du sujet. Les caractéristiques du sujet qui influencent l'activité en général, et la CS en particulier, sont identifiées comme étant ses mécanismes cognitifs, ses connaissances, ses automatismes, eux-mêmes dépendants de l'expérience et de l'entraînement du sujet ainsi que de ses habiletés naturelles.



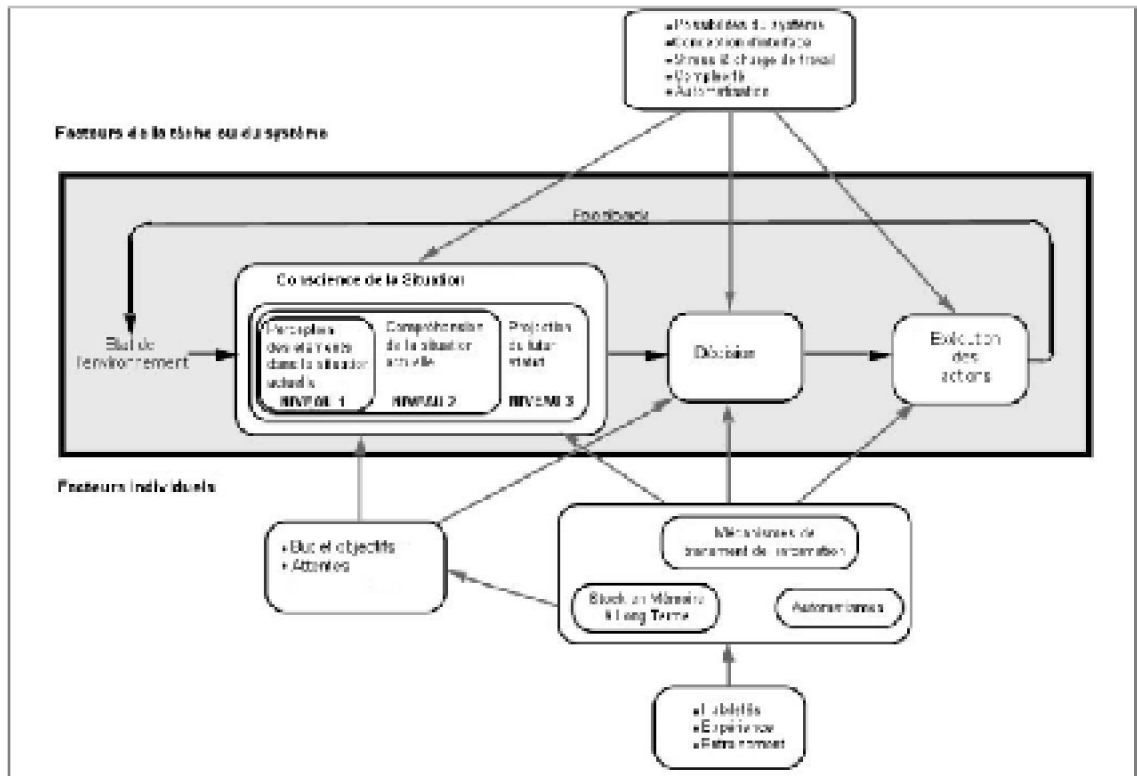


Figure 10 : Conscience de la situation et Prise de Décision, traduit de Endsley (1995) par Bailly (2004)

La Figure 11 décrit le rôle des structures cognitives dans l'élaboration de la CS. Elle se réfère au modèle de mémoire de Cowan, présenté au paragraphe 2.2.3, dans lequel la mémoire de travail correspond à la partie activée de la mémoire à long terme. Ce niveau d'activation peut être variable, les éléments les plus activés correspondent à ceux qui sont dans le focus de l'attention. Le registre sensoriel est le siège d'un traitement pré-attentif des informations sensorielles. Ces traitements sont faits en parallèles aux autres traitements cognitifs et ne nécessitent pas d'attention. Ils fournissent des aspects de perception sur lesquels l'attention pourra se focaliser. L'attention est représentée comme un réservoir pour illustrer le fait qu'il s'agit d'une ressource limitée qui doit être répartie entre la perception, la compréhension, la prise de décision et le contrôle des actions. Endsley la décrit comme une des limites majeures de l'élaboration de la conscience de la situation, mais elle peut être compensée par l'activation de schémas permettant des traitements automatiques. La perception est dirigée par le contenu de la

mémoire de travail et de la mémoire à long terme. L'attente d'une information influence la rapidité de perception de celle-ci. Elle se réfère à la conception de la perception de Bruner selon laquelle la classification de la perception est fonction des connaissances préalables.

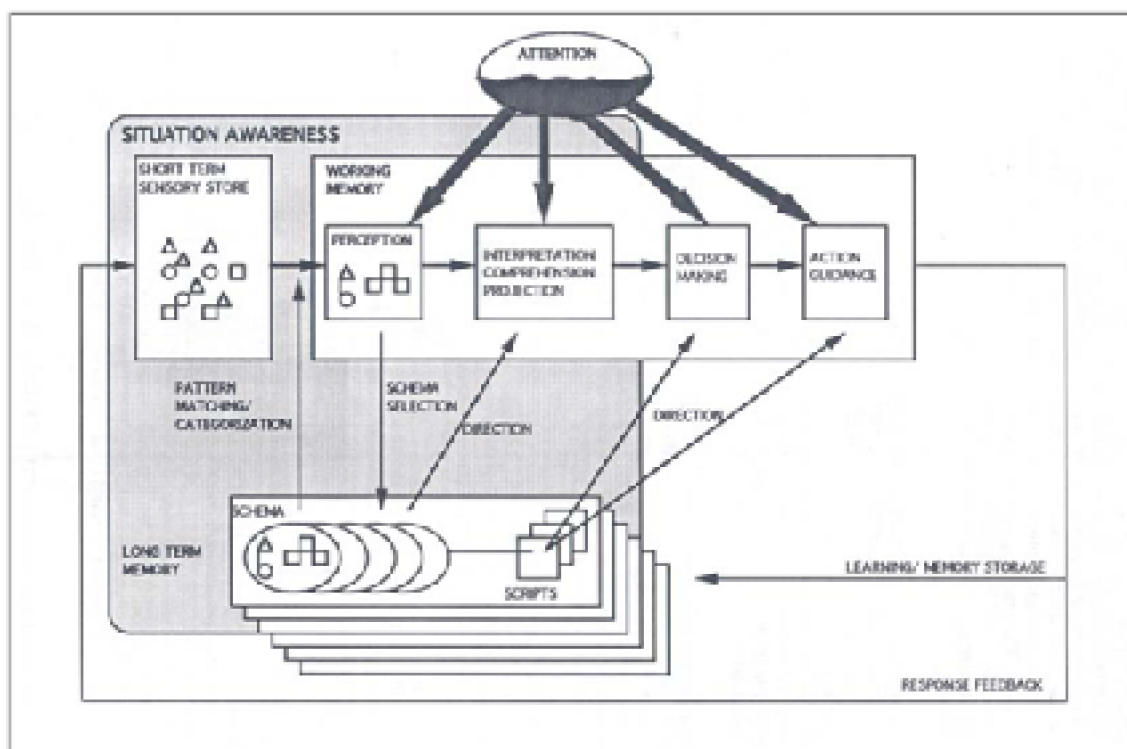


Figure 11 : Modèle de la Conscience de la situation, (Endsley 1995)

D'autres travaux ont apporté leur contribution au concept de CS : Sawaragi & Murasawa proposent une modélisation dynamique de la CS sous forme de succession d'états mentaux. En informatique : Kokar, Matheus & Baclawski proposent une "Situation Theory Ontology", ou « STO ». Certains travaux d'orientation psychologique portent spécifiquement sur la conscience de la situation du conducteur automobile .

### 2.2.7. Les niveaux de contrôle de l'activité

Les notions de schéma et de conscience de la situation que nous venons de présenter renvoient à une imbrication des niveaux de contrôle de l'activité. En effet ces notions permettent de décrire l'activité comme une mise en œuvre de différents schémas de contrôle à différents niveaux de conscience. Ces différents schémas peuvent être activés et suivis de manière plus ou moins automatique, et quand un schéma est pris en défaut, apparaît alors un effet de surprise, d'inattendu, qui appelle l'attention de l'opérateur. Cette focalisation de l'attention est liée, du point de vue de l'opérateur, à une prise de conscience de certains aspects de l'activité. Cette prise de conscience entraîne en retour la mise en œuvre d'autres schémas de contrôle eux-mêmes plus ou moins volontaires. Cette double interaction entre les niveaux automatiques et les niveaux conscients est qualifiée dans la littérature d'ascendante ("bottom-up") et de descendante ("top-down") . L'ascendant correspond à l'effet de l'activité sur la prise de conscience et le descendant

correspond à l'effet de la conscience sur l'activité.

Plusieurs classifications de ces niveaux de contrôle ont été proposées. Une distinction classique est la distinction implicite/explicite. Norman & Shallice distinguent trois niveaux : viscéral-réactionnel, comportemental-routinier, et réflexif. La classification la plus célèbre est sans doute celle de Rasmussen : la distinction habileté/règle/connaissance ("skill/ rule/ knowledge"). Le niveau habileté correspond à la mise en œuvre automatique de schémas essentiellement sensorimoteurs, ou d'habiletés cognitives automatisées telles qu'une opération de calcul mental. Les schémas de ce niveau sont préalablement appris par la pratique et permettent des réactions rapides, en revanche leur déroulement interne est difficilement contrôlable et explicitable par l'opérateur.

Le niveau règle regroupe la mise en œuvre de règles élémentaires, heuristiques, plus ou moins intuitives. Du point de vue de l'opérateur, les schémas de ce niveau correspondent à des perceptions et des manipulations de signes, qui peuvent être relativement facilement explicitées.

Le niveau connaissance correspond au niveau qui est perçu par l'opérateur comme celui des choix raisonnés. Il se base sur une manipulation rationnelle de symboles, dont l'opérateur peut fournir aisément une explicitation. Ce niveau est contrôlé par la volonté de l'opérateur, il est soumis au "goulet d'étranglement" de l'attention. Il permet de gérer de manière consciente des activités qui n'ont pas encore été automatisées.

Schneider & Shiffrin se sont intéressés à comparer les niveaux automatiques et contrôlés. Ils ont montré qu'une même tâche était réalisée plus rapidement de manière automatique que contrôlée, et qu'elle était moins perturbée par la présence d'une double tâche en parallèle. Cela les conduit à affirmer que les processus automatiques sont moins consommateurs de ressources attentionnelles que les processus contrôlés.

Il ressort de ces modèles que l'ergonome pourra inférer des "prises de conscience" de la part de l'opérateur s'il observe des ruptures dans des schémas préalablement connus. Inversement, s'il observe un contrôle fluide de l'activité conforme à des schémas connus, il pourra inférer que les ressources attentionnelles de l'opérateur ne sont pas excessivement sollicitées. Par ailleurs ces prises de conscience et ces choix conscients sont accompagnés d'un ressenti émotionnel dont le rôle dans le contrôle de l'activité est de plus en plus reconnu .

### **2.2.8. Conclusion sur l'apport de la psychologie cognitive**

---

La psychologie cognitive nous propose différentes notions pour expliquer le comportement d'un opérateur avec le paradigme du traitement de l'information. Nous avons présenté les modèles structuraux de la mémoire humaine, conçue comme le contenant de ces informations, tout en insistant sur son rôle actif pour leur acquisition et leur sélection. Nous avons introduit la notion de représentation mentale et l'usage que nous pouvons en faire dans le cas des activités dynamiques, en particulier avec les notions de "représentation pour l'action" et de "schéma". Nous avons présenté la notion de "conscience de la situation" qui nous apporte un cadre pour décrire l'ensemble des

informations dont un opérateur tient compte, plus ou moins explicitement, pour contrôler son activité dans une situation donnée.

Ces notions de psychologie cognitive nous contraignent à prendre en compte différents niveaux de contrôle de l'activité. En effet, le postulat initial d'expliquer les comportements par les états et processus mentaux du sujet paraît clair pour les comportements qui résultent de réflexions et de raisonnements symboliques. En revanche, il devient plus difficile à appréhender quand on aborde l'analyse d'une activité dans laquelle le sujet est physiquement engagé. Dans ce cas, son expérience subjective "accompagne" ses actions et peut être autant vue comme une cause que comme une conséquence de l'activité. Ces différents niveaux de contrôle mis en œuvre par l'opérateur s'échelonnent entre des comportements réalisés de manière automatique et non consciente et des choix réalisés de manière explicite, raisonnée et volontaire. Dans les activités dynamiques, ces mécanismes interagissent de manière complexe dans une forme de continuum.

## 2.3. La Simulation cognitive

### 2.3.1. Introduction

---

La simulation cognitive avance d'un pas supplémentaire dans le projet des sciences cognitives qui vise à décrire le fonctionnement de l'esprit humain comme un système de traitement de l'information. Ce champ de recherche provient de la convergence entre les disciplines issues des domaines de l'informatique désignées sous le nom d'ingénierie de la connaissance (Knowledge Engineering), avec l'ergonomie cognitive issue des sciences humaines. C'est un champ de recherche par nature trans-disciplinaire qui implique une collaboration étroite entre des psychologues et des informaticiens, comme par exemple au Lescot. Nous présentons ici la simulation cognitive pour trois raisons :

- Elle intègre en elle-même des connaissances sur l'architecture cognitive de l'être humain. Nous exploitons ces connaissances dans nos analyses de l'activité du chapitre 6 et nous les rediscutons au chapitre 7.
- Elle positionne notre travail dans une perspective de recherche plus vaste, par le fait que les modèles de l'activité que nous cherchons à construire visent, à terme, à être implémentés sous la forme de simulation cognitive.
- Elle permet de mieux saisir le paradigme du traitement de l'information pour la modélisation de l'opérateur.

Au paragraphe 2.2, nous avons montré que la psychologie cognitive proposait une théorisation de l'architecture structurelle et fonctionnelle de l'esprit humain. Cette théorisation repose globalement sur l'idée de concevoir les représentations mentales comme des structures d'informations, mais sans encore en préciser la forme exacte. La

simulation cognitive vise à décrire ces structures d'informations sous la forme de structures de données qui puissent être stockées et manipulées par des ordinateurs. En informatique, une "structure de données" peut se définir comme un ensemble de variables, qui peut être manipulé en tant que tel, par l'ordinateur. Ces variables peuvent prendre des valeurs numériques ou paramétriques. L'ordinateur pourra les traiter en tant qu'ensemble, leur appliquer des règles de calcul, et produire à partir d'elles des "affichages à l'écran" qui pourront être interprétés par l'ergonome.

Décrire les représentations mentales par des structures de données informatiques, revient alors à spécifier les différentes variables qui seront incluses dans ces structures de données, et à spécifier l'architecture qui les organisera. Tout l'intérêt de la simulation cognitive vient du fait qu'on pourra simuler la façon dont l'esprit humain "manipule" les représentations mentales. Cette simulation prendra la forme de calculs effectués par l'ordinateur sur ces structures de données.

Pourtant, cette étape supplémentaire dans la formalisation des représentations mentales entraîne le risque de perdre leur dimension intrinsèquement signifiante. Par exemple, un ergonome expliquera qu'un conducteur a tourné à gauche parce que son but était d'aller à gauche et que dans sa représentation de la situation, la voie était libre. A minima, l'ergonome pourrait construire une simulation dans laquelle la représentation de la situation est une structure de deux variables : la variable "But" qui vaudra "Gauche" et la variable "Voie" qui vaudra "Libre". Son modèle cognitif contiendra une règle : "Si But=Gauche et Voie=Libre alors tourner à gauche". Les termes "Gauche" et "Libre" symbolisent pour l'ergonome un état de la situation. C'est donc pour l'ergonome qu'ils ont une valeur symbolique et non pour l'opérateur lui-même. La structure de données est une description par et pour l'ergonome de la représentation mentale que l'opérateur est supposé avoir de la situation. Cela ne signifie pas que l'opérateur aie mentalement appliqué cette règle pour réaliser cette action, ni même qu'il utilise une forme de symboles "Gauche" et "Libre" pour représenter ces éléments de la situation. En situation réelle, le sujet peut, ou non, réaliser cette action en fonction d'un nombre potentiellement infini d'éléments que l'ergonome ne peut pas, a priori, inclure dans un modèle. Les modèles de simulation cognitive n'ont donc pas pour vocation de créer un "opérateur artificiel" pleinement capable de réaliser l'activité. Mais leur but est de réaliser des simulations qui rendent compte de la manière la plus approchante possible des informations qui ont un sens pour l'opérateur et de la façon dont il les utilise pour réaliser son activité.

Ainsi, en choisissant de décrire la représentation mentale de l'opérateur par cette structure de données, l'ergonome prétend que les notions de "But Gauche" et "Voie Libre" ont un sens pour l'opérateur dans le cadre de sa propre activité. Par quel processus l'ergonome peut-il parvenir à l'affirmer ? C'est en apportant des réponses à cette question que nous apporterons une contribution au champ de recherche de la simulation cognitive.

### 2.3.2. Les "frameworks" de simulation cognitive

---

Saint Amant, McBride & Ritter définissent un "framework" (cadre) de simulation cognitive comme une théorie sur la cognition humaine qui peut être concrétisée sous la forme d'un programme informatique. Ces frameworks visent à intégrer de manière cohérente des

théories produites à partir de différentes études de psychologie cognitive : la manipulation symbolique, l'attention, la perception, la commande des mouvements, etc. Les ergonomes peuvent programmer, à l'intérieur de ces frameworks, des simulations particulières de tâches spécifiques. Par exemple, ils peuvent programmer une simulation des processus mentaux d'un conducteur automobile lorsqu'il décide de tourner à gauche. Lorsque l'ergonome exécute la simulation, ces modèles reproduisent ainsi certaines caractéristiques du comportement humain, telles que les temps de réaction ou les taux d'erreur. Ces caractéristiques peuvent ensuite être comparées à celle des opérateurs humains.

Salvucci & Lee distinguent deux types de framework de modélisation cognitive selon le niveau de comportement auquel ils s'intéressent :

a) Les frameworks de haut niveau représentent les comportements comme des actions basiques du sujet humain, telles que bouger la souris ou appuyer sur une touche. Ces modèles représentent les connaissances et les représentations du sujet comme des structures de données complexes telles que les Frames ou les scripts présentées au paragraphe 2.2.5. L'avantage de ces modèles réside dans leur simplicité de programmation pour décrire des séquences de comportements. En revanche, ils ne permettent pas d'aborder les comportements de base tels que les séquences oculaires, ni le détail de l'activité cognitive effectuée par le sujet.

b) Les frameworks de bas niveau décrivent des "composants atomiques" de l'activité cognitive avec des règles qui s'exécutent sur des pas de temps de l'ordre de 50 millisecondes. Dans ce cas, les connaissances de l'utilisateur ne sont pas représentées sous forme de structures de données complexes mais sous forme de symboles individuels (appelés "items" ou "chunks") pour les connaissances déclaratives et sous forme de "règles de production" pour les connaissances procédurales. Ces modèles permettent toutefois de définir des associations pondérées entre "chunks" qui autorisent de propager leur activation et ainsi organisent les "chunks" en une sorte de réseau sémantique. L'avantage de ces modèles réside dans le fait qu'ils permettent de représenter les traitements d'information réalisés à chaque vague de déclenchement neuronal ("spike") du cerveau humain. L'inconvénient est qu'ils ne peuvent rendre compte que des activités extrêmement contraintes par la tâche, et qu'ils nécessitent beaucoup de temps pour les programmer.

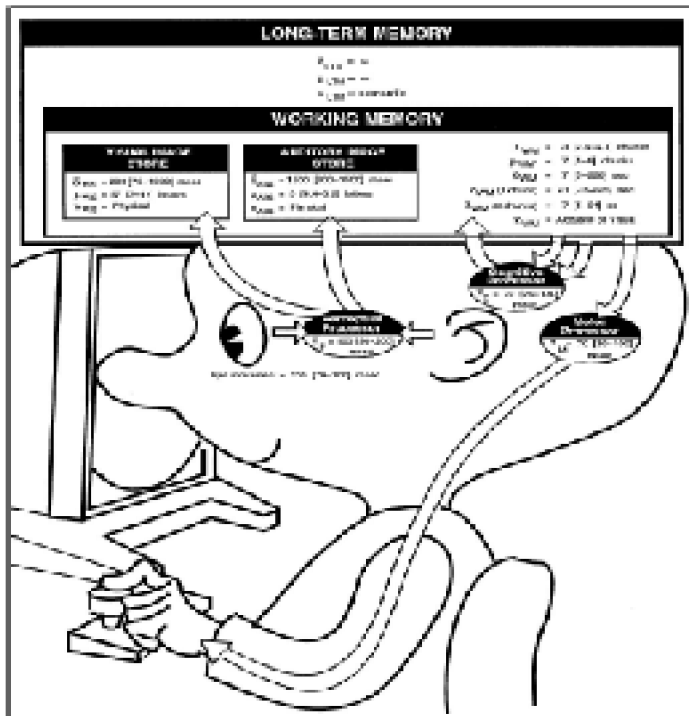
Ces deux niveaux de modélisation constituent des approches très différentes de la simulation cognitive, bien que certaines études tentent de les relier en proposant des mécanismes permettant d'écrire les modèles à un haut niveau de description et de générer automatiquement le code du modèle de bas niveau sous-jacent, le projet Herbal de .

### 2.3.3. La simulation cognitive de haut niveau d'abstraction

---

Le développement des frameworks de haut niveau est motivé par leur relative simplicité de mise en œuvre. Cette simplicité permet de répondre facilement à une demande croissante en modélisation cognitive pour l'étude des interfaces homme machine des

systèmes informatisés. Ritter, Haynes et al. proposent une revue de ces framework de haut niveau dans laquelle ils citent les principaux : agimap, G2A, CogTool, Herbal, HLSR, IRG, GOMS. Nous décrivons ici GOMS et COGENT qui sont représentatifs de ces outils.



Ce modèle inclut un processeur perceptif qui dirige les informations vers un buffer visuel et un buffer auditif considérés comme faisant partie de la mémoire de travail, elle-même considérée comme faisant partie de la mémoire à long terme. Un processeur cognitif manipule l'information en mémoire de travail. L'information produite active un processeur moteur.

Figure 12 : Model Human Processor, GOMS (Card et Al 1986)

GOMS (Goals, Operators, Methods, and Selection Rules) est un des environnements de haut niveau qui apparaît le plus dans la littérature. Il est plus spécifiquement dédié à la modélisation de l'utilisateur d'un système informatique. Dans GOMS, la structure cognitive consiste en quatre composants : a) un ensemble de buts organisés en une hiérarchie de sous-buts. b) un ensemble d'opérations qui sont les actions élémentaires offertes à l'utilisateur, c) en ensemble de méthodes qui sont des séquences de sous buts et d'opérations pour obtenir un but de plus haut niveau, d) un ensemble de règles de sélection pour choisir parmi des méthodes en concurrence. De plus, GOMS repose sur un modèle cognitif de l'opérateur, le Model Human Processor (MHP) représenté .

La version CPM-GOMS (Cognitifs, Perceptuels, Motor) propose une modélisation complexe incluant l'exécution parallèle de certains opérateurs. GOMS permet de prédire le temps nécessaire pour réaliser la tâche ainsi que les erreurs et le niveau de performance.

COGENTest autre exemple d'environnement de modélisation cognitive. Il permet à l'utilisateur de développer des modèles cognitifs en les dessinant sous forme de boites et de flèches dans un éditeur graphique : Figure 13.

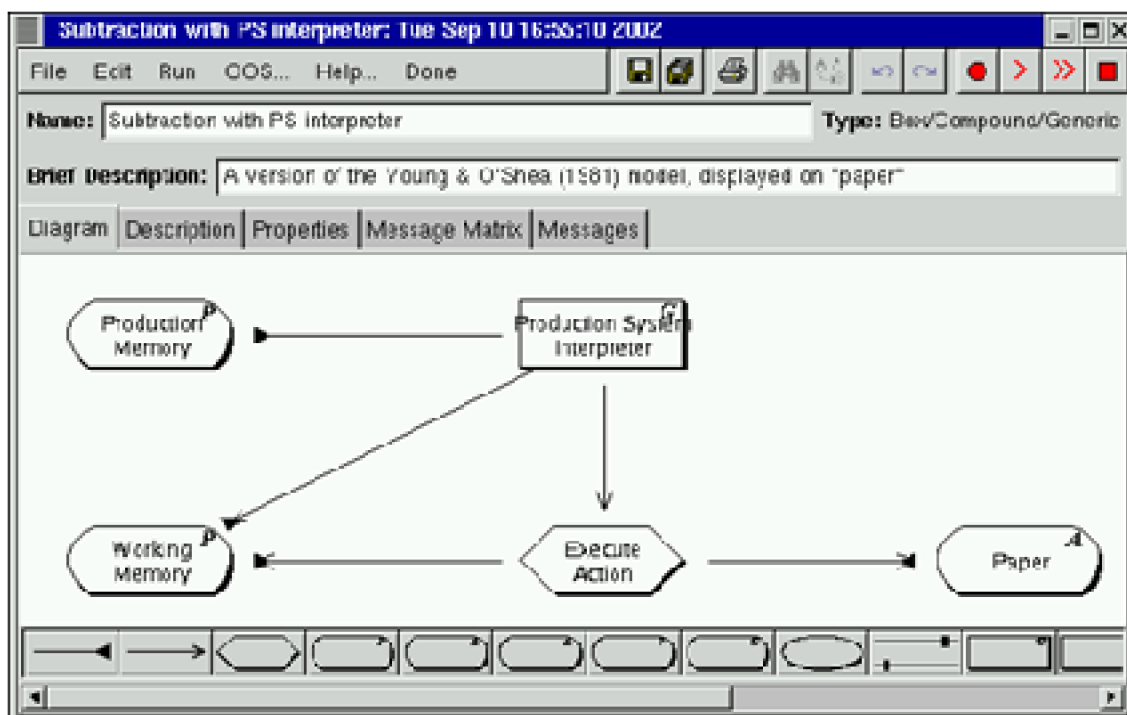


Figure 13 : Cogent : Editeur graphique de modèles

La figure montre une mémoire de règles de production qui alimente un processeur de règles. Ce processeur de règles exploite la mémoire de travail pour produire des actions qui consistent à écrire sur une feuille de papier.

L'éditeur graphique fournit un ensemble de composants standards, incluant différentes sortes de buffers, des processeurs de règles, des opérateurs de calcul simple, des boîtes imbriquées, des entrées/sorties. Chaque composant a une structure interne. Par exemple on peut visualiser le contenu de la mémoire de travail en cliquant dessus.

Pour notre travail nous nous référons à Cosmodrive, qui peut être vu comme un framework de haut niveau dédié à la simulation cognitive du conducteur automobile. Nous le présentons au paragraphe 2.4.5.1.

### 2.3.4. La simulation cognitive de bas niveau

Les principaux environnements de modélisation de bas niveau sont ACT-R , SOAR , et EPIC .

Nous présentons ici le plus représentatif d'entre eux : ACT-R (Adaptive Components of Thought - Rational). Il est basé sur des mécanismes d'activation de *chunks* (symboles élémentaires) dans des *buffers* selon des *règles de production*. Son architecture est présentée à la Figure 14.



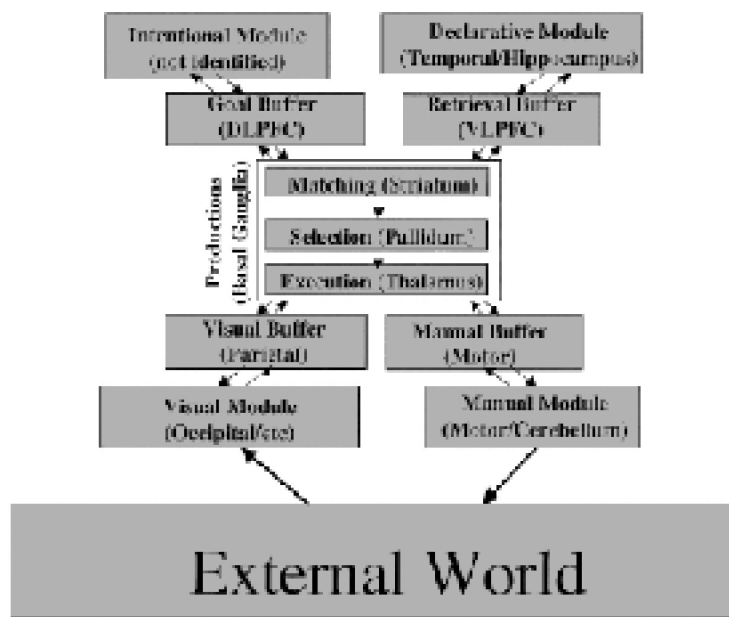


Figure 14 : Architecture de ACT-R, (Anderson 2004)

Il y a quatre buffers qui peuvent contenir simultanément des chunks activés : le buffer visuel, le buffer manuel/moteur, le buffer goal et le buffer Retrieval (qui contient des chunks abstraits). Anderson associe les différents éléments de l'architecture d'ACT-R à des zones anatomiques du cerveau : (DLPFC = dorsolateral prefrontal cortex, VLPFC = ventrolateral prefrontal cortex). Les buffers sont associés à des modules qui activent les chunks.

Une fois activés dans les buffers, les chunks entraînent le déclenchement de règles de production de la forme : "si tels chunks sont activés dans tels buffers, alors activer tel autre chunk dans tel autre buffer". Ces règles de production se déclenchent à une fréquence destinée à simuler la vitesse du cerveau, c'est-à-dire selon un cycle de l'ordre de 50 millisecondes. La règle qui se déclenche est celle qui a le plus haut niveau d'activation. La valeur d'activation des règles est calculée en fonction des valeurs des activations des chunks dans les buffers selon un calcul qui reflète le niveau sub-symbolique.

Créer un modèle d'activité dans l'environnement ACT-R consiste donc à définir les chunks susceptibles d'être activés et les règles de production susceptibles de se déclencher. Il existe des mécanismes pour modéliser l'apprentissage de nouveaux chunks à partir de perceptions sensorielles. Des mécanismes permettent également de modéliser l'apprentissage de nouveaux chunks à partir de répétitions de règles de production, ces mécanismes reviennent à modéliser la transformation de savoir procédural en savoir déclaratif. Par ailleurs des efforts sont actuellement faits pour doter les modèles d'interfaces de perception et d'action , .

### 2.3.5. Conclusion sur la simulation cognitive

La simulation cognitive est un champ extrêmement fécond de la recherche actuelle en sciences cognitives. Nous avons vu qu'elle permet d'en capitaliser les découvertes dans des outils informatiques : les frameworks de simulation cognitive que nous avons présentés. Ils offrent la possibilité d'étudier la cognition dans son déploiement au cours du temps, ils constituent donc des outils adaptés pour étudier l'activité d'un opérateur. Bernard et al. en proposent quatre domaines d'usage : la recherche, la robotique, l'ergonomie, et leur incorporation dans des applications informatiques comme des tutoriels ou des jeux. Ils conduisent à mettre au point des architectures cognitives de plus en plus

détaillées. Ils permettent de créer des modèles spécifiques d'activités données, par exemple des modèles de la conduite automobile que nous présentons au paragraphe 2.4.4. Les simulations générées peuvent ensuite être comparées aux comportements observés chez les opérateurs humains.

Ces auteurs soulignent que la complexité des modèles cognitifs a crue parallèlement à leur renommée. Cela a créé le besoin d'outils et de méthodes pour faciliter leur mise en œuvre. La création, au sein de ces frameworks, d'un modèle spécifique pour une activité donnée n'est pas un simple travail de programmation. Elle implique une véritable expertise de modélisation cognitive. En effet, elle nécessite de déterminer quelles sont les informations signifiantes pour l'opérateur, dans le contexte de son activité. Chaque structure de données modélisée au sein de ces frameworks, chaque "chunk", "frame" ou "script" nécessite d'être identifié par l'ergonome pour pouvoir être programmé dans le modèle.

Il est important de noter que ces frameworks ne permettent pas de rendre compte de l'émergence des symboles et de la construction de leur sens par l'opérateur dans le contexte de son activité, puisqu'ils ne font que manipuler des symboles préalablement définis par l'ergonome. C'est pourquoi ils sont complémentaires de notre approche. Notre approche vise à trouver des schémas cognitifs, basés sur les aspects de l'activité qui sont signifiants pour l'opérateur. Ces schémas pourront ensuite être simulés dans ces modèles, qui leur apporteront ainsi une nouvelle forme de validation.

## 2.4. L'état de l'art de la modélisation cognitive de la conduite automobile

### 2.4.1. Introduction : l'activité de conduite automobile

---

Nous venons de présenter les apports de la psychologie cognitive et de la simulation cognitive pour l'analyse de l'activité en ergonomie. Nous allons examiner maintenant comment ces apports peuvent se décliner dans le cas spécifique de l'activité de conduite automobile.

L'activité de conduite automobile est une activité ouverte dans laquelle les événements les plus imprévisibles peuvent se produire. Elle est fortement dynamique puisqu'elle peut impliquer des temps de réaction très courts, de l'ordre de la centaine de millisecondes. Elle est potentiellement dangereuse, et à ce titre peut susciter des émotions négatives, mais peut par ailleurs être source de plaisir. Elle est complexe au sens où elle implique la prise en compte d'un grand nombre d'informations. Ces informations doivent elles-mêmes être sélectionnées de manière pertinente au sein d'un environnement complexe. Elle implique les différents niveaux de contrôle que nous avons présentés au paragraphe 2.2.7. En effet, contrairement à d'autres activités de déplacement, comme la marche, elle ne se limite pas à la mise en œuvre automatique de

schémas du niveau "habileté". On n'imagine pas qu'elle puisse être réalisée par d'autres animaux que l'humain. Elle implique de prendre en compte certains éléments d'information en tant que signes, et de leur appliquer des règles. Elle implique parfois un contrôle au niveau "connaissance".

Par ailleurs, c'est une activité qui fait l'objet d'une attention particulière de la communauté scientifique de par les enjeux économiques et de sécurité publique qui lui sont rattachés. A ce titre, on la retrouve souvent citée comme exemple dans les ouvrages d'ergonomie cognitive . L'ouvrage de Groeger et le long article de MacAdam donnent une vision assez globale de l'apport des sciences cognitives pour l'analyse de la conduite.

Nous donnons ici un aperçu de ce corpus de connaissances focalisé sur nos centres d'intérêt. Nous commençons par un historique, puis nous présentons les modèles de simulation cognitive, les modèles de contrôle/commande et les modèles mathématiques. Enfin, nous présentons plus en détail la modélisation d'une situation de conduite particulière sur laquelle porteront plus spécifiquement nos analyses : les changements de voie sur autoroute.

### **2.4.2. Bases historiques de la modélisation de l'activité de conduite**

---

#### **2.4.2.1. La modélisation de la tâche dans années 1960-1970**

Les premières études de la conduite automobile étaient centrées sur l'analyse de la tâche, plutôt que sur l'analyse de l'activité réelle. Ces approches ne modélisaient pas le conducteur en tant que tel, et ne prenaient pas en compte, par exemple, ses compétences, son expérience, son état instantané, ses motivations. Une des études les plus célèbre de cette époque est celle de McKnight & Adams qui ont décomposé la tâche de conduite en 1700 sous-tâches ou actions élémentaires (accélérer, tourner le volant, changer de voie...) organisées en neuf catégories (tâche de contrôle du véhicule, tâches liées aux conditions de trafic...). Parallèlement, le travail de Allen, Lunenfeld & Alexander proposait une des premières décompositions de la tâche de conduite en trois niveaux en fonction de leur échelle de temps : la microperformance, la performance situationnelle, et la macroperformance. Ces études posent un cadre de base pour étudier les comportements de conduite mais n'abordent pas encore la dimension cognitive de cette activité.

#### **2.4.2.2. Les modèles de sécurité dans les années 1970-1990**

Dans les Années 1970-1990, les recherches évoluèrent vers l'objectif de mieux comprendre les accidents et d'améliorer la sécurité routière. Les modèles se sont focalisés sur la notion de risque et de prise de risque : modèle de risque zéro , modèle de hiérarchie du risque , modèle d'évitement du risque . Ces modèles proposèrent des descriptions mathématiques des mécanismes de prise de décision et d'élaboration d'un jugement.

#### **2.4.2.3. Niveaux stratégique, tactique, opérationnel de Michon**

Malgré l'évolution des approches, ces travaux historiques ont posé un principe de base dans l'étude de la conduite automobile qui s'est avéré très résistant avec le temps. Ce principe, formulé par Michon (1985) propose de subdiviser l'activité de conduite en trois niveaux en fonction de leur échelle de temps (Figure 15).

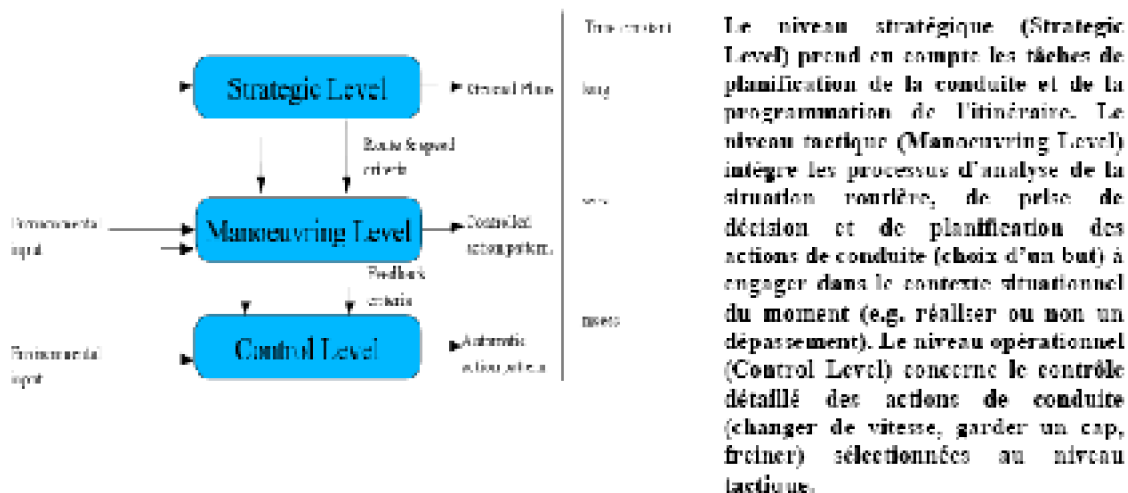


Figure 15 : Niveaux de tâche de conduite, (Michon 1985)

### 2.4.3. Les modèles contrôle / commande.

Les modèles contrôle/commande sont utilisés dans le cadre de la conception de systèmes automatiques de conduite, mais également pour la compréhension des mécanismes humains de régulation.

En effet, ils visent à expliquer les comportements par une fonction de transfert entre les entrées perceptives et les sorties motrices. Ces fonctions de transfert peuvent être des fonctions linéaires ou différentielles. A ce titre, ces modèles prétendent surtout à rendre compte du niveau opérationnel, en s'intéressant d'abord à la perception, principalement visuelle, puis à son exploitation pour le contrôle latéral et longitudinal du véhicule.

Ainsi, de nombreux auteurs ont montré l'importance des regards en direction du point de tangente pour le contrôle latéral en virage : Figure 16.

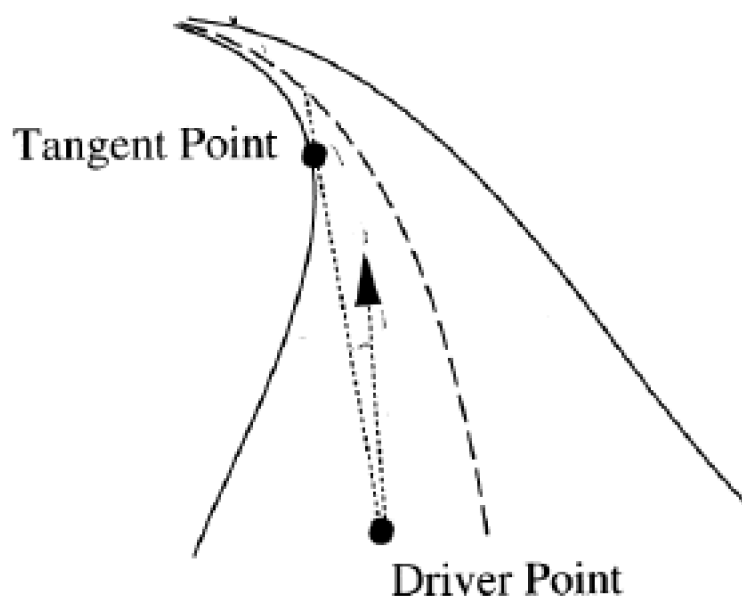


Figure 16 : Contrôle de virage orienté par le point de tangente, (Boer 1996)

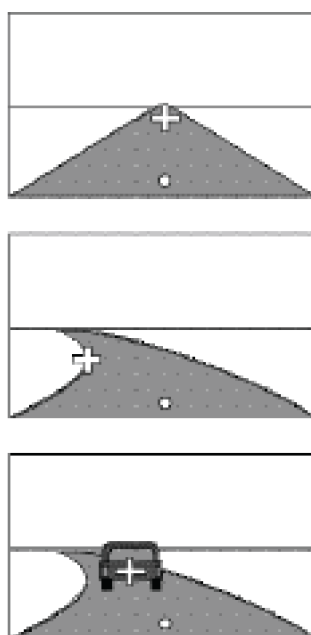


Figure 17 : Modèle de contrôle latéral orienté par deux points, (Salvucci 2004)

Salvucci & Gray ont proposé un modèle orienté par deux points : un point proche (7-8m) pour le positionnement sur la voie, et un point lointain (10-20m) permettant l'anticipation : Figure 17.

Au niveau du contrôle longitudinal, des auteurs ont proposé l'idée que le temps à la collision seraient directement perçu par la vitesse de variation de la dimension angulaire d'un obstacle .

Ces modèles fournissent des indications sur les "variables d'entrée" qui sont significatives pour le conducteur. Ce sont sur ces variables que nous devons nous baser

afin de comprendre l'activité de conduite comme elle est comprise par le conducteur. Concrètement, dans les analyses que nous présenterons au paragraphe 6.2, la théorie de Lee nous incite à nous baser sur le temps à la collision plutôt que sur la vitesse relative de l'obstacle, qui n'est pas une grandeur directement prise en compte par le conducteur. De même, les modèles de contrôle latéral nous conduisent à régler les zones d'intérêt de notre oculomètre de façon à détecter autant que possible les regards en direction de la tangente des virages.

### 2.4.4. Les schémas tactiques de conduite automobile

---

Bellet propose d'appliquer au conducteur automobile la théorie des schémas que nous avons présentées au paragraphe 2.2.5. Il définit (p150) les schémas de conduite automobile comme :

**« Des structures assimilatrices sélectionnées en mémoire par le conducteur en vue de gérer son déplacement dans l'environnement. »**

Conformément à la théorie des schémas, ces structures assimilatrices intègrent à la fois des savoir-faire et des représentations des éléments de la situation. Ces représentations prennent sens pour le conducteur du fait qu'elles s'insèrent dans un contexte d'usage. Bellet précise qu'une fois activées et instanciées, ces connaissances vont à la fois piloter les actions et orienter les prises (exploration perceptive) et le traitement (intégration cognitive) des informations. Enfin, il propose une formalisation des schémas de conduite sous la forme d'une structure d'information dans le framework de simulation cognitive du conducteur automobile COSMODRIVE que nous présenterons au paragraphe 2.4.5.1. Ce formalisme décrit les savoir-faire comme des connaissances procédurales et les représentations comme des connaissances déclaratives. Nous le présentons au paragraphe suivant.

Ces schémas de conduite automobile portent sur la gestion des situations au niveau tactique, au sens de Michon , c'est-à-dire sur des échelles de temps de plusieurs secondes, par exemple les franchissements d'intersections ou les opérations de dépassement. Mais ils intègrent les différents niveaux de contrôle décrits au paragraphe 2.2.7 : habileté, règle, connaissance. A ce titre, ils peuvent être plus ou moins automatisés et impliquer différents niveaux de prise de conscience de la part du conducteur. Leur mise en œuvre est soumise aux contraintes propres à l'activité de conduite : fortement dynamique et complexe. Dans ces conditions, la représentation de la situation est toujours incomplète et les décisions ne sont pas toujours optimales.

Si le niveau opérationnel de Michon a fait l'objet de nombreuses études et de modélisations sur le principe contrôle/commande que nous venons de présenter, en revanche on ne trouve pas beaucoup d'études sur le niveau tactique. En dehors des travaux de Bellet, on peut tout de même citer les travaux de Van Elslande qui applique cette approche pour étudier les scénarios d'accidents et d'erreurs de conduite.

Cette approche par schéma soulève la question de la sélection, de l'activation ou de l'inhibition de schémas ou de sous-schémas concurrents. Les schémas tactiques peuvent être vus comme une planification plus ou moins souple de sous-schémas. Cette activation

de sous-schémas planifiés a été rattachée au niveau neurophysiologique par Norman & Shallice qui montrent dans cet article fondateur l'implication du cortex préfrontal. Dans le domaine de la conduite automobile, cette approche fait l'objet d'études à l'université de Chemnitz .

### 2.4.5. Les modèles de simulation cognitive

---

Dans les Années 1990, sont apparus les modèles computationnels. Comme nous l'avons présenté au paragraphe 2.3, ils visent à implémenter sur ordinateur une théorie des états et processus cognitifs internes du conducteur dans le cadre de son activité de conduite. La même classification de ces modèles peut être faite que pour les frameworks de simulation, en fonction de leur niveau d'abstraction. Les modèles de haut niveau ont vocation à expliquer des comportements sur une échelle de temps qui s'exprime en secondes, c'est-à-dire au niveau tactique. Les modèles de bas niveau ont vocation à expliquer des comportements sur des échelles de temps qui s'expriment en centaines de millisecondes, ce sont des comportements du niveau opérationnel ou éventuellement des comportements impliquant des choix tactiques suffisamment contraints. Dans son article de 1985, Michon estime qu'il faudrait programmer environ 50000 règles de productions sous ACT-R pour développer un modèle complet du conducteur automobile.

#### 2.4.5.1. Simulation cognitive de haut niveau

La modélisation cognitive de haut niveau du conducteur automobile est une tâche difficile, ce qui explique sans doute que peu de modèles aient été réalisés. Par comparaison avec la modélisation de l'utilisateur d'un système informatique, cette difficulté ne semble pas tant venir de la complexité des actions possibles pour l'opérateur, mais plutôt de la complexité des situations dans lesquelles il est plongé. Alors que la situation de l'utilisateur d'un système informatique peut se réduire à ce qu'il voit à l'écran (qui est par définition connu par le système), la situation du conducteur automobile est extrêmement complexe, et variable. Dans ces conditions, construire une théorie des représentations mentales que se fait le conducteur est une tâche ambitieuse.

Des modèles de haut niveau ont pourtant été réalisés, pour étudier l'ergonomie de systèmes embarqués ou pour réaliser des micro-simulateurs de trafic. Pettitt, Burnett & Karbassioun proposent un modèle réalisé avec GOMS qui permet de prédire les performances d'un utilisateur de système informatique pendant la conduite automobile. Malec & Per ont proposé un modèle basé sur les frames, orientés vers la conception d'un assistant de conduite automatique. Algiers et al. puis Krajzewicz, Kühne & Wagner proposent une revue des modèles applicables aux micro-simulateurs de trafic, c'est-à-dire des simulateurs intégrant les comportements individuels de chaque véhicule. Dans ce cadre on peut citer ACME .

Au LESCOT, Bellet propose une architecture de simulation cognitive dédiée à la conduite automobile : COSMODRIVE (COgnitive Simulation Of the DRIVER) , . COSMODRIVE s'apparente à un framework de haut niveau dans la mesure où il offre un cadre pour simuler des activités particulières, toutefois il est restreint à la conduite automobile. Par

cette spécificité, il propose une architecture pour formaliser les modèles cognitifs du conducteur automobile que nous pourrions construire dans notre approche. Nous le présentons donc ici de manière plus détaillée.

La Figure 18 montre son architecture générale qui repose sur sept modules :

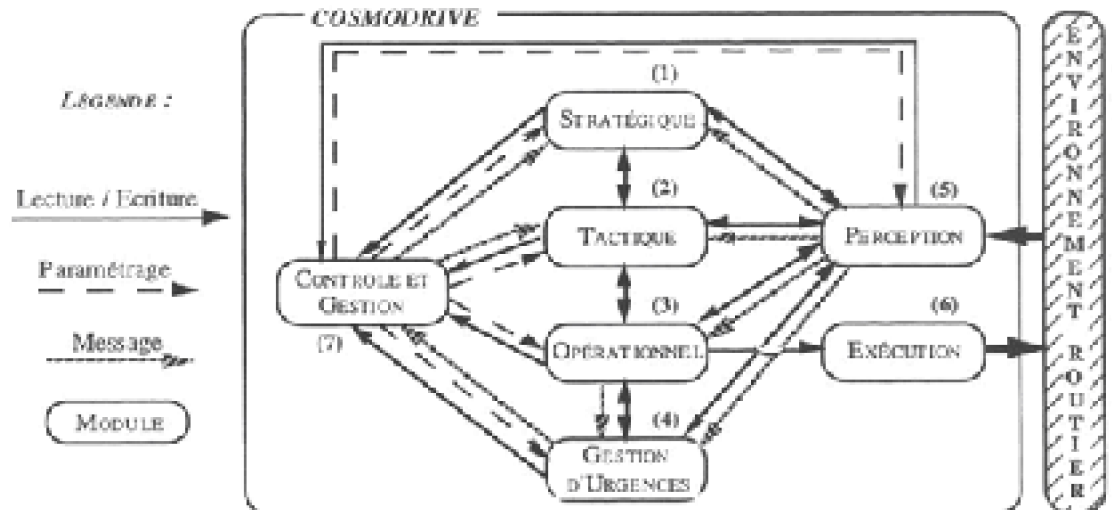


Figure 18 : Architecture de COSMODRIVE, (Bellet 1998)

**(1) STRATEGIQUE** : planification et réalisation de l'itinéraire. **(2) TACTIQUE** : Gestion de la situation courante dans le trafic. **(3) OPERATIONNEL** : planification des tâches élémentaires de conduite et détection des risques d'accident. **(4) GESTION D'URGENCE** : contrôle de l'activité de conduite en cas de situation critique. **(5) PERCEPTION** : traitement des données sensorielles. **(6) EXECUTION** : réalisation de tâches de conduite. **(7) CONTROLE ET GESTION** : répartition des ressources entre les agents cognitifs.

Le module tactique représente le siège de la prise de conscience de la situation par le conducteur. En termes informatiques, il réalise l'instanciation du frame tactique. Celui-ci peut être défini comme une structure de connaissance potentiellement déployable et adaptable en fonction de la situation courante pour donner naissance à la représentation tactique courante, au schéma de conduite courant (représentation opérationnelle de la situation) et aux représentations anticipées. Le module tactique est conçu comme un système multi-agents. Ceux-ci traitent en parallèle des données qu'ils échangent par l'intermédiaire de "tableaux noirs".



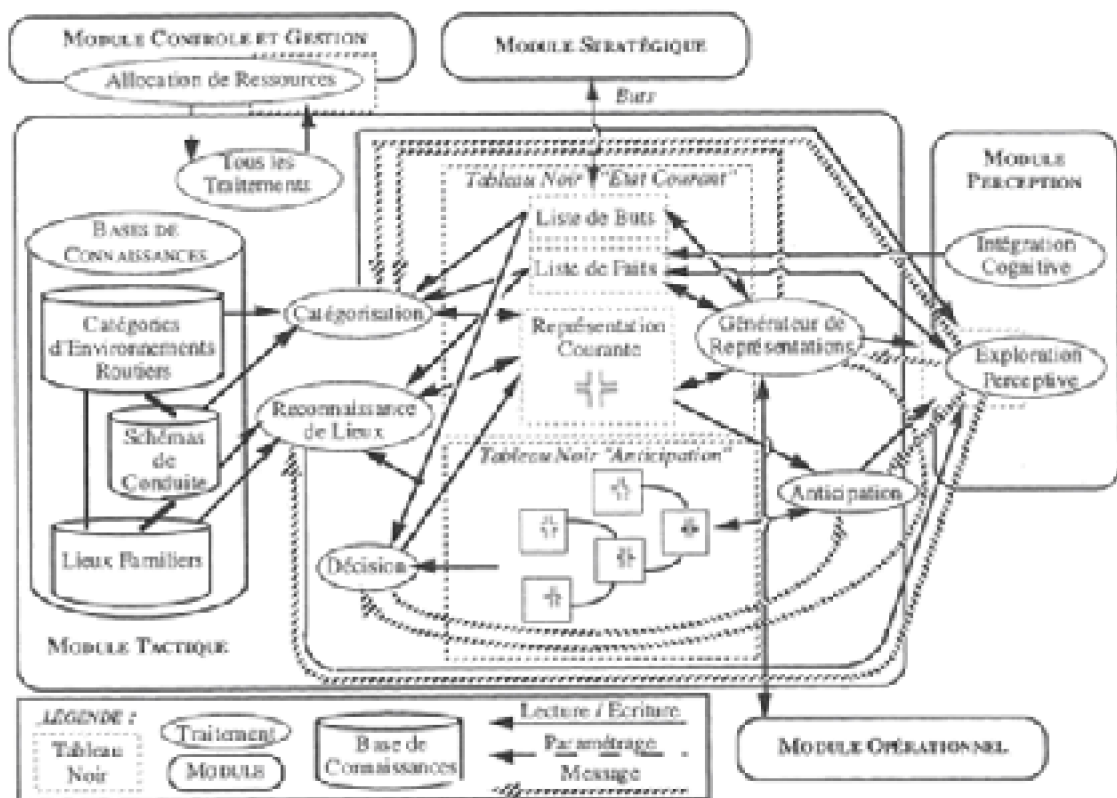
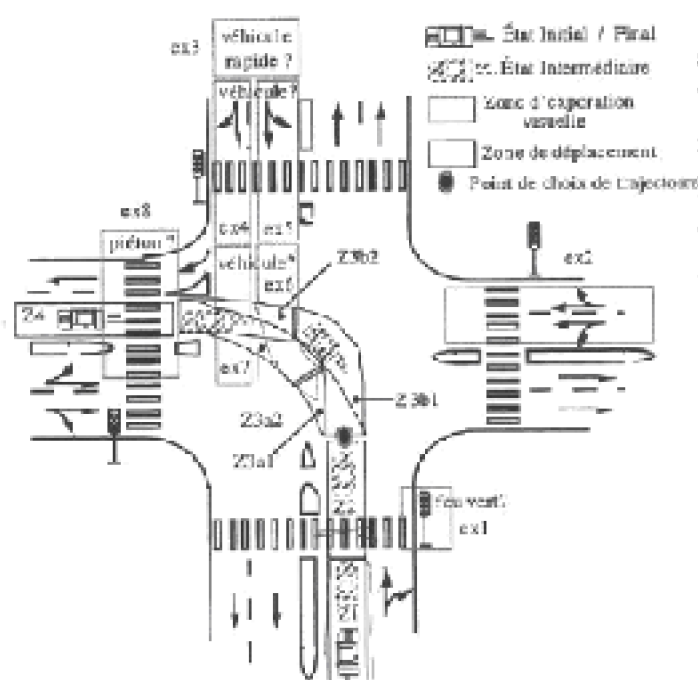


Figure 19 : Le module tactique de COSMODRIVE, (Bellet 1998)

Le module tactique se compose de 2 tableaux noirs, 3 bases de connaissance et 5 agents cognitifs : Le tableau noir état courant : c'est là que se construit le schéma de conduite de la situation courante. Le tableau noir anticipation : Il contient les représentations anticipées générées à partir de la représentation courante. La base de catégories d'environnements routiers : elle contient les connaissances sur les environnements routiers organisées hiérarchiquement. La base de schémas de conduite : ensemble des schémas de conduite connus par le conducteur. La base de lieux familiers : ensemble de lieux connus par le conducteur. Le processus de catégorisation : détermine la catégorie d'environnement routier applicable. Le processus de reconnaissance de lieux : identifie des lieux connus. Le processus générateur de représentation tactique courante : Il réalise l'instanciation du schéma de conduite. Le processus anticipation : établit les futurs possibles en construisant des représentations anticipées. Le processus décision : effectue un choix parmi les futurs possibles

La notion de frame tactique peut être illustrée par l'exemple de tourner à gauche dans un carrefour à feux :



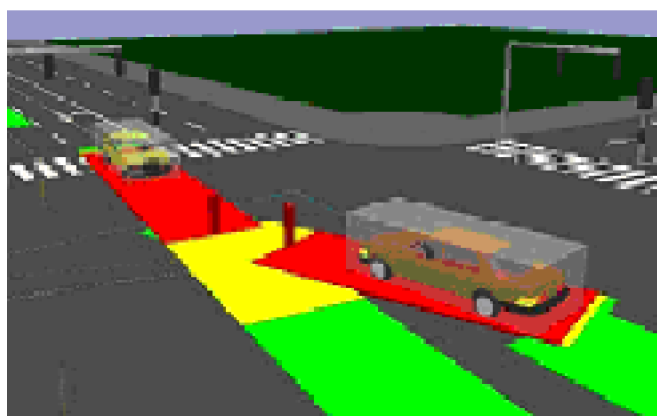
Le schéma tactique est lié à une catégorie d'environnement : carrefour à feux.

Il inclut :

- un but local : tourner à gauche.
- une séquence de zones de déplacement (éléments de trajectoire) chacune caractérisée par un état initial et un état final : Z1, Z2, Z3a1, Z3b1, Z3a2, Z3b2, Z4
- un ensemble de zones d'exploration perceptives : ex1, ex2, ex3, ex4, ex5, ex6, ex7, ex8
- une séquence d'actions à réaliser en fonction de conditions telles qu'atteindre la vitesse V à la fin de la zone Z.
- un ensemble d'événements potentiels susceptibles de conditionner les actions tels que la présence d'objet dans une zone.

Figure 20 : Frame du tourne à gauche dans carrefour à feux, (Bellet 1998)

La mise en œuvre de ce schéma a fait l'objet de simulations informatiques dynamiques en trois dimensions par Mayanobe, illustrées à la Figure 21.



Cette simulation de franchissement d'intersection matérialise les "zones enveloppes" des véhicules. Rouge : "zone de danger", jaune : "zone de menace", vert : "zone de sécurité".

Figure 21 : Simulation de schéma tactique, (Mayanobe 2003)

Le schéma tactique du "tourne à gauche" est encore le seul qui ait été formalisé au Lescot dans le cadre du projet COSMODRIVE. Pour formaliser de nouveaux schémas tactiques, l'ergonome doit pouvoir comprendre les mécanismes cognitifs mis en œuvre par le conducteur, comme nous l'avons présenté au chapitre 1. Dans sa présentation de COSMODRIVE, Bellet exprime le besoin d'outils informatiques associés à COSMODRIVE pour permettre la production de nouveaux schémas à partir de données comportementales recueillies dans des expérimentations de conduite. Notre travail vise à répondre à ce besoin, et s'inscrit ainsi dans le champ de recherche sur la simulation cognitive du conducteur automobile du LESCOT.

## 2.4.5.2. Simulation cognitive de bas niveau

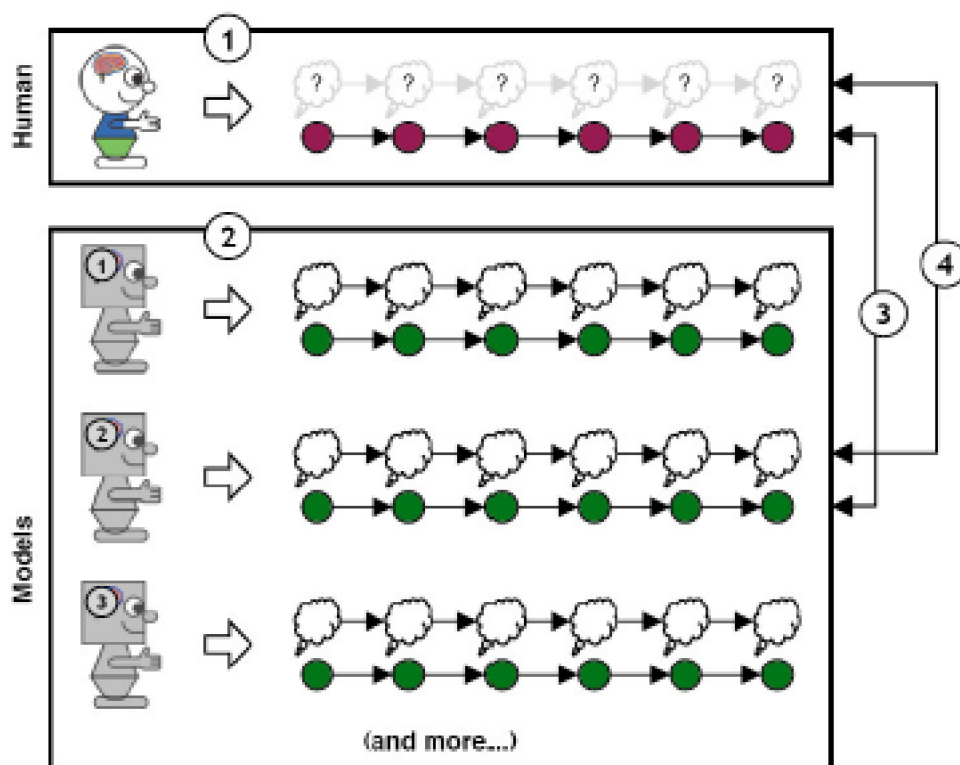


Figure 22 : Schematic of the mind-tracking architecture, ( Salvucci 2004)

Ces modèles ont été utilisés pour modéliser des mécanismes élémentaires impliqués dans la conduite automobile tels que le suivi de trajectoire , . Le modèle de prise de décision de changer de voie proposé par Salvucci, Boer & Liu est illustré Figure 22.

Le système simule un ensemble d'intentions possibles du conducteur et les comportements qui en résultent. Puis le système compare ces simulations avec le comportement réel du conducteur, qui lui permet de sélectionner parmi les hypothèses celle qui est effectivement suivie. Il annonce que ce système peut détecter 80% des changements de voie en 0.5s et 90% en 1s, avec un taux de fausses détections de 4%.

## 2.4.6. La catégorisation par apprentissage automatique

Ces méthodes consistent à catégoriser les situations de conduite à l'aide d'algorithmes informatiques. Le principe général est d'établir une fonction de correspondance entre, d'une part, un ensemble de caractéristiques représentatives des situations et d'autre part, un ensemble de catégories. Cette fonction de correspondance peut être apprise par les algorithmes informatiques par des mécanismes d'apprentissage supervisés ou non. Dans le cas de l'apprentissage supervisé, un expert est employé pour étiqueter correctement des exemples. L'algorithme doit ensuite trouver ou approximer la fonction qui permet d'affecter la bonne étiquette à ces exemples. Le but d'un algorithme d'apprentissage

non-supervisé est de déterminer par lui-même des catégories en regroupant les échantillons qui lui sont présentés. Pour cela, ces algorithmes ne se basent que sur des propriétés de répartition génériques définies a priori. Dans le cas des algorithmes supervisés, ils généralisent, pour des entrées inconnues, ce qu'ils ont pu apprendre grâce aux données déjà traitées par des experts.

Les travaux réalisés à l'Inrets par Dapzol ont montré que pour que ces méthodes fonctionnent, elles devaient prendre en compte les propriétés d'enchaînement temporel des événements entre eux. Dans le projet CEMVOCAS, Tattegrain-Veste et al. ont mis en œuvre une catégorisation des situations en temps réel basée sur des réseaux de neurone. Ce projet permet une classification de 85% des situations en termes de disponibilité du conducteur à recevoir un message sonore. Mais, l'amélioration des taux de reconnaissance était difficile du fait du caractère « boîte noire » des réseaux de neurones. En effet, à cause de la non-interprétabilité du système, l'ajout de nouveaux facteurs explicatifs était hasardeux. Bien que ces ajouts amélioraient la reconnaissance de certaines situations, ils la réduisaient pour d'autres.

Finalement les meilleurs résultats consistent à mixer les méthodes d'apprentissage automatique et des méthodes de modélisation par des experts. Dans cette optique, McCall, Wipf, Trivedi & Rao ont utilisé les réseaux bayésiens pour prédire les changements de voie sur autoroute. Les connaissances des experts interviennent dans l'architecture du réseau bayésien tandis que les connaissances apprises par l'algorithme interviennent sous forme de valeurs de probabilité associées aux branches du réseau. Dans cette approche mixte, Dapzol propose un modèle Semi-Markovien Caché Pondéré (MSMCP).

Le principe des Modèles de Markov Cachés (MMC), est fondé sur l'hypothèse que le signal étudié peut être divisé en plusieurs phases qui représentent un processus sous-jacent "invisible". Dapzol applique ce principe pour segmenter une séquence de conduite en fonction de différents paramètres observés : pédales, volant, vitesse, clignotant (Figure 23).

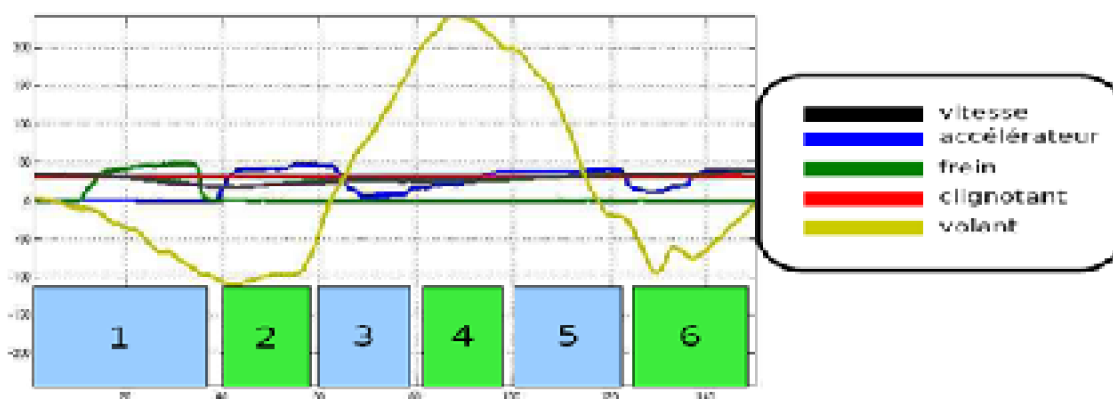
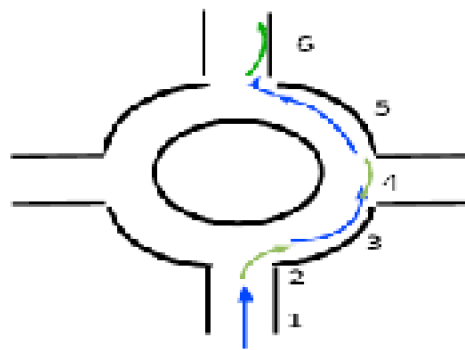


Figure 23 : Découpage d'un épisode de franchissement de rond point, (Dapzol 2006)

Dans cette approche, les connaissances des experts interviennent : a) pour le choix initial des séquences servant de base à l'apprentissage, b) pour le réglage des paramètres de pondération, c) pour le choix du nombre de phases a priori, d) pour

l'interprétation des différentes phases obtenues par l'algorithme. Ce choix de nombre de phases peut se baser sur un modèle cognitif tel que proposé dans COSMODRIVE, présenté au paragraphe 2.4.5.1, et correspond aux zones d'un schéma tactique (Figure 24).



1. Engagement dans le rond-point.
  2. Suivi de la première courbure du rond point.
  3. Suivi dû à la deuxième courbure du rond point et augmentation de la vitesse.
- Début de sortie :
4. Préparation de la sortie (l'angle au volant diminue).
  5. Sortie du rond-point (le volant décrit une légère courbe vers la droite et la dérivée de la vitesse diminue)
  6. Stabilisation : l'angle au volant revient à zéro et la vitesse se stabilise.

Figure 24 : Franchissement de rond point, (Dapzol 2006)

Plus généralement, cette approche s'inscrit dans le domaine de la "reconnaissance automatique d'activité". Dans ce domaine, on trouve l'idée que des événements extraits automatiquement à partir des données doivent se voir affecter une valeur sémantique, et qu'il faut les traiter en différents niveaux de contrôle, .

### 2.4.7. L'exemple des changements de voie sur autoroute

L'exemple des changements de voie sur autoroute est une situation qui illustre bien les différents aspects de l'activité de conduite automobile. Il combine les deux niveaux de contrôle opérationnel et tactique. Il peut aussi impliquer le niveau stratégique, par exemple pour la prise en compte des sorties d'autoroute ou le choix de doubler motivé par le fait d'être en retard. Il implique la prise d'information, la prise de décision et l'exécution d'une séquence d'action plus ou moins définie. Cette séquence d'action a été décrite par McKnight & Adams comme commençant par un "motif" de changer de voie, par exemple un véhicule lent devant ; suivie d'une collecte d'information sur la situation de trafic environnante, puis de la prise de décision de changer de voie ou non.

Par ailleurs, l'étude du changement de voie peut contribuer à la mise au point de systèmes intelligents d'assistance à la conduite tels que le "Lane Departure Warning System" (LDW) qui prévient le conducteur s'il quitte sa voie. Le but recherché est qu'un tel système ne déclenche pas d'alarme en cas de changement de voie voulu par le conducteur.

Plusieurs sources de données peuvent classiquement être utilisées pour inférer l'intention du conducteur de changer de voie. Il y a les données du véhicule, par exemple le clignotant est l'indicateur le plus naturel. Cependant le clignotant n'est pas utilisé dans toutes les situations de changement de voie. Dans une étude en situation naturelle, Olsen rapporte que les conducteurs ne l'utiliseraient que dans 65% des cas. D'autres indicateurs peuvent être l'angle du volant ou l'accélération, qui ont été utilisés par Liu & Pentland . Une deuxième source de données provient de l'environnement externe . Le trafic

environnant, la position sur la voie, la position géographique peuvent avoir un pouvoir indicatif sur l'intention de changer de voie. Troisièmement, le conducteur lui-même peut servir d'indication. En particulier, les directions des regards ont été étudiées par Henning, Schweigert., Baumann & Krems .

De nombreuses méthodes d'analyse différentes ont été appliquées aux changements de voie. Liu & Pentland , Oliver & Pentland ont utilisé la méthode des chaînes de Markov Cachées appliquée aux données véhicule (vitesse, accélération, frein, embrayage, volant) et aux mouvements du regard. McCall, Wipf et al. ont utilisé des réseaux bayésiens. Ces derniers se sont basés sur la position de la pédale d'accélérateur, de frein, l'accélération longitudinale, la vitesse du véhicule, l'angle volant, l'accélération latérale, la courbure de la route, la distance de suivi, la position latérale, et les mouvements de la tête. Ils ont utilisé les données réelles de trois sujets et ont obtenu une précision de 95% de prédiction et 5% de fausse prédiction. Enfin Salvucci propose une approche basée sur des modèles cognitifs réalisés avec ACT-R. Il rapporte un taux de prédiction de 85% et 4% de fausses détections en utilisant des informations du véhicule, de l'environnement et du conducteur sur simulateur de conduite.

En pratique, ces tentatives de construire des algorithmes prédictifs du changement de voie, s'avèrent insatisfaisantes en situation réelle, car elles souffrent d'un trop petit échantillon de sujets ou ont été réalisées sur simulateur. Il n'existe pas à notre connaissance d'études réalisées en situation réelle qui aient montré des taux de prédictions satisfaisants.

Enfin il n'existe pas d'étude basée sur une démarche d'expertise exploratoire qui vise à produire des modèles de comportement de changement de voie à partir de données d'observation collectées en situation réelle. Les approches cognitives existantes posent des modèles cognitifs comme des successions de phases définies a priori, et cherchent dans un deuxième temps à trouver des indicateurs de transitions entre ces phases dans les données. L'étude de Salvucci & Liu porte bien sur différents paramètres : la distance au bord de voie, l'angle volant, les regards, l'accélérateur, mais il calcule des moyennes de chaque source de données avant de proposer des schémas. Il ne peut donc proposer qu'un schéma moyen et n'a pas les outils nécessaires pour catégoriser des schémas à partir des données. Les approches statistiques, quand à elles, n'ont que pour but de faire apparaître ces phases automatiquement, c'est-à-dire "en aveugle", sur la base de connaissances expertes introduites a priori.

## 2.5. Conclusion : problématique en ergonomie

La psychologie cognitive a pour projet de décrire l'activité mentale avec le paradigme du traitement de l'information. La difficulté de cette approche réside dans le fait de savoir quel "sujet connaissant" accorde une signification à cette information. Décrire la représentation de la situation courante de l'opérateur comme une structure d'information dans son esprit pose le problème de savoir qui donne sens à cette structure d'information. Cela renvoie à un "homoncule" dans l'esprit de l'opérateur qui serait capable de

comprendre cette représentation. Cet "homoncule" devrait alors se faire une représentation de la représentation de l'opérateur, ce qui renvoie à une récursivité infinie. Pour sortir de cette récursivité, l'idée générale consiste à ne pas dissocier la représentation d'un "savoir-faire" qui permet son utilisation dans un contexte donné. Cette idée renvoie à une épistémologie pragmatique selon laquelle la signification d'une information nait de l'usage qui peut en être fait. Elle conduit à proposer les notions de "représentations pour l'action" ou de "schémas" qui regroupent de manière indissociable la représentation et le savoir-faire contextualisé. Ces notions s'avèrent particulièrement appropriés en ergonomie cognitive, car celle-ci s'intéresse à l'aspect dynamique d'activités en contexte naturel. Nous nous fonderons donc sur ces notions pour étudier le conducteur automobile, et en particulier sur la notion de schéma de conduite tactique.

Dans notre état de l'art de la modélisation du conducteur automobile, nous avons illustré les différentes approches qui pouvaient être envisagées. Ces approches nous apportent un point de départ précieux pour notre travail. Les modèles de type contrôle / commande nous apportent des indications sur les différentes variables qui doivent être observées pour comprendre l'activité de conduite du point de vue du conducteur. Les études cognitives nous apportent un cadre de modélisation des comportements tactiques, par la notion de *schémas de conduite*. Les approches de catégorisation mathématique nous enseignent qu'il est envisageable d'implémenter des mécanismes de reconnaissance automatique des situations de conduite, a posteriori mais aussi en temps réel, pour peu que ces mécanismes intègrent une expertise provenant des ergonomes.

Cet état de l'art nous permet de nous situer dans la perspective de recherche du LESCOT sur les comportements tactiques du conducteur, dans le cadre théorique général du projet COSMODRIVE. Ce positionnement s'intéresse à produire des simulations cognitives de haut niveau, par opposition aux simulations de bas niveau qui peuvent être produites par exemple avec ACT-R. Ce haut niveau correspond au même niveau que celui de la compréhension que le conducteur lui-même se fait de sa propre activité. De ce fait, les modèles produits peuvent être confrontés aux propres déclarations du conducteur. Nous pouvons finalement formuler notre objectif général dans le domaine de l'ergonomie cognitive de la conduite automobile :

Produire des modèles cognitifs du conducteur automobile basés sur les éléments de l'activité qui ont une valeur signifiante pour lui.
---

Ces éléments signifiants ne sont pas nécessairement traités consciemment par le conducteur pour réaliser l'activité. Ils peuvent être simplement constitutifs de schémas mis en œuvre de manière plus ou moins automatisée. En nous basant sur la notion de schéma en psychologie cognitive nous pouvons alors formuler notre objectif de manière plus concrète :

Découvrir des schémas tactiques de conduite automobile
--

Notre discussion épistémologique du chapitre 1 nous a permis de clarifier cet objectif en dissociant le point de vue de l'ergonome et le point de vue de l'opérateur. Un schéma

tactique est une connaissance active de l'opérateur qu'il met en œuvre pendant son activité. L'ergonome cherche à construire une connaissance en ergonomie à propos de cette connaissance de l'opérateur. Inférer les états et processus cognitifs d'autrui est quelque chose que chacun de nous fait en permanence dans sa vie de tous les jours, mais l'ergonome le fait dans une démarche scientifique. Pour cela il met en œuvre une méthodologie que nous allons passer en revue au chapitre 3.



## 3. Une méthodologie basée sur des instruments d'observation et d'analyse

### 3.1. Introduction

Au chapitre 2, nous avons défini notre objectif, au niveau de l'ergonomie cognitive de la conduite automobile, comme étant de découvrir des schémas tactiques. Nous avons vu que cet objectif s'appuyait sur les champs théoriques de la psychologie cognitive, de la modélisation cognitive, et de la modélisation du conducteur automobile.

Au paragraphe 1.2, nous avons expliqué que notre approche ne relevait pas d'une démarche "theory-driven" classique, qui consisterait à formuler une hypothèse forte qu'on chercherait ensuite à valider ou invalider par une expérimentation. En ce sens, elle se démarque de la méthode expérimentale classique en sciences humaines de Claude Bernard. Nous avons qualifié notre approche de "researcher-driven" pour indiquer qu'elle consistait à mettre en œuvre un processus de construction de connaissance, dirigé par l'ergonome, et basé sur une confrontation entre les données d'observation et la théorie.

Nous présentons la méthodologie mise en œuvre par l'ergonome. Elle se fonde sur trois points que nous détaillerons successivement dans ce chapitre :

- Des méthodologies d'observation suffisamment précise de l'activité « en train de se faire » qui permette de la comprendre dans sa complexité naturelle.
- Des méthodologies de recueil d'évaluations subjectives fournies par le conducteur, qui renseigne sur sa propre évaluation de son activité cognitive.
- Des méthodologies d'exploitation des données recueillies par rapport au cadre théorique de l'ergonomie cognitive.

Pour le troisième point, les méthodologies classiques se montreront insuffisantes et nous conduiront à rechercher des approches nouvelles.

### 3.2. Méthodologies d'observation de l'activité

Comme nous l'avons dit, l'activité de conduite automobile est une activité complexe, au sens de non réductible a priori à un petit nombre de paramètres. Son observation se traduit donc par le recueil de grandes quantités de données, qui doivent pourtant rester compatibles avec les moyens de stockage et de traitement dont dispose l'ergonome. En pratique, les méthodologies d'observation se trouvent matérialisées sous la forme des outils d'observation qui sont construits dans les laboratoires d'ergonomie. Pour la conduite automobile, il s'agit des véhicules instrumentés et des simulateurs de conduite. En effet, l'activité peut être observée soit en situation réelle, soit en situation simulée. C'est particulièrement vrai dans le cas de la conduite automobile avec le développement de simulateurs de plus en plus performants. Mais il est à noter que la réalité simulée est déjà une réalité modélisée. Non seulement l'environnement routier qui est présenté à l'écran du simulateur constitue en soit une hypothèse sur ce qui est pertinent pour la conduite, mais le déroulement même des scénarios de conduite qui sont reproduits correspondent également à des situations modélisées.

Notre but étant de construire des nouveaux modèles de l'activité, nous devons logiquement partir de l'activité en situation réelle plutôt que de l'activité dans des situations déjà modélisées. Cela nous permet d'appréhender la variabilité des situations réelles. Nous avons donc fait ce choix de l'observation en situation réelle, sur route ouverte.

D'un point de vue général, nous avons vu que les actions du sujet ne peuvent être comprises que par rapport au contexte dans lequel il les réalise. L'ergonome doit donc observer l'activité dans son ensemble, c'est-à-dire au niveau du conducteur, au niveau du véhicule, et au niveau de l'environnement routier. Cette distinction est d'ailleurs déjà arbitraire. Par exemple, la valeur du capteur angulaire du volant indique au sens strict un état du véhicule, mais est couramment considérée par les ergonomes comme l'action du conducteur de tourner le volant. Au départ, c'est bien le couplage entre le sujet et son environnement qui est au centre de l'observation.

On distingue classiquement les observations réalisées directement par l'ergonome des observations réalisées par des "capteurs" artificiels. Pour clarifier les choses, nous

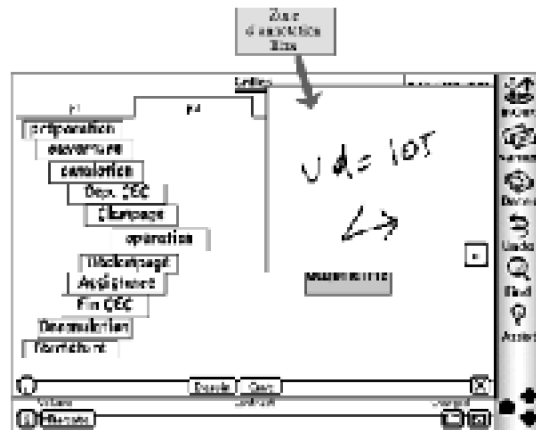
préférons réserver le terme "observation" à l'action de l'ergonome qui inclut à la fois la perception et une forme d'interprétation et d'attribution de sens. Dans le cas des capteurs, nous préférons utiliser les termes de traçage de l'activité, c'est-à-dire un dispositif permettant d'inscrire une trace de l'activité sur un support. Cette trace pouvant ensuite être observée et interprétée par l'ergonome. Bien entendu, les capteurs ne donnent aucun sens par eux-mêmes à cette trace. En revanche la connaissance de leur fonctionnement est nécessaire à l'ergonome pour comprendre la trace.

Evidemment, la possibilité de conserver des traces de l'activité grâce à l'instrumentation d'un véhicule décuple les possibilités d'analyser l'activité. Par contre, cela reporte le problème de la complexité de l'activité sur les données recueillies. La complexité de l'activité entraîne la complexité des données par laquelle l'ergonome peut rapidement être submergé.

#### 3.2.1. L'observation directe de l'activité par l'ergonome

---

Quand l'ergonome observe directement l'activité, il cherche en général à en garder une trace inscrite de manière à pouvoir l'analyser ultérieurement ou à en produire un compte rendu. A l'extrême, on pourrait voir l'ergonome comme un instrument de traçage de l'activité. Cette idée repose sur le fait que celui-ci pourrait produire des inscriptions systématiques de tel ou tel aspect de l'activité qui pourrait être précisément interprétées après coup. Mais plus généralement l'ergonome observe l'activité au plein sens du terme, c'est-à-dire qu'il la comprend en l'observant. Dans ce cas, le traçage par l'ergonome repose sur un accord entre l'interprétation de l'activité qui est utilisée pour produire le traçage et l'interprétation qui est faite de la trace au moment de l'analyse. Si "l'ergonome traceur" produit une trace  $\lambda$  chaque fois qu'il comprend que l'activité correspond à  $\Lambda$ , "l'ergonome analyste" pourra comprendre que l'activité correspondait à  $\Lambda$  chaque fois qu'il verra la trace  $\lambda$ . Cela suppose que les deux se soient bien mis d'accord, c'est-à-dire que l'évaluation de  $\Lambda$  soit spécifiée de manière suffisamment explicite et partagée, pour ne pas être sujette à des différences d'interprétation personnelles au sein de la communauté des ergonomes. Le traçage par l'ergonome peut prendre différentes formes : un simple appui sur un bouton qui est enregistré dans un fichier daté, ou la prise de notes plus ou moins formalisées sur une feuille de papier ou sur un système informatique. On distingue principalement les traces qui correspondent à un codage préalablement défini ou les traces qui sont des annotations libres. Au Lescot, des outils spécifiques sont employés pour ce traçage. Dans d'autres laboratoires, des outils ont donné lieu à des publications. Un exemple est donné par le logiciel Kronos . Kronos est un logiciel configurable de relevé d'observations sur le terrain, développé pour ordinateur de poche (pocket PC) (Figure 25).



Dans Kronos, les observables relatifs à l'avancement de l'opération sont organisés spatialement en fonction de leur enchaînement. Des annotations graphiques ou vocales peuvent également être enregistrées. Chaque événement est daté automatiquement.

Figure 25 : Grille d'observation de Kronos, (Kerguelen 1998)

### 3.2.2. Traçage instrumenté de l'activité

Contrairement à l'observation par un ergonome, le traçage par des instruments offre un aspect systématique qui est garanti par la construction des instruments. En revanche le sens qui peut être attribué à la trace est contraint par la nature même des instruments et soumis à leurs limitations. La question du choix des capteurs à utiliser, et des grandeurs enregistrées est cruciale. Cette question fait l'objet d'un certain nombre de rapports produits par les laboratoires qui étudient la conduite automobile. Le rapport du projet HASTERésume de façon très complète les différentes variables qui peuvent être mesurées en fonction des différents types d'analyse. Dans le cadre du réseau Humanist, un inventaire a été réalisé par Janssen . Un article général de Torkkola, Venkatesan & Liu reprend les différents paramètres pouvant être mesurés en vue d'identifier des états de conduite particuliers. Le véhicule instrumenté du Lescot offre pratiquement tous les instruments actuellement préconisés par ces rapports, à l'exception d'un détecteur automatique de la position latérale du véhicule par rapport à la voie. Nous listons ces instruments au Tableau 1.

Ces rapports mentionnent également l'enregistrement des paramètres physiologiques du conducteur (électroencéphalogramme, rythmes respiratoire et cardiaque, température et résistance cutanée). Ces instruments sont potentiellement accessibles au Lescot ou chez ses partenaires, mais imposent des contraintes de mise en œuvre beaucoup plus lourdes. Nous n'avons pas pu les retenir dans notre étude bien que nous pensons que notre approche puisse potentiellement être utile pour les exploiter.

Tableau 1 : Liste des capteurs disponibles sur le véhicule MARGO

### 3. Une méthodologie basée sur des instruments d'observation et d'analyse

Donnée	Description
Enfoncement de la pédale d'accélérateur	Pourcentage d'enfoncement
Enfoncement de la pédale de frein	Pourcentage d'enfoncement
Enfoncement de la pédale d'embrayage	Pourcentage d'enfoncement
Accélération longitudinale (X)	Translation (m/s <sup>2</sup> )
Accélération verticale (Z)	Translation (m/s <sup>2</sup> )
Accélération latérale (Y)	Translation (m/s <sup>2</sup> )
Gyromètre (Z)	Vitesse de rotation selon axe vertical (°/s <sup>2</sup> )
Angle de roulis	Vitesse de rotation selon l'axe X (°/s <sup>2</sup> )
Clignotant	Eteint/ droite / gauche
Bouton	Bouton sur lequel l'ergonome peut appuyer pour marquer un événement
Rapport de boîte de vitesse	1 / 2/ 3 /4 /5 /R
Phares	Veilleuse/ croisement/phares
Point kilométrique	Distance parcourue (m)
Vitesse	Km/h
Angle du Volant	Degrés
Distance obstacle ponctuelle	(m) par télémètre laser jusqu'à 150 m
Données cartographiques	Informations sur le segment de route courant par la base de données Navteq.
Position GPS	Longitude, latitude
Système de perception d'obstacle	Système de détection d'obstacles par télémètre laser à balayage couplé à un système de stéréovision. Génère une liste d'obstacles détectés à chaque instant.
Oculomètre	Direction du regard. Activation de zones d'intérêt prédéfinies.

Le véhicule du Lescot est nommé MARGO (plateforme de MesuRe et d'Analyse pour l'erGonomie de la cONduite), il est présenté . Il s'agit d'une Renault Scénic. Ce véhicule a été choisi pour sa représentativité dans le parc routier français : c'est un véhicule de type "intermédiaire" (plus imposant qu'une « compact » mais plus petit qu'une routière).



Figure 26 : MARGO : plateforme de MesuRe et d'Analyse pour l'erGonomie de la cONduite

En plus des capteurs listés au Tableau 1, des caméras peuvent être fixées en fonction des besoins pour filmer certains aspects de l'activité, notamment les scènes avant et arrières, ou le conducteur ().

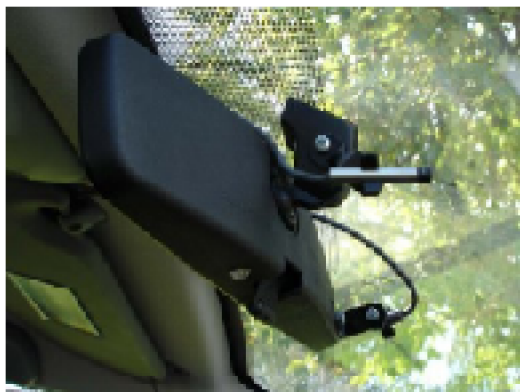


Figure 27 : Caméras pour filmer la scène avant, le conducteur et la scène arrière

L'oculomètre est de marque Facelab. Il fonctionne à partir de deux caméras supplémentaires fixées sur le tableau de bord. Il permet de préconfigurer des zones d'intérêt qui déclencheront un événement chaque fois que le regard du conducteur pointera vers elles (). Il n'avait jamais été installé dans le véhicule du Lescot, et notre travail a donné lieu à la première analyse des données recueillies avec lui en situation de conduite réelle.

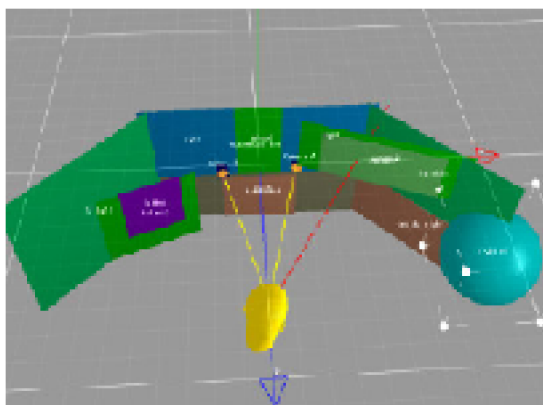


Figure 28 : Configuration de l'oculomètre Facelab

Le système de perception d'obstacle fonctionne par couplage d'un télémètre laser et de deux caméras vidéo exploitées en stéréovision (). Il produit une liste d'obstacles détectés en temps réel, jusqu'à 15 simultanément, avec leurs paramètres associés : distance, vitesse relative, direction relative, temps à la collision .



Figure 29 : Système de perception : télémètre laser et caméras.

#### 3.2.3. Notion de « trace d'activité »

En pratique, le véhicule instrumenté permet de produire un ensemble de données que l'ergonome peut interpréter après coup pour comprendre certains aspects de l'activité. Le terme "données" désigne un état d'une mémoire informatique à partir duquel peut être produite une "visualisation à l'écran" qui soit interprétable (chiffres, textes, graphiques). Ces données peuvent être désignées sous le terme de "traces" au sens courant, dans la mesure où elles renseignent sur un phénomène passé.

Au paragraphe 1.1.5 nous avons défini l'activité comme un flux temporel des aspects pertinents pour un opérateur de son comportement et de l'évolution de son environnement. Cela nous amène ici à proposer une définition pour la notion de trace d'activité dans le cadre de l'ergonomie cognitive :

Un ensemble de données interprétables par un ergonome pour comprendre le flux temporel des aspects pertinents pour un opérateur, de son interaction avec son environnement.

Cette définition nous permet d'ores et déjà d'indiquer une caractéristique fondamentale des traces d'activité : elles doivent contenir des informations permettant de rendre compte de ce flux temporel lorsqu'elles sont "visualisées à l'écran". Ce sont donc des données "datées", chaque élément de donnée doit être associé à un repère temporel que nous désignerons par le terme de "time-code".

### 3.3. Explicitation de l'activité par l'opérateur

Si l'activité est liée à la subjectivité de l'opérateur qui la réalise, alors pour la comprendre il est tout naturel d'interroger cet opérateur. Cette démarche est dans la plupart des cas indispensable en ergonomie. Guérin, Daniellou et al. rappellent que si l'observation peut être considérée comme le moyen le plus irréfutable pour accéder à une connaissance de l'activité réelle, elle s'avère souvent insuffisante pour comprendre les motifs de cette activité, les raisonnements et les connaissances qui la sous-tendent. Mais toute la

difficulté est de connaître la validité des indications fournies par l'opérateur. Il n'est pas suffisant qu'un ergonome particulier acquière une certaine compréhension de l'activité d'un sujet particulier en dialoguant avec lui. Cette compréhension risque d'être biaisée par la propre subjectivité de l'ergonome. En effet, premièrement, il est nécessaire que l'ergonome puisse connaître le champ de validité de cette compréhension pour différents sujets et différentes situations. Deuxièmement, il doit pouvoir faire reconnaître sa théorie explicative au sein d'une communauté, la confronter aux théories existantes, et soumettre cette théorie à des tests de réfutation. Pour cela, l'explicitation doit produire des données dont l'interprétation puisse être questionnée et débattue. Ces données correspondent à ce que nous nommons des traces si elles sont de natures séquentielles et peuvent être rattachés à des instants particuliers de l'activité.

La production de ces données couvre une large gamme de pratiques qui vont du questionnaire précisément spécifié au dialogue ouvert. A l'extrême, l'explicitation pourrait être vue comme une analyse de l'activité réalisée par l'opérateur lui-même, seul ou orientée par l'ergonome. En effet, comme le pose Vermersch : « l'action est pour une bonne part opaque à celui-là même qui la met en œuvre de façon adaptée. » L'explicitation de l'activité est donc un processus cognitif qui soulève toutes les difficultés épistémologiques que nous avons abordées au chapitre 1. Nous discuterons de la possibilité d'utiliser notre approche pour faciliter l'explicitation de l'activité par l'opérateur lui-même dans la partie .

Dans ce paragraphe, nous présentons plutôt la façon dont des données fournies par le sujet pour décrire son vécu subjectif peuvent être recueillies et utilisées comme données d'entrée dans l'analyse de l'activité. Il s'agit donc de données qui décrivent un vécu subjectif facilement accessible à l'opérateur, selon une modalité sur laquelle il peut se mettre facilement d'accord avec l'ergonome. L'ergonome expérimentateur demande à l'opérateur de noter  $\lambda$  quand son vécu subjectif correspond à  $\Lambda$ . Au moment de l'analyse, l'ergonome analyste comprendra que le vécu subjectif de l'opérateur correspondait à  $\Lambda$  quand il verra noté  $\lambda$ . Plus les règles d'explicitation seront spécifiées de manières précises et partagées entre l'opérateur, l'ergonome, et la communauté de l'ergonomie, plus leur interprétation sera solide.

On peut distinguer différentes techniques permettant de recueillir ces données : la verbalisation pendant l'activité, l'entretien d'explicitation, le questionnaire rempli par le sujet, l'auto-confrontation.

### 3.3.1. La verbalisation pendant l'activité

---

Cette technique consiste à demander à l'opérateur de verbaliser certains aspects de sa vie subjective pendant qu'il réalise l'activité, par exemple de "penser tout haut". Guérin, Daniellou et al. soulignent que les verbalisations simultanées présentent l'intérêt de produire des explications dans le contexte même de l'activité. Les conditions concrètes de son exercice sont présentes. L'opérateur est "en situation" pour s'exprimer, l'ergonome "en situation" pour comprendre. Par contre la verbalisation va nécessairement interagir avec le déroulement de l'activité qui va ainsi être modifiée. Cette interaction peut conduire à rendre impossible une telle verbalisation : le niveau d'attention exigé par la réalisation



de l'activité peut être trop élevé, les contraintes de temps trop importantes. La verbalisation simultanée peut être provoquée soit à l'initiative de l'ergonome qui va questionner l'opérateur, soit par une consigne préalable. Ces deux options ne correspondent pas aux mêmes objectifs, dans le premier cas, l'objectif est généralement un objectif de compréhension pour l'ergonome, dans le deuxième cas un objectif d'identification de la variabilité et des informations pertinentes pour l'opérateur. Dans le cadre de la conduite automobile, ces verbalisations peuvent consister à demander au conducteur d'énoncer une note entre 0 et 10 de la situation selon certains critères, par exemple la difficulté.

#### 3.3.2. Les entretiens d'explicitation

---

Cette méthode consiste à accompagner le sujet dans le processus d'explicitation, non plus pendant, mais après l'activité, à l'occasion d'un dialogue avec l'ergonome. Cette explicitation peut porter sur son activité en général ou sur l'activité qui vient d'être menée et qui a fait l'objet d'une observation par l'ergonome et d'un recueil de données.

Vermersch définit l'entretien d'explicitation comme « un ensemble de techniques qui ont pour but de favoriser, d'aider, de solliciter la mise en mots descriptive de la manière dont une tâche a été réalisée. L'entretien d'explicitation vise donc en priorité la verbalisation de l'action, telle qu'elle est effectivement mise en œuvre dans l'exécution d'une tâche précise. Bien entendu le terme d'action ne recouvre pas seulement des actions matérielles, mais comprend aussi les actions mentales. »

Ce sont des techniques de communication qui visent à décrire le vécu selon un ensemble d'aspects : émotionnel, sensoriel, de la pensée (aperception, conscience du fonctionnement mental), de l'action, conceptuel (réflexion et prise de distance par rapport au concret), symbolique (signes figuratifs), imaginaire (point de départ vers un monde des symboles, de l'imagination...).

#### 3.3.3. La technique de l'auto-confrontation

---

Cette technique vise à faciliter l'explicitation de l'activité en entretien d'explicitation. Elle consiste à confronter le sujet à des enregistrements de sa propre activité, de façon à recueillir son évaluation de situations spécifiques. Ces enregistrements sont classiquement des enregistrements vidéo ou audio. Ils sont pris comme un support sur lequel s'appuie l'entretien d'explicitation. Comme le posent Guérin, Daniellou et al. , « c'est à partir de cas concrets que peuvent s'opérer des échanges détaillés à propos d'événements et d'actions effectivement constatés par l'ergonome et vécus par l'opérateur. »

Cette technique présente l'intérêt de préserver le déroulement normal de l'activité. L'objet de ces verbalisations peut être suscité par l'ergonome qui va interroger l'opérateur à partir des constats qu'il aura faits pendant l'observation, mais il peut aussi être laissé à l'initiative de l'opérateur en fonction de ce qui lui a semblé important et significatif. Une approche mixte consiste à ce que l'ergonome demande à l'opérateur d'indiquer les

situations de l'activité dont il se rappelle spontanément après coup. Ce rappel spontané peut constituer un indicateur de la prise de conscience d'un aspect particulier de l'activité par l'opérateur.

Pour le recueil des évaluations subjectives, nous nous intéressons particulièrement aux échelles de type Likert qui consistent à demander à l'opérateur d'évaluer des critères en se positionnant sur une échelle entre deux extrêmes . Par exemple évaluer la dangerosité d'une situation entre "pas du tout dangereux" et "extrêmement dangereux". L'opérateur pourra se positionner dans l'échelle par exemple à 30%. Il est délicat de regrouper ces valeurs dans des résultats statistiques, en revanche elles peuvent facilement être enregistrées dans les traces pour être restituées à l'ergonome au moment de l'analyse, et être comprises par lui.

En termes de limite à cette technique, se pose la question de la recevabilité des données recueillies. Ericsson et Simon , p171, identifient trois critères qui autorisent l'ergonome à les prendre en compte. Le critère de pertinence : les données doivent être pertinentes par rapport à la tâche. Le critère de cohérence : les données doivent avoir une cohérence logique entre elles. Le critère de mémoire : elles doivent être cohérentes avec les modèles de mémoire et de prise de conscience qui justifient que le sujet puisse s'en souvenir entre la réalisation de la tâche et la verbalisation.

Par ailleurs, nous n'avons pas connaissance de l'utilisation d'enregistrements informatiques restitués à l'opérateur sous une forme symbolique. Nous pensons toutefois que cela pourrait constituer une technique innovante et nous la discuterons à la partie .

### 3.4. Analyse des traces d'activité

Nous avons défini la notion de trace d'activité comme un ensemble de données interprétables par un ergonome pour comprendre le flux temporel des aspects pertinents pour un opérateur, de son interaction avec son environnement. Dans les deux paragraphes précédents, nous avons présenté des méthodologies de recueil de ces traces : le recueil de données objectives à partir de l'observation de l'activité, puis le recueil de données subjectives à partir d'une explicitation et d'une évaluation de sa propre activité de la part de l'opérateur.

Nous allons maintenant aborder la question de l'analyse de ces traces pour produire des connaissances en ergonomie cognitive. Cette production de connaissances repose sur une transformation "intelligente" des traces pour les restituer de manière synthétique et expliquée. Pour cela, nous allons décrire successivement les techniques qui répondent à notre approche que nous avons qualifiée de "researcher-driven" : la technique de l'étude de cas et la technique de l'analyse exploratoire de données séquentielles (Exploratory Sequential Data Analysis : ESDA).

#### 3.4.1. L'étude de cas

---

### 3. Une méthodologie basée sur des instruments d'observation et d'analyse

Selon Leplat, l'étude des cas est à l'origine et au terme de toute étude de l'activité : à l'origine, pour une meilleure connaissance de la situation dans laquelle est plongée l'activité et l'identification des conditions critiques et au terme de l'étude pour tester l'effet des conditions considérées pour en déterminer le rôle non seulement sur des critères terminaux, mais aussi sur l'organisation des conditions internes et externes.

Dans le domaine de la conduite automobile, ces analyses de cas se basent principalement sur les vidéos enregistrées et sur une visualisation des courbes d'évolution des différents capteurs au cours du temps. Ces courbes peuvent être visualisées avec des ateliers informatiques pour le calcul scientifique tels que Matlab ou Scilab. Sur la base de ces outils, les laboratoires d'ergonomie développent souvent des applicatifs spécifiques tels que le "Driver Behaviour Analysis 3" (dba3) chez Renault Trucks, ou les applicatifs "Traitement de données" (TD) ou "Dépouillement" au LESCOT.

A titre d'exemple, la Figure 30 montre l'analyse d'une séquence d'arrivée sur obstacle (un tracteur) par Bellet. Cette figure montre des images extraites de la vidéo à différentes phases de la séquence de conduite et les données de vitesse et positions des pédales d'accélérateur, de frein et d'embrayage. L'analyse se base en parallèle sur la visualisation des courbes des capteurs et sur la consultation de la vidéo.

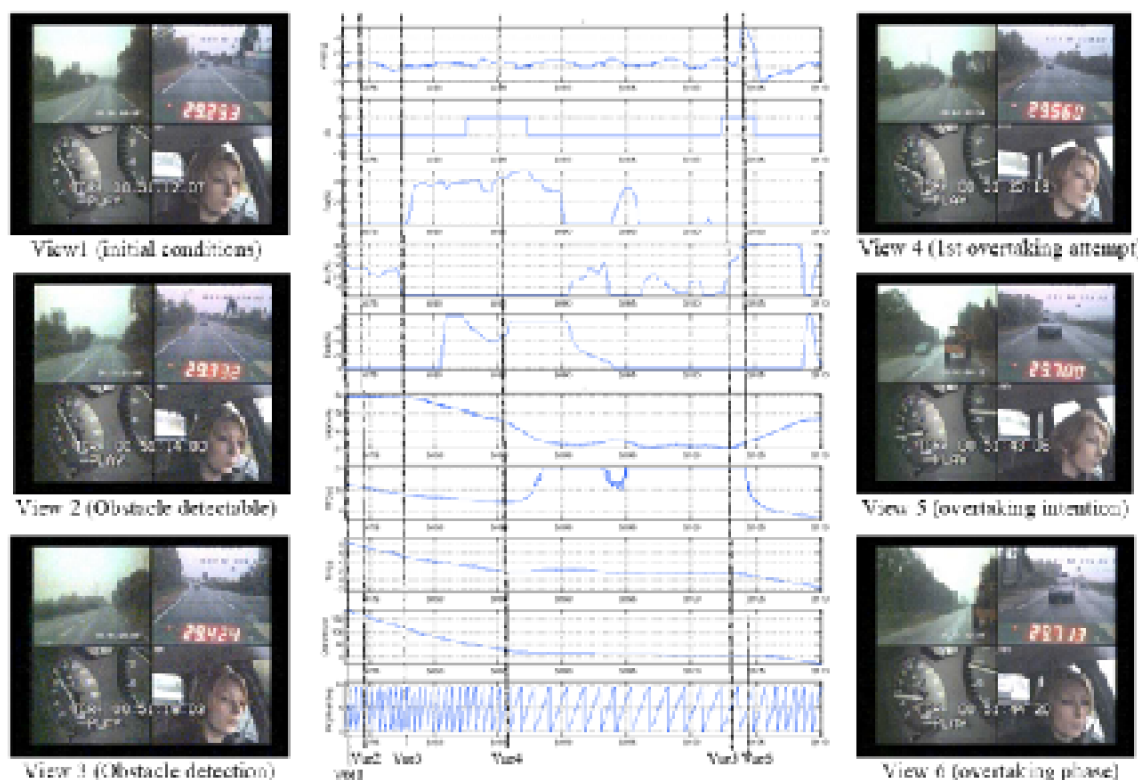


Figure 30 : Analyse d'arrivée sur obstacle, (Bellet 2006)

**Vue 1 : condition initiale de la séquence, vitesse : 80 km/h (courbe 6), le tracteur est à environ 200m mais est encore masqué par la végétation.**

**Vue 2 : correspond au premier moment où la détection du tracteur serait possible : 180m ; notre vitesse est stable à 80km/h ; la vitesse du tracteur est de 25km/h (TTC de 12s (courbe 7), TIV de 8s (courbe 8)). Aucune réaction de notre**

conducteur n'est visible.

**Vue 3 : l'obstacle est à 110m (TTC 8s, TIV 5s). Première action du conducteur : le pied droit quitte l'accélérateur (courbe 4) et appuie sur le frein (courbe 5). La vitesse de la voiture est toujours de 80km/h.**

**Vue 4 : le tracteur est à 30m, notre vitesse est de 50km/h. Le clignotant gauche est allumé (courbe 2) ce qui confirme que l'intention du conducteur est de doubler, mais une autre voiture arrive en face et la procédure de dépassement va finalement être abandonnée. Une phase de suivi commence. Le clignotant sera éteint et la vitesse de la voiture réduite à 25 km/h.**

**Vue 5 : Le conducteur attend que le dernier véhicule en face soit passé pour engager la procédure de dépassement.**

**Vue 5 : le dépassement débute quand la voie est libre.**

Ce type d'analyse de cas donne lieu à assez peu de publications scientifiques. Pour un exemple réalisé dans une autre logique et en dehors du Lescot, on peut citer Haué qui illustre comment une même séquence de changement de voie peut être analysée dans deux cadres d'interprétation différents : le cadre de la cognition distribuée et le cadre du cours d'action. Des événements significatifs sont reconnus dans les données recueillies (Figure 31) et permettent un découpage de cette séquence en six phases.

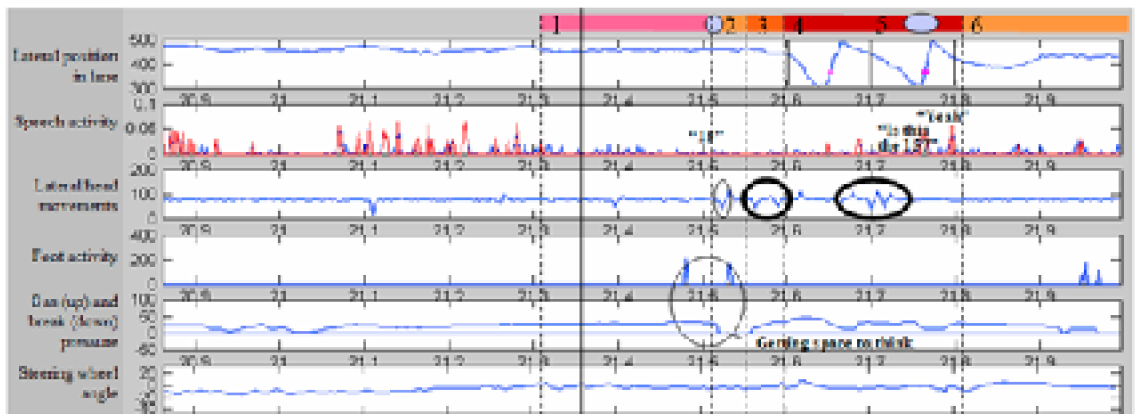


Figure 31 : Analyse des données d'un changement de voie, (Haué 2005)

En soulignant, comme nous l'avons fait au paragraphe 1.2.5.2, que l'explication de l'activité est orientée par le cadre interprétatif dans lequel on se situe, Haué propose deux explications de ce découpage, le premier dans le cadre de la cognition distribuée : Figure 32, le second dans le cadre du cours d'action : Figure 33.

### 3. Une méthodologie basée sur des instruments d'observation et d'analyse

Periods Loops / Rep. media		1	2	3	4	5	6
1 Maintaining trajectory	Lane line	Staying in lane	Staying in lane	Staying in lane	Changing lane	Changing lane	Stabilizing trajectory
	Wheel position						
2 Maintaining speed / distance	ACC	Maintaining speed	Stopping ACC				
	Pedals			Speeding up / car ahead	Giving gas / car ahead	Giving gas	Stabilizing speed
	Shield						
3 Maintaining traffic coordination	Over the shoulder				Blind spot checking	Blind spot checking	
	Shield	Monitoring ahead	Checking around	Checking around			Monitoring ahead
	Side mirror						
4 Maintaining route	Signs		Sign of exit			Correct lane between signs	
	Capilot						

Figure 32 : Interprétation du changement de voie dans le cadre de la cognition distribuée, (Haué 2005)

Selon Haué, l'analyse en termes de cognition distribuée se base sur un découpage non pas entre conducteur (D), véhicule (V) et environnement (E) mais entre boucles de régulation qui impliquent chacune l'ensemble DVE : 1 : contrôle latéral, 2 : contrôle longitudinal, 3 : coordination avec le reste du trafic, 4 : conservation de la destination.

Sign	1 Following the road	2 Getting ready to cross road	3 Preparing LC	4 LC to go to the right	5 LC to go to the right	5.1 Closing right lane	6 Arriving to exit
E	Driving, relaxed (Exit ahead)	Getting exit	Assuring speed for LC	Leaving lane	Entering lane	Checking lane	Adapting to new lane
A	Being in any lane (1.5 exit sign)	Going in exit lane	Changing lane (possible coming car)	Crossing to exit (car coming)	Crossing to exit (car coming)	Getting wrong exit	
S	Trajectory (Exit scheme)	Exit/LC Schemes	Exit scheme LC: Spot	Exit scheme LC: Blind spot	Exit scheme LC: Blind spot	Exit scheme	
R	Eye lane empty Signs	Exit sign Light traffic	Just saw car ahead	Car ahead Lane lines	Lane lines	Signs for 2 lanes Capilot's answer	Exit ahead
U	Follows lane Exit not yet	Whisper "1.5" Need to cross road Head up	Check behind Head up Speed up / car Ready for LC	Check behind Change trajectory	Check behind Maintain trajectory	Uncertainty Ask for lane Lane ok Resume trajectory	Hand down Adjust driving
I							

Figure 33 : Interprétation du changement de voie dans le cadre du cours d'action, (Haué 2005)

Analyse selon les termes du cours d'action d'après Haué :

**Anticipation : E : L'Engagement** correspond aux ouvertures créées par la situation. **A** : la structure d'anticipation qui organise les événements anticipés. **S** : Référentiel des schémas d'attention et action qui sont prêts à être utilisés.

**Les actions courantes : R : Representamen** : ce qui est effectivement perçu, conditionné par les anticipations. **U : Unité d'expérience** : les réponses qui émergent à partir de l'interaction de perception (R) et les schémas disponibles (S).

L'exemple d'analyse de l'activité de Haué peut être qualifié de "non mentaliste" dans la mesure où il ne vise pas à rejoindre le point de vue subjectif du conducteur sur sa propre activité. En cela il diffère de notre approche. Toutefois il illustre bien comment l'ontologie sur laquelle se base l'analyse est influencée par le champ théorique auquel se réfère l'analyste, comme nous l'avons évoqué sur le plan épistémologique au paragraphe 1.2.5.2.

Les études de cas peuvent nous servir de point de départ pour une modélisation de l'activité à base de règles. Dans ce type de modélisation, l'ergonome observe les représentations visuelles des données et détermine à partir d'elles des règles qui permettront de qualifier l'activité. La validité des règles est ensuite testée sur de plus grandes quantités de données. C'est une approche par essai/erreur. Cette approche a permis, dans le projet ARCOS, de modéliser les séquences d'arrivées sur obstacle en une succession de phases et de définir des règles de transition entre phases.

### 3.4.2. L'analyse exploratoire de données séquentielles

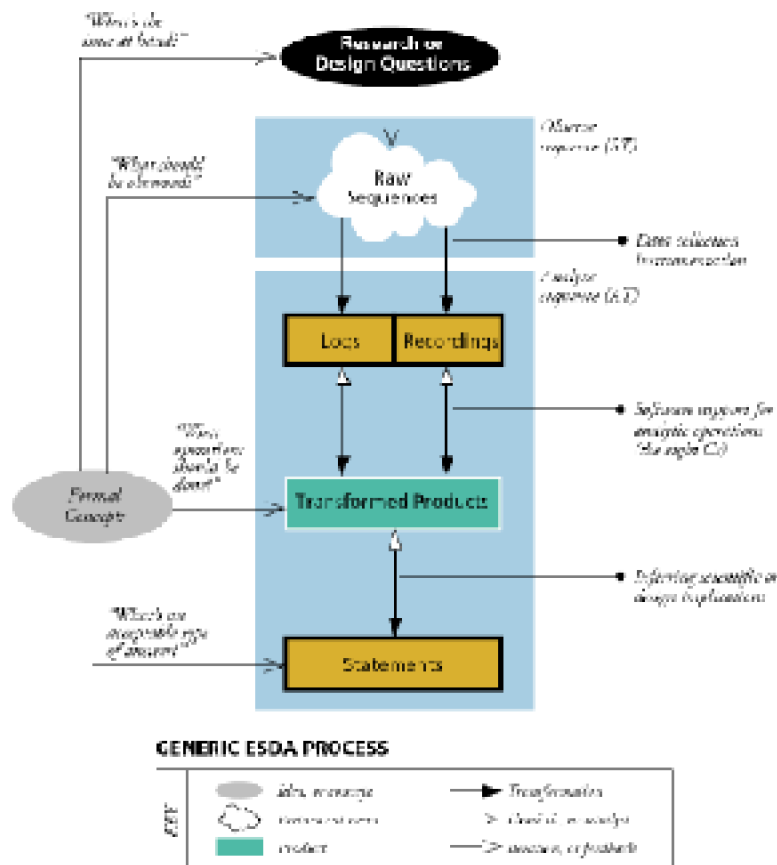
---

Sanderson & Fisher ont proposé de désigner sous le terme Exploratory Sequential Data Analysis (ESDA), l'activité de recherche qui consiste à analyser les données séquentielles d'interaction. Leur objectif initial était de mieux comprendre comment l'utilisateur d'un système informatique réalise son activité. Elles en donnent la définition suivante :

***“ESDA is any empirical undertaking seeking to analyze systems, environmental, and/or behavioral data (usually recorded) in which the sequential integrity of events has been preserved. The analysis of such data (a) represents a quest for their meaning in relation to some research or design question, (b) is guided methodologically by one or more traditions of practice, and (c) is approached (at least at the outset) in an exploratory mode”.***

L'ESDA s'appuie sur les champs de recherche voisins de l'analyse de protocole, et l'analyse de données qualitative pour se spécialiser dans l'analyse des données séquentielles d'interaction, qu'elles soient issues d'un traçage automatique, d'un encodage manuel ou d'une verbalisation de l'opérateur. Le processus d'ESDA est présenté à la Figure 34.

### 3. Une méthodologie basée sur des instruments d'observation et d'analyse



L'ESDA consiste à passer de question de recherche ou de conception à des énoncés finaux, en étant guidé par des concepts théoriques et des pratiques d'analyse. "Raw Sequences" représente le flux d'événements qui est observé. "Logs" et "Recording" représente leur enregistrement sous forme de fichier informatique ou de bande vidéo ou audio. Les "statements" sont les conclusions qui répondent aux questions initiales. "Transformed products" représente le résultat d'opérations faites sur les données par l'analyste. Les flèches blanches rappellent que l'ESDA n'est pas un processus linéaire mais un processus qui requiert retours en arrière et itérations.

Figure 34 : The generic ESDA process, (Sanderson 1994)

Ce processus consiste, à partir d'une question de recherche ou de conception, à recueillir des données d'observation de l'activité, à transformer ces données dans une démarche itérative pour progressivement construire des énoncés qui répondent à la question initiale.

Sanderson insiste sur le fait que ce processus d'analyse est extrêmement coûteux en temps. Elle définit le rapport "temps d'analyse / temps de l'enregistrement", et indique qu'il est toujours très élevé. Dans le cas d'analyse de séquences vidéo, ce ratio peut être compris entre 3 pour 1 et 5 pour 1. Dans le cas d'études dont l'objectif est de modéliser les processus cognitifs du sujet ce ratio peut être de l'ordre de 500 pour 1 à 5000 pour 1. Pour réduire ce ratio, beaucoup de chercheurs ont tenté de développer des outils informatiques. Sanderson note que cet objectif peut constituer un sujet de recherche par lui-même, car les avancées conceptuelles et méthodologiques en ergonomie sont liées à l'existence de tels outils. Dans ce but, elle propose un état des lieux de ces techniques. D'une manière générale ces techniques couvrent une large plage de période temporelle

Figure 35) qui peut aller de quelques dizaines de millisecondes à quelques années. Elle insiste sur la nécessité de choisir a priori l'échelle de temps dans laquelle on se situe. Etant intéressés par l'étude des processus cognitifs tactiques, nous nous focalisons pour notre part sur les plages de l'ordre de 100ms à 10s.

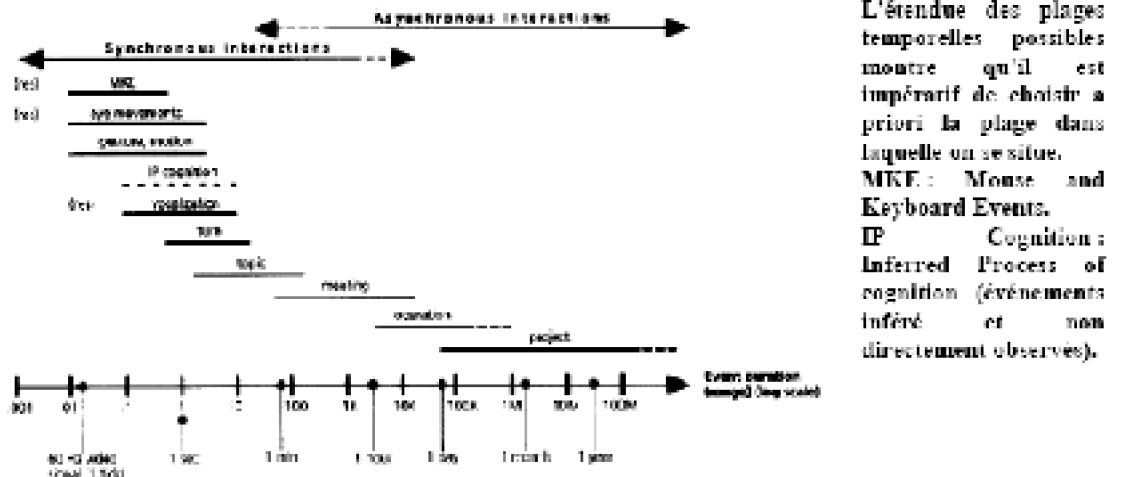


Figure 35 : Spectre des durées pouvant faire l'objet de l'ESDA, (Sanderson 1994)

En pratique, Sanderson note que les chercheurs adoptent souvent une méthode d'analyse progressive. Ils passent beaucoup de temps pour analyser en détail et exhaustivement les premiers échantillons, puis, une fois que l'activité est mieux comprise, ils se focalisent uniquement sur les parties de l'activité qui les intéressent. Cela montre selon elle une démarche exploratoire ou les questions d'intérêt sont construites au fur et à mesure de l'analyse.

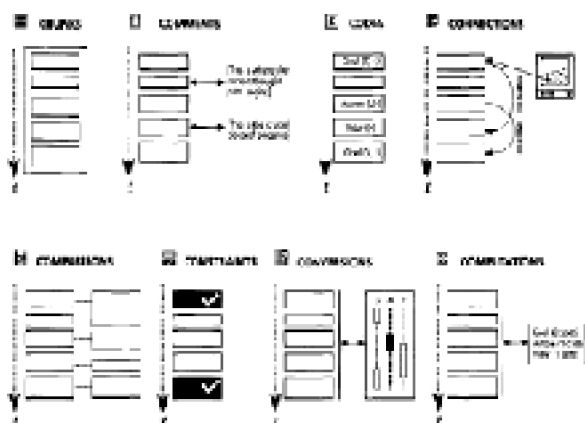
Cette démarche Exploratoire est inspirée de ce que Tukey a nommé "Exploratory Data Analysis" (EDA) par opposition à une "Confirmatory Data Analysis". L'EDA a pour but d'aider les chercheurs à formuler des hypothèses à propos de ce qui pourrait expliquer un ensemble de données, plutôt que de tester des hypothèses préalables. Elle repose in fine sur la visualisation des données par le chercheur qui, selon Tukey, "look at data to see what it seems to say".

Le chercheur essaie de trouver des "patterns" dans les données et de les décrire avec des méthodes simples d'agrégation. Comme le soulignent Ericsson & Simon, cette agrégation va dépendre des objectifs poursuivis. Un codage de bas niveau aura l'avantage de retenir la plus grande partie de la sémantique de l'activité. C'est parfois ce que l'on cherche, par exemple pour comparer la trace avec une simulation informatique détaillée. Si le but est de tester une théorie plus globale, par exemple tester les points communs dans les comportements d'un groupe de sujets, alors il peut être désirable d'encoder le comportement à un niveau plus agrégé. Cela peut prendre un certain nombre d'itérations puisque chaque tentative d'agrégation fait apparaître les données sous un nouvel angle. Cette réexpression et transformation des données est essentielle, car elle aide l'analyste à voir de nouveaux motifs ("patterns"). Elle demande une démarche sceptique où le chercheur est toujours en train de tester la résistance des motifs trouvés. Chaque agrégation est une sorte de micro-hypothèse qui doit être confirmée par les données.



### 3. Une méthodologie basée sur des instruments d'observation et d'analyse

Sanderson identifie huit opérations élémentaires sur les données séquentielles qui peuvent être vues comme des primitives élémentaires de transformation : Chunking, commenting, coding, connecting, comparing, constraining, converting, computing (Figure 36).



"Chunks" : Agrégation d'événements adjacents perçus comme cohérents.  
"Comments" : note libre ajoutées par l'analyste  
"Codes" : Étiquettes structurées qui peuvent ensuite faire l'objet de computations.  
"Connections" : Liens entre différentes données rendus explicites par l'analyste.  
"Comparisons" : permet de comparer visuellement deux séquences ou une séquence avec un modèle théorique ou prescrit.  
"Constraints" : expression de contraintes logiques entre des événements. Permettent des calculs de test ou des filtrages.  
"Conversions" : Correspond simplement à un changement de forme de visualisation, sans changer la structure des données.  
"Computation" : peut correspondre à des calculs statistiques ou à l'exécution de règles d'inférence symbolique.

Figure 36 : The eight ESDA operations, (Sanderson 1994)

Par ailleurs, Sanderson rappelle que l'analyse est toujours imprégnée du cadre conceptuel et pratique dans laquelle elle s'opère. Elle identifie trois grandes traditions : la tradition comportementaliste, la tradition cognitive et la tradition sociale. La tradition comportementaliste vise à produire des descriptions des comportements sans chercher à les expliquer par des états internes du sujet, elle s'intéresse principalement à des comportements aisément reproductibles en laboratoire. La tradition cognitive vise à expliquer l'activité par des traitements d'information effectués par le sujet. A ce titre, elle vise souvent à inférer des structures de connaissances manipulées par le sujet, et les règles de manipulation de ces connaissances. Cette tradition peut parfois chercher à comparer les traces produites par les modèles avec les traces issues de l'activité humaine. La tradition sociologique, quant à elle, tend à accorder plus de place à la subjectivité de l'analyste lui-même, en soulignant que son analyse est elle-même influencée par le contexte culturel dans lequel il évolue. Parallèlement, elle laisse d'avantage de place pour l'implication des sujets eux-mêmes dans le processus d'analyse. Elle s'intéresse principalement à des activités sociales et vise à en fournir des explications consensuelles.

Notre travail se situe par nature dans la tradition cognitive, bien que notre approche constructiviste rejoigne certains aspects de la tradition sociologique.

Enfin, Sanderson liste les problèmes habituellement rencontrés en ESDA, dont les principaux sont à nos yeux :

· Connaissance insuffisante du domaine par l'analyste : si l'analyste ne connaît pas

suffisamment le domaine d'activité qu'il étudie, il risque de ne pas être capable d'interpréter les comportements, ni même de déterminer quels comportements observer. Elle insiste sur la nécessité d'une étape initiale d'apprentissage pendant laquelle l'analyste apprend à comprendre son domaine d'étude.

- Connaissances des techniques d'ESDA insuffisantes : en fonction des questions de recherche qu'il se pose, l'analyste doit être en mesure de choisir des techniques d'ESDA appropriées, et apprendre à les mettre en œuvre.
- Manque de temps pour l'analyse : trop souvent les chercheurs manquent de temps pour mener à terme leur analyse.
- Trop grande quantité de données : le chercheur risque de se perdre dans un volume de données trop important.
- Insuffisance des possibilités de traitement automatiques : par exemple si les données sont trop bruitées ou si les événements intéressants surviennent trop rarement.
- Données trop pauvres : le processus d'ESDA ne pourra pas mener à des résultats intéressants si les informations significatives pour expliquer l'activité ont échappé au processus de collecte de données.

Le cadre scientifique de l'ESDA semble bien introduire notre problématique méthodologique. Il exprime sans conteste les questions pratiques auxquelles nous sommes confrontés pour l'exploitation de nos traces d'interaction.

### 3.4.3. Conclusion

---

Nous venons de présenter des exemples d'études de cas d'analyse de l'activité de conduite automobile, et plus généralement les techniques d'analyse exploratoire des données séquentielles (ESDA). Cette présentation montre que ce champ méthodologique est encore en cours de constitution. Malgré l'apparition d'outils informatiques dédiés à l'ESDA, que nous présenterons au paragraphe 4.2.2, il n'existe pas encore de méthodologie qui soit largement reconnue dans ce domaine. Souvent les chercheurs, avec l'aide d'ingénieurs, utilisent des environnements d'analyse mathématique tels que Matlab ou Excel pour développer leurs propres outils et méthodes en fonction de leurs besoins spécifiques, comme c'est le cas par exemple au Lescot. Ces insuffisances méthodologiques nous conduisent à formuler nos propres objectifs de recherche en méthodologie.

## 3.5. Conclusion : problématique méthodologique

Au chapitre 2, nous avons posé notre problématique en ergonomie cognitive comme étant de découvrir des schémas tactiques de conduite, en soulignant que ces schémas s'inscrivaient dans un projet de modélisation cognitive du conducteur. Ils doivent être basés sur des éléments de l'activité qui ont une valeur signifiante pour ce conducteur. La

découverte de ces schémas soulève des questions épistémologiques que nous avons discutées au chapitre 1. Il s'agit de savoir comment un ergonome peut construire une connaissance à propos de la connaissance contextualisée qu'un opérateur construit au fil de son activité. Les réponses épistémologiques que nous avons apportées sont basées sur les épistémologies constructivistes. Elles proposent une démarche itérative, pragmatique et dirigée par l'ergonome. Pour répondre à cet objectif nous venons de présenter au chapitre 3 les méthodologies classiques en ergonomie : méthodologie d'observation de l'activité, méthodologie de recueil de données subjectives et méthodologie d'analyse des données séquentielles. Or, à notre connaissance, il n'est actuellement pas établi comment l'application de ces méthodologies peut répondre à notre démarche épistémologique. Notre problématique méthodologique est donc de mettre en œuvre cette démarche. Elle peut s'exprimer ainsi :

Permettre à un ergonome de construire des modèles cognitifs de l'opérateur en analysant des traces d'activité

Cette méthodologie doit donner les moyens à l'ergonome de construire des explications à propos des différents niveaux de contrôle de l'activité par l'opérateur, qu'ils soient automatiques ou volontaires. Elle doit permettre d'argumenter ce processus de construction. Elle doit permettre de manipuler les grandes quantités de données collectées. Pour cela elle doit s'appuyer sur des outils informatiques dont on peut spécifier les objectifs généraux :

Ils devront permettre de gérer la complexité des traces d'activité, c'est-à-dire pouvoir les restituer sous une forme synthétique et intelligible.

Ils devront permettre de gérer différents angles d'analyse. En effet la synthétisation nécessite de faire des choix entre les données utiles et les données inutiles pour une question de recherche particulière. Le système doit donc permettre à l'ergonome d'indiquer quelles sont les données significatives pour lui en fonction de ses différentes questions de recherche.

Ils devront permettre de capitaliser l'expertise d'analyse. Pour cela ils devront permettre de formaliser cette expertise. Ils devront donc offrir des outils de modélisation de la connaissance de l'ergonome.

Ils devront offrir de bonnes qualités d'interactivité. La construction de connaissance est dirigée par l'ergonome et résulte de son utilisation de l'outil informatique. L'interactivité conditionne donc directement les résultats obtenus. Cette interactivité signifie la possibilité pour l'ergonome de modifier facilement le mode de visualisation des traces ainsi que de tester différentes formes de transformation.



## 4. Conception d'instruments informatiques pour l'analyse de traces d'activité

Dans le chapitre 3 nous avons formulé le besoin d'une méthode et d'un outil d'analyse des traces d'activité. Cette méthode et cet outil auraient pour but d'aider un ergonome à construire des modèles cognitifs du conducteur automobile à partir des traces d'activité recueillies lors d'expérimentations. Dans ce nouveau chapitre nous présentons le cadre conceptuel et l'état de l'art sur lequel nous pouvons nous appuyer pour mettre au point une telle méthode et réaliser un tel outil.

Cette partie est à la croisée de deux champs de recherche en informatique.

Le premier de ces champs de recherche est le champ de l'ingénierie des connaissances. Nous présentons ici comment il peut guider notre travail en proposant un ensemble de principes et de lignes directrices à mettre en œuvre. Nous nous intéressons en particulier au domaine du "Knowledge Discovery" et de la modélisation des connaissances par des ontologies et des mécanismes d'inférence.

Le second concerne la recherche en outils informatiques d'ESDA ("Exploratory Sequential Data Analysis"). Nous avons présenté l'ESDA au paragraphe 3.4.2 et indiqué que la mise au point d'outils informatique pour elle constituait un champ de recherche en soi.

Nous nous situons à la rencontre de ces deux champs de recherche en proposant d'appliquer les principes de l'ingénierie des connaissances à l'exploitation des données séquentielles. Cela nous conduit à présenter les travaux réalisés au LIRIS qui s'intéressent à la modélisation des traces d'interaction dans ce qui est défini comme un "Système à Base de Traces" (SBT).

Enfin, nous présentons un état de l'art des technologies informatiques sur lesquelles nous pouvons nous appuyer pour implémenter notre outil. Nous ne pouvons pas développer un outil informatique à partir de zéro et nous devons nous appuyer sur les travaux qui nous ont précédés. L'existence et la nature de ces technologies existantes vont conditionner la conception et l'architecture de notre prototype.

Ce tour d'horizon de notre cadre conceptuel et pratique nous conduit finalement à formuler des questions de recherche pour la partie "informatique" de cette thèse. Cette question concerne, dans son ensemble, le fait de savoir comment on peut construire et utiliser un système informatique pour découvrir des connaissances en ergonomie cognitive à partir des données expérimentales.

## 4.1. L'apport de l'ingénierie des connaissances

### 4.1.1. Introduction à l'ingénierie des connaissances

---

Nous examinons ici comment l'informatique peut nous aider à construire des modèles cognitifs de l'activité de conduite. Nous avons vu que ces modèles cognitifs sont des connaissances à propos de la façon dont le conducteur traite mentalement les informations utiles pour son activité. Nous avons vu également que ces connaissances sont par nature construites et comprises par un ergonomiste. Nous avons introduit au paragraphe 1.2.3 une réflexion épistémologique sur la façon dont l'informatique pouvait constituer un support pour la construction de ces connaissances. Nous développons ici plus précisément comment ce support peut être mis en place, c'est le domaine de l'ingénierie des connaissances. A l'éclairage de cette réflexion épistémologique, le terme "ingénierie des connaissances" (IC) apparaît pourtant impropre. En effet, la connaissance n'est pas un objet matériel sur lequel une ingénierie pourrait avoir prise. Bachimont souligne que le terme IC désigne en réalité plutôt une "ingénierie des inscriptions de connaissances". Selon Bachimont « la connaissance ne peut s'appréhender techniquement, c'est-à-dire via une ingénierie, qu'à travers les inscriptions qui l'expriment ».

Le travail d'ingénierie des connaissances ne vise donc pas directement à produire, stocker ou transmettre de la connaissance mais à concevoir des outils informatiques qui facilitent la production, le stockage, la transmission de connaissance par ses utilisateurs. En pratique, cela signifie qu'on ne peut pas espérer construire un système informatique où il suffirait de cliquer sur un bouton, pour qu'il explique à son utilisateur ce que ses données ont à lui apprendre. Tout au plus pouvons-nous construire un système qui peut

soutenir le travail de découverte de connaissance. Mais ce travail devra être dirigé par l'utilisateur.

L'objectif de l'IC est donc (modestement) d'instrumenter le travail intellectuel ou cognitif de l'utilisateur. Pourtant il existe bien une science de l'ingénierie des connaissances. Cette science se réfère à une connaissance sur la façon de concevoir des systèmes d'ingénierie des connaissances : la recherche en IC consiste à inventer de meilleurs systèmes d'IC. Comme le souligne Bachimont, cette science n'est pas une science purement formelle qui serait une simple branche de la logique proposant des techniques de manipulation de symboles. Elle intègre intrinsèquement une dimension de science humaine, puisqu'elle porte aussi sur la façon dont ces symboles peuvent être interprétés par l'utilisateur. Cela conduit Bachimont à formuler une définition de l'IC que nous pourrions adopter ici :

**« L'ingénierie des connaissances est une technique des inscriptions formelles et une critique de leur interprétation. »**

Le terme "critique" étant pris dans son sens étymologique, (du grec *kritikos*, *krinein* : juger comme décisif) c'est-à-dire une activité de l'esprit consistant à repérer et déterminer les facteurs décisifs et intelligibles.

Les systèmes d'IC doivent permettre d'articuler les techniques formelles de manipulation syntaxique avec leur interprétation. Pour cela, ils doivent permettre de repérer les écarts entre un sens strict des symboles (qui serait issu d'une connaissance exacte des calculs qui les produisent) et un sens induit (produit lors de l'utilisation du système par un utilisateur qui n'en connaît pas tous les calculs, et qui se base, par exemple, sur des libellés exprimés dans le langage naturel, ou sur le contexte d'apparition de ces symboles). Pour cela, les systèmes doivent expliciter les normes d'interprétation, c'est-à-dire préciser à l'utilisateur comment il doit aborder les situations concrètes d'utilisation. Ils doivent aussi permettre d'inscrire les écarts à la norme constatés dans des situations d'usage spécifiques. En effet les écarts à la norme n'invalident pas le système mais permettent de l'enrichir de nouveaux cas d'utilisation.

#### 4.1.2. Acquisition des connaissances

---

Parmi tous les champs d'application de l'IC, notre travail se focalise sur son utilisation pour l'acquisition des connaissances. L'acquisition des connaissances a été identifiée comme une problématique en tant que telle dès le début de l'IC. On parlait alors d'acquisition de connaissances pour les "Systèmes Experts". Ceux-ci visaient principalement à reproduire les comportements des experts d'un domaine. Il semblait alors qu'une des difficultés principales était de "capturer" cette expertise pour pouvoir la modéliser dans le système.

Si l'on appliquait ce paradigme à notre travail, "l'expert" dont il s'agirait de reproduire les mécanismes de traitement de la connaissance serait le conducteur automobile. Le système expert produit serait une sorte de robot conducteur. Mais nous avons vu que ce n'était pas notre objectif, pour des raisons épistémologiques qui ne sont pas sans rapport avec l'abandon relatif des systèmes experts tels qu'ils étaient imaginés dans les années

80.

Au contraire, l'approche actuelle reconnaît que les systèmes informatiques ne manipulent pas de la connaissance mais uniquement des inscriptions destinées à faire sens pour leurs utilisateurs. On ne parle plus de système expert mais de "Système à Base de Connaissances" (SBC). Charlet & Bachimont définissent les SBC comme « des systèmes sémiotiques de manipulation d'inscriptions symboliques, dont le fonctionnement informatique doit permettre à un utilisateur d'interpréter et de comprendre le système dans le cadre de son activité et de ses usages, en utilisant les termes du domaine. »

Les termes du domaine sont dans notre cas les termes qui permettent de décrire l'activité cognitive du conducteur automobile, ces termes sont interprétés par l'utilisateur du système qui est l'ergonome.

Dans ces conditions l'apport des SBC pour l'acquisition de connaissances consiste à offrir à leurs utilisateurs des outils de manipulation de symboles. Ces manipulations sont déterminées par des règles qui peuvent être spécifiées non pas au niveau du programme, mais en tant que propriétés des symboles eux-mêmes.

Ces règles de manipulation de symboles constituent ce qu'on appelle la "sémantique" des symboles. Le terme "sémantique" provient de la linguistique et désigne initialement l'étude du sens des énoncés. La sémantique s'oppose à la syntaxe comme le fond s'oppose à la forme. La communauté informatique a détourné ce terme pour désigner non pas comment un ordinateur "comprend" un symbole, mais comment il "l'interprète", c'est-à-dire quels traitements il peut effectuer en rapport avec lui. La sémantique d'un symbole désigne alors l'ensemble des calculs qui pourront être déclenchés dans l'ordinateur avec ce symbole.

Les systèmes actuels d'IC offrent la possibilité de coder cette sémantique sous forme de propriétés des symboles. Quand l'ingénieur des connaissances définit un symbole dans le système, il peut déclarer sa sémantique, c'est-à-dire spécifier les calculs qui pourront être appliqués à ce symbole. Ces calculs sont ensuite exécutés à la demande par un programme qu'on désigne sous le terme général de "moteur d'inférence". Ainsi le codage de la sémantique, et la programmation du moteur sont des tâches dissociées. Concrètement dans le cas d'un SBC, la sémantique des symboles n'est pas inscrite dans le code exécutable du système informatique, mais dans des structures de données associées au symbole. Cette dissociation, issue de la vision de Newell entre niveau "connaissance" et niveau "symbole" permet de dissocier le travail de modélisation du domaine et le travail de programmation informatique.

Dans notre cas, les connaissances qui sont inscrites dans le SBC ne sont pas les connaissances qui "appartiennent" au conducteur mais les connaissances qui "appartiennent" à l'ergonome à propos du conducteur. Les propriétés sémantiques des symboles visent à exprimer des connaissances de l'ergonome. Elles constituent à la fois une tentative d'explicitation et d'implémentation de son expertise d'interprétation et d'analyse. Toutefois cette implémentation ne réalise pas par elle-même une analyse. Comme le formulent Charlet et Bachimont : « Le calcul produit des résultats que la rationalité de l'interprétation n'anticipe pas forcément. La combinatoire des expressions suggère alors la possibilité de formuler des inscriptions dont l'interprétation renvoie à de



nouvelles connaissances ou des connaissances qu'on n'avait jamais pensées auparavant. » C'est de cette façon que les SBT peuvent constituer un support à la production de connaissance : « De même que l'ordinateur ne "voit" pas les images qu'il permet de construire, il ne "pense" pas les nouvelles inscriptions qu'il formule, mais il permet de voir du nouveau comme de penser autrement. »

### 4.1.3. La découverte de connaissances à partir de données

Sur la base de ces fondements théoriques, un champ de recherche s'est constitué, désigné par le terme de "Knowledge Discovery from DataBase" (KDDB). Le KDDB est défini par comme :

***“The overall process of discovering potentially useful and previously unknown information or knowledge from a database.”***

Pour Fayyad, ce problème consiste à mettre en relation ("mapping") les données de bas niveau avec des données d'une autre forme qui peuvent être plus compactes, plus abstraites, ou plus utiles. Ainsi un système de Knowledge Discovery doit permettre à un utilisateur de mener un processus cyclique d'abstraction et de compréhension des données. Fayyad illustre ce processus par le schéma de la Figure 37.

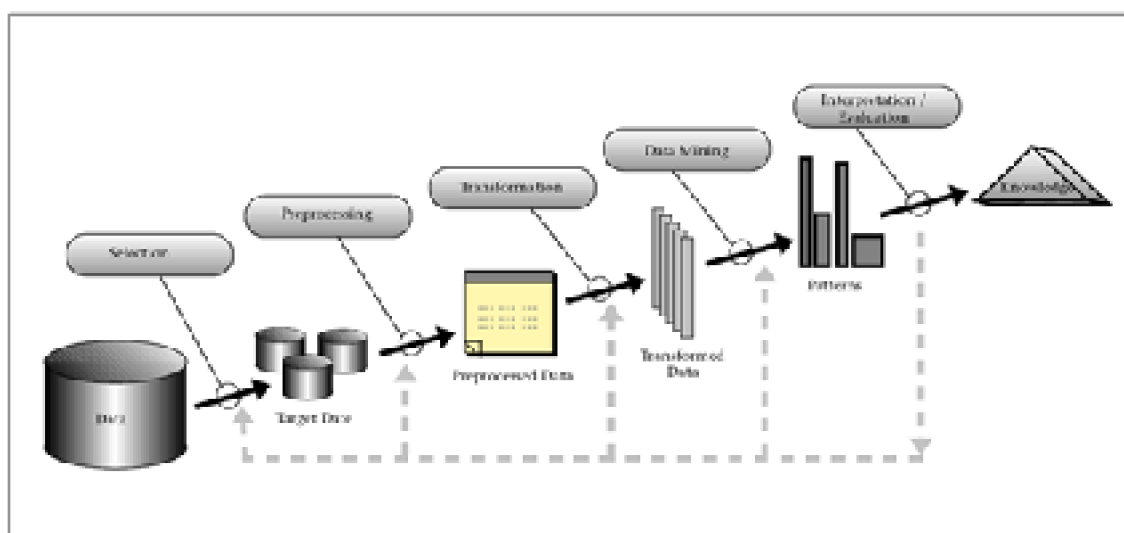


Figure 37 : Cycle du Knowledge Discovery, (Fayyad 1996)

**Le processus de Knowledge Discovery est piloté par l'analyste. Celui-ci sélectionne les données utiles. Il les filtre pour enlever le "bruit". Il les transforme pour pouvoir éventuellement leur appliquer des algorithmes de "data-mining". Finalement il interprète les résultats. Dans cette approche, chaque étape conduit à affiner ou remettre en cause les traitements effectués dans les étapes précédentes.**

Cette figure représente le processus de Knowledge Discovery comme un processus cyclique, piloté par l'analyste. Dans ce cycle, la mise en œuvre d'algorithmes de recherche automatique de motifs remarquables (pattern finding, data mining) ne constitue qu'une étape. En effet ces algorithmes ne sont qu'un moyen de trouver des propriétés statistiquement remarquables dans les données, tels que des motifs fréquents. Mais le fait

que ces propriétés soient statistiquement remarquables n'implique pas qu'elles soient porteuses de connaissances nouvelles.

Par la mise en œuvre itérative du cycle, la connaissance est finalement construite "dans la tête" de l'analyste, avec l'aide interactive du système. De surcroît, l'expertise d'analyse est progressivement capitalisée dans le système informatique sous la forme d'une amélioration progressive des mécanismes de traitement et de visualisation de données. Ces mécanismes permettent de produire des représentations textuelles, numériques ou graphiques des données. Parallèlement, l'analyste devient capable d'attribuer du sens à ces représentations du fait même qu'il maîtrise les processus qui permettent de les produire.

Dans notre cas, la base de données initiale est constituée par les données collectées lors des expérimentations de conduite. Les connaissances recherchées sont des modèles des processus et états cognitifs mis en œuvre par le conducteur pour réaliser son activité de conduite. Le processus de découverte de connaissances que nous cherchons à mettre en œuvre est un processus d'abstraction de ces données, piloté par l'ergonome en fonction de ses objectifs de recherche et du cadre théorique où il se situe. Les motifs intéressants que nous recherchons dans les données sont des motifs temporels. Anolli, Duncan, Magnusson & Riva les désignent sous le terme général de T-pattern (temporal pattern).

### 4.1.4. Les outils de modélisation des connaissances

---

Les travaux effectués depuis les années 80 ont conduit à distinguer deux grandes catégories d'outils : les outils pour les connaissances du domaine, et outils pour les connaissances de raisonnement . Les outils de modélisation de domaine partent d'un objectif de description de connaissances générales relatives à un domaine d'application et nécessaires pour que les raisonnements puissent s'exécuter. Les outils de modélisation de raisonnement partent de l'objectif de décrire les processus à mettre en œuvre pour résoudre un problème. Par exemple, dans le domaine médical, les modèles du domaine décrivent des connaissances de pathologies, de symptômes ou de thérapie, et les modèles de raisonnement décrivent les raisonnements à effectuer pour choisir une thérapie à partir des symptômes.

Les outils de modélisation du domaine consistent principalement en outils de manipulation d'ontologies, que nous décrivons au paragraphe suivant. Les outils de modélisation de raisonnement reposent sur des langages logiques issus de l'intelligence artificielle, tels que Lisp ou Prolog. En ce qui nous concerne, nous ne cherchons pas à capturer les raisonnements complexes que met en œuvre l'analyste, nous n'aurons donc pas recours à cette seconde catégorie d'outils. Disons simplement qu'ils se rapprochent des outils de modélisation cognitive que nous avons présentés au paragraphe 2.3 par leurs fondements logiques. Par exemple le langage Lisp est utilisé pour la modélisation du raisonnement dans le langage K , et pour la modélisation cognitive dans ACT-R, présenté au paragraphe 0. En revanche, ils s'en distinguent par le fait qu'ils ne visent pas à rendre compte des capacités de raisonnement de l'esprit humain d'un point de vue psychologique.

Ces deux approches différentes ne doivent pas faire oublier que connaissances du domaine et connaissances de raisonnement sont indissociables, puisqu'un domaine est toujours modélisé dans le but de répondre à une certaine classe de problème. Ces deux types d'outils tendent maintenant à se rejoindre avec le développement de fonctionnalités de traitement sémantique dans les outils de manipulation d'ontologies.

### 4.1.5. Modèle du domaine et ontologie

---

A l'origine, le terme "ontologie" est un terme philosophique qui désigne la « doctrine ou théorie de l'être ». A partir de la question "Pourquoi existe-t-il quelque chose plutôt que rien ?", l'ontologie philosophique s'attaque à la question : "Il existe quelque chose, mais quoi ?". Bien que de manière plus naïve, cette même question se pose en ingénierie des connaissances, dès lors qu'on veut modéliser un domaine : "Qu'est ce qui existe fondamentalement dans ce domaine ?". Autrement dit : quels sont les concepts "premiers" sur lesquels se fonde l'édifice de modélisation ? Par exemple dans le domaine de la conduite automobile, existe-t-il des "coups de frein brusques" ? Des "coups de frein doux" ? Des "regards à droite" ? Des "regards dans l'angle mort droit" ? Ou bien ces concepts sont-ils des concepts inventés sur la base de concepts plus élémentaires ? Et si oui, lesquels ? Peut-être "action sur une pédale" ? Ou "mouvement des yeux" ? Ricoeur souligne que cette question, pour la science, « c'est la question de savoir ce qui, pour elle, est tenu pour réel, au sens de non conventionnel, non produit par l'activité théorique et pratique du savant. » De même, dans la démarche de modélisation en IC, créer une inscription  $\lambda$  dans le système pour symboliser  $\Lambda$  dans le domaine, c'est du même coup affirmer qu'on tient  $\Lambda$  pour existant dans le domaine. Dans cette optique, l'IC s'est appropriée le terme "ontologie" pour désigner une structure de données informatique, qui spécifie les conditions de traitement et d'affichage à l'écran de symboles, qui pourront être compris par l'utilisateur comme symbolisant quelque chose qui est tenu par lui comme réel dans le domaine.

La notion de symbole est ici définie comme un objet  $\lambda$  qui est compris par un Sujet comme renvoyant à un autre objet  $\Lambda$ , identifiable par ce Sujet. Par exemple, la locution "coup de frein brusque" est un symbole qui est tenu par celui qui le lit comme renvoyant à quelque chose qu'il peut identifier dans le domaine de la conduite automobile. En choisissant d'utiliser le symbole "coup de frein brusque" pour participer à décrire la conduite automobile, l'ergonome affirme du même coup qu'il considère qu'il existe des coups de frein brusques dans le domaine de la conduite automobile.

L'ontologie apparaît ainsi à l'utilisateur comme l'ensemble des objets reconnus comme existants dans le domaine, et une spécification de leur comportement dans le système. souligne que le principe même des calculs formels mis en œuvre dans les SBC impose que soient définies des "primitives" du domaine sur lesquelles ils puissent s'appliquer. Ainsi, l'ontologie effectue une mise en correspondance du niveau interprétatif de l'utilisateur et du niveau computationnel de l'ordinateur. Le niveau interprétatif est un libellé et plus largement une présentation qui guide l'interprétation des symboles par l'utilisateur, par exemple la locution "coup de frein brusque", ou un symbole graphique ayant le même rôle. Le niveau computationnel est une définition des opérations que le

système peut appliquer aux symboles : peut-il jouer tel rôle dans telle règle d'inférence ? Par exemple, pour produire un autre symbole qui symbolisera la surprise ou la peur ressentie par le conducteur, qui pourrait éventuellement être inférée d'un "coup de frein brusque". Ces deux niveaux sont liés par le fait que la connaissance des contraintes computationnelles influence l'interprétation du symbole qui est faite par l'utilisateur, et que les contraintes computationnelles sont spécifiées par l'utilisateur conformément au sens qu'il attribue au symbole.

Avec le développement des SBC, il est apparu que la construction des ontologies posait plus de difficultés qu'il ne semblait au premier abord. Selon Bachimont « il est impossible de trouver des notions à partir desquelles toutes les connaissances sont construites. Les notions sont elles-mêmes des connaissances permettant de définir d'autres connaissances, mais sont également définies par elles. Le problème est donc qu'il n'existe pas de primitives générales d'un domaine et qu'il est nécessaire pourtant de disposer de primitives pour entreprendre la représentation des connaissances. » Il ressort de cela que la construction d'une ontologie par un analyste ne consiste pas à découvrir des primitives déjà existantes, mais consiste à choisir et définir, de manière pragmatique, des primitives qui répondent à son projet de modélisation.

L'ergonome ne peut pas prouver qu'il existe des "coups de frein brusque" dans le domaine de la conduite automobile, qui se différencieraient par exemple des "coups de frein doux" par un certain seuil d'enfoncement de la pédale. Simplement, en créant cette notion, il fait un choix pragmatique de modélisation. Il reste que, si l'analyste veut construire un modèle cohérent, il n'est pas libre de définir n'importe quel concept et n'importe quelle règle d'inférence. Il est contraint par la réalité du domaine. C'est là que le système d'IC peut apporter une aide. En offrant le moyen d'implémenter les contraintes logiques, il offre à l'analyste un moyen de tester la robustesse de ses modèles.

Bachimont indique qu'en pratique, la construction des ontologies se fait souvent à partir d'une analyse linguistique de corpus de textes, par exemple dans le domaine médical. Mais des ontologies peuvent également être créées à partir de données non langagières, ce qui correspond en grande partie à notre cas. Dans ce cas la définition des concepts renvoie à la méthode de traitement permettant de les rattacher à ces données. Par exemple, les traitements appliqués au signal issu de la pédale de frein, qui spécifient la détection d'un "coup de frein brusque".

### **4.1.6. Conclusion sur l'apport de l'Ingénierie des Connaissances**

---

Nous avons présenté les principes de l'Ingénierie des connaissances et des systèmes à base de connaissance. Traditionnellement, l'acquisition des connaissances constitue davantage une étape initiale de la mise en œuvre des SBC plutôt que leur propre finalité. Cependant nous avons vu que les SBC pouvaient constituer un support pour la découverte de connaissance. C'est pour cet aspect que nous nous proposons de les utiliser.

Nous souhaitons ainsi montrer que la mise en œuvre d'un SBC pour l'analyse des traces d'activité peut nous aider à atteindre notre objectif d'analyse cognitive de l'activité.

En tant que système de manipulation d'inscriptions symboliques, les SBC peuvent aider l'ergonome à mener un processus d'abstraction et d'explicitation progressive des traces d'activité. Ce processus peut conduire à créer des modèles de l'activité, et parallèlement à permettre leur interprétation. Tout l'enjeu et la nouveauté de cette approche est de réaliser cette modélisation de l'activité dans un système à base de connaissances.

## 4.2. L'exploitation des traces d'interaction : Etat de l'art

### 4.2.1. Introduction

---

L'exploitation des traces d'interaction s'est beaucoup développée ces dernières années dans le domaine de l'interaction homme / ordinateur, et en particulier pour la navigation sur Internet. Cette exploitation prend principalement deux orientations. La première vise à analyser après coup le comportement des utilisateurs et l'utilisabilité des systèmes. La seconde vise à faciliter directement l'activité de l'utilisateur, en lui mettant ses traces à disposition, en temps réel. Dans ce cas deuxième cas, les traces affichées peuvent être des traces privées propres à l'utilisateur, mais également des traces partagées par une communauté d'utilisateurs, ce qui ouvre d'immenses possibilités en termes de coopération ou de "tutoring".

La plupart des hébergeurs de sites web proposent à leurs clients des outils d'analyse de l'activité des visiteurs. De nombreux sites gratuits d'hébergement de blog le proposent également. D'autre part les outils de navigation internet tels que Firefox proposent plusieurs possibilités d'extension pour le traçage, privé ou collaboratif, de la navigation internet (Fleck, Jeteye, JumpKnowledge Webpage Annotator). A titre emblématique, Google s'est lancé dans ce domaine en proposant ses propres outils : Google Analytics (Figure 38) et Google Web History (Figure 39). Ces applications, encore en version d'évaluation, nous incitent à penser que l'exploitation des traces d'interaction prendra un développement décisif dans les années à venir, pour peu que les questions liées à la confidentialité des données recueillies trouvent des réponses adaptées.

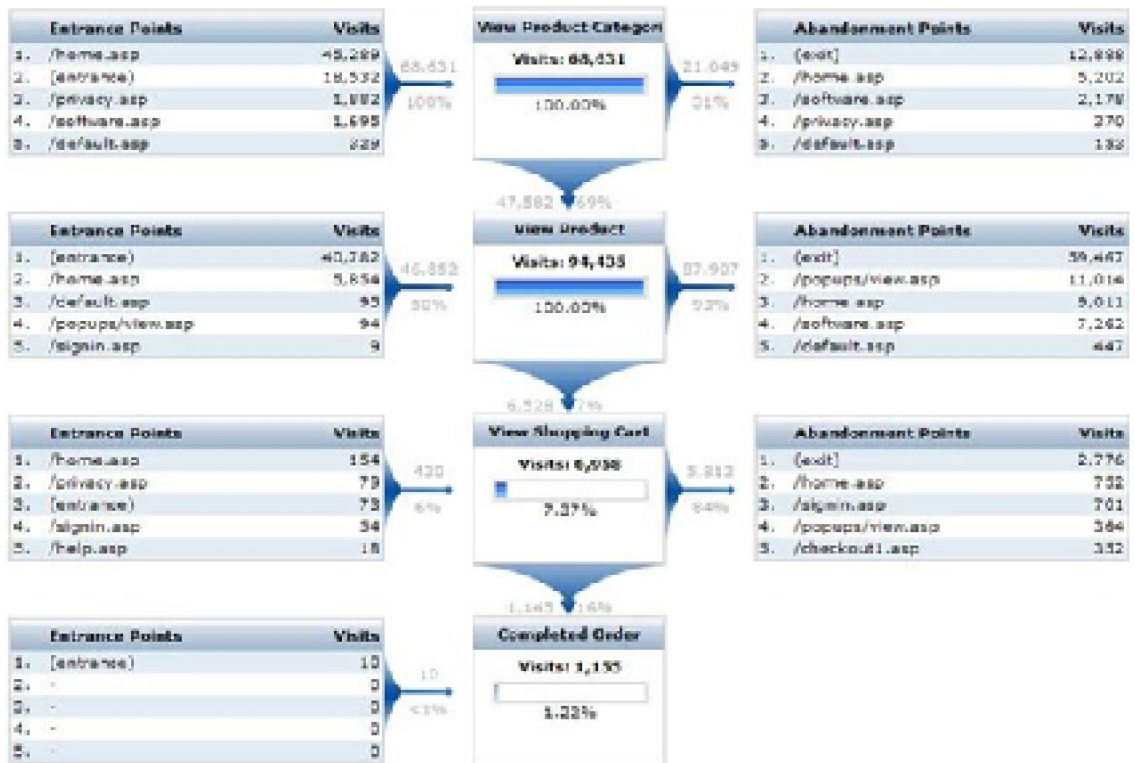


Figure 38 : Visualisation de schéma de navigation sous Google Analytics

Google analytics permet au webmaster d'analyser les traces de navigation des visiteurs de son site. Le webmaster peut définir des "parcours typiques" nommés Funnel (entonnoirs) qui sont une succession de pages ou groupes de pages. Il peut visualiser de manière synthétique les entrées et sorties des visiteurs sur ces parcours typiques. Ce traçage se fait grâce à un code que le webmaster insère dans chacune des pages de son site. Ce code transmet ensuite l'information à Google chaque fois qu'un visiteur consulte la page.

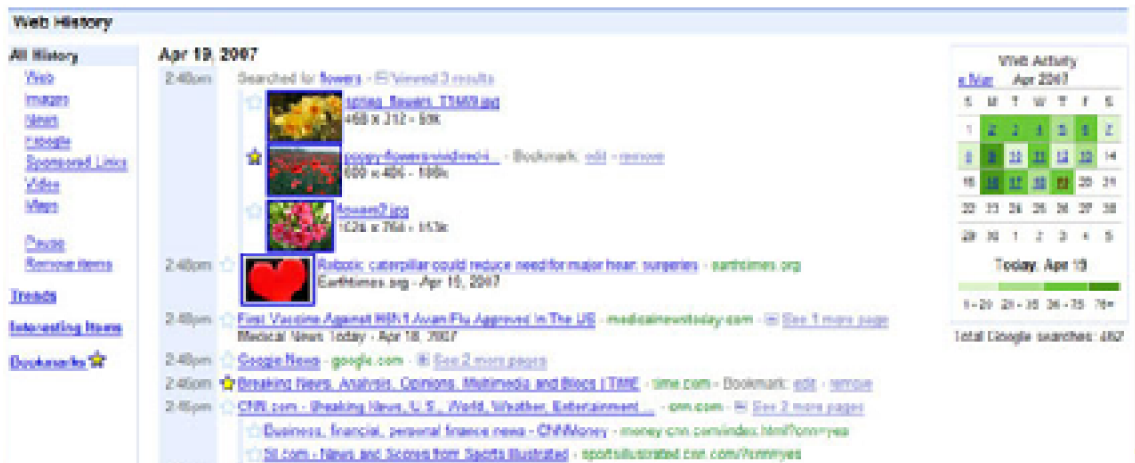


Figure 39 : Visualisation des traces de navigation sous Google Web History

Google Web History permet aux utilisateurs d'internet de consulter leur historique de navigation. Il s'agit non seulement des recherches effectuées sur

**google mais également de la navigation sur des sites tiers. La trace est collectée avec l'accord de l'utilisateur si celui-ci installe l'extension appropriée dans son navigateur. L'utilisateur peut parcourir sa trace, lui appliquer des recherches, pointer les items intéressants par une étoile, supprimer des items, suspendre le traçage.**

Ces deux approches, analyse et réflexivité, ont fait l'objet de nombreux travaux scientifiques. Wexelblat les résume en comparant les traces informatiques aux traces d'usure laissées dans notre environnement courant qui peuvent ensuite nous guider. Il souligne que ces traces, en donnant des indications sur l'usage qui a été fait des choses, ne font pas que modifier ces choses mais modifient également la perception qu'on en a. Comme nous, il souligne l'importance de dissocier deux rôles : le rôle d'acteur au moment où la trace est enregistrée et le rôle d'observateur au moment où la trace est exploitée. Ces deux rôles peuvent être tenus, ou non, par la même personne, mais toujours à des moments différents, et prennent place dans le même "contexte culturel". Sans cette communauté de contexte, l'exploitation des traces ne serait pas forcément possible.

Au LIRIS, des travaux ont été menés sur l'usage réflexif des traces. Ollanier-Beldame a étudié l'usage des traces en situation d'apprentissage collaboratif médié par des outils informatiques. Elle a montré, d'une part, que l'affichage des traces permettait une meilleure appropriation de l'outil par l'utilisateur, et d'autre part, qu'il permettait une prise de conscience par l'utilisateur de sa propre activité et favorisait ainsi l'apprentissage assisté par ordinateur. Cette prise de conscience permet à l'utilisateur d'explicitier son activité.

L'exploitation réflexive des traces d'activité de conduite automobile par le conducteur lui-même n'est pas notre sujet d'étude. Nous nous contenterons de discuter cette possibilité dans la partie discussion de cette thèse. Notre travail se focalise sur l'exploitation des traces d'interaction dans un but d'analyse.

#### **4.2.2. Outils d'analyse de données séquentielles d'interaction**

---

Il existe une grande quantité d'outils pour l'analyse des traces d'interaction. Hilbert & Redmiles proposent une revue d'une quarantaine d'entre eux, principalement dédiés à l'étude de l'interaction homme/ordinateur. Selon eux, la force de ces outils réside globalement dans leur capacité à aider l'analyste à découvrir des motifs d'intérêt au sein du flux d'événements. Ils insistent sur l'importance de permettre une analyse des données à des niveaux d'abstraction multiples, où les événements de chaque niveau sont composés d'événements de plus bas niveau. Ce passage entre les niveaux est effectué par des transformations sur les traces, du type de celles proposées par Sanderson & Fisher , que nous avons présentées au paragraphe 3.4.2. Hilbert relève principalement MacShapa pour ses fonctionnalités générales de visualisation, de recherche, de filtrage, d'abstraction et de calcul statistique. Il signale aussi Hawk , pour ses fonctionnalités d'abstraction basées sur un langage de programmation spécifique.

Dans le domaine de l'éthologie, nous avons remarqué "Thème" , qui permet la recherche automatique de motifs fréquents et le choix par l'utilisateur des motifs qui lui

semblent intéressants. Nous présentons son interface de visualisation des traces au paragraphe suivant. ColAT doit aussi être signalé pour ses fonctionnalités d'analyse conjointe des traces informatiques et des enregistrements vidéo. Dans une approche plus psychologique, Plaisant, Milash, Rose, Widoff & Schneiderman proposent le système LifeLine, qui permet à un utilisateur d'analyser rétrospectivement l'histoire de sa vie.

Enfin il nous faut signaler le travail de Badre & Santos dans le projet CHIME. Ces auteurs argumentent sur la nécessité de donner une sémantique aux traces de telle sorte qu'elles puissent ensuite être interprétées automatiquement. Pour cela, ils implémentent un système à base de connaissances qui permet à l'analyste de modéliser l'usage attendu de l'interface homme / machine. Ce système à base de connaissances est ensuite utilisé pour contraindre le système de traçage de l'interaction. De cette façon, les traces produites sont conformes au modèle d'utilisation prédéfini. Elles sont donc traitables automatiquement pour produire une description de l'activité qui réponde aux attentes des analystes. En revanche CHIME n'utilise pas le système à base de connaissances pour soutenir le processus de découverte de connaissances au moment de l'analyse des traces.

### 4.2.3. La visualisation de données séquentielles

---

Pour illustrer une activité temporelle, la projection dynamique d'une séquence filmée et commentée, est souvent la méthode la plus efficace. Ces projections offrent des possibilités de compréhension globale de l'activité souvent déterminantes. Cependant, elles n'offrent pas de moyen d'appréhender simultanément différents aspects de l'activité, ni le détail de son évolution chronologique. De plus, elles ne permettent pas de construire une argumentation logique de l'analyse. Pour ces raisons, les représentations statiques sont encore indispensables.

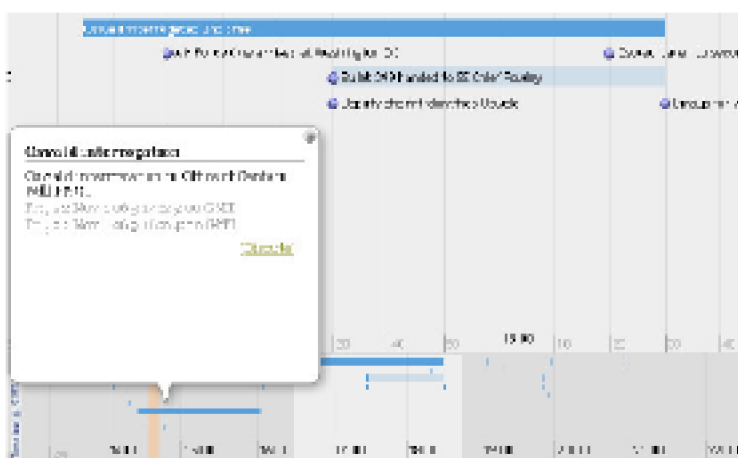
Les descriptions statiques de la chronologie de l'activité se répartissent en deux types : (a) les graphes d'activité qui sont des représentations graphiques du déroulement temporel des variables observées ; (b) les descriptions narratives qui décrivent les actions dans le langage courant . Cependant, presque toujours, les descriptions empruntent plus ou moins à ces deux extrêmes : un graphe d'activité gagne à être accompagné de commentaires replaçant les comportements élémentaires dans un contexte plus significatif, tout comme une description plus narrative doit s'assurer de quelques repères systématiques de lieu et de temps.

Chaque outil d'analyse de l'activité a développé son propre mode de visualisation. Hilbert & Redmiles en donnent une revue assez complète. Le mode de visualisation le plus classique est donné par les diagrammes de type "Gantt" (du nom de l'ingénieur qui l'imagina en 1917). Il consiste à représenter des intervalles temporels par des bandes horizontales réparties sur des lignes dont chacune correspond à un poste, une tâche, une ressource, etc. Ce type de représentation est montré Figure 40 telles qu'elle est réalisée par le logiciel Kronos .





concepteurs comme l'équivalent de ce qu'est GoogleMaps pour la visualisation des données géographiques. Sa fluidité d'utilisation et sa simplicité d'interfaçage par fichier XML en fait un outil remarquable dans le domaine.



L'interface de visualisation de données séquentielles Simile Timeline peut être découpée en plusieurs zones avec des échelles de temps différentes. L'utilisateur peut les faire glisser d'avant en arrière avec la souris. Les événements instantanés sont représentés comme des points et les intervalles de temps comme des bandes. L'utilisateur peut cliquer sur des événements pour afficher une fenêtre d'annotation.

Figure 42 : Simile TimeLine

Au LIRIS, propose une étude pour la visualisation graphique des traces. En terme de recommandation générale, il cite la théorie de la graphique qui identifie 8 variables de l'image visuelle pour transcrire le sens que contient des données : les positions en abscisses et en ordonnées, la taille, la valeur, la couleur, le grain, l'orientation et la forme. Il note que ces variables n'ont pas toutes la même capacité à représenter certains aspects des données, par exemple, la position selon un axe retranscrit bien l'ordre des données, ce qui n'est pas le cas de la couleur ; la taille retranscrit bien la quantité, mais pas la forme, etc. Les travaux de Lohse, Biolsi, Walkers & Rueter dénombrent les différents types de présentations visuelles possibles : les graphes, les tables et tables graphiques, les graphiques temporels, les réseaux, les diagrammes de structure, les diagrammes de processus, les cartes, les cartogrammes, les icônes et les images. Il note que les représentations adaptées à la mise en évidence de relations entre symboles sont les représentations en réseau, mais qu'elles sont globalement jugées difficiles à comprendre. Novick & Hurley ont effectué des travaux de comparaison de trois structures graphiques différentes : les matrices, les graphes hiérarchiques et les réseaux (graphes non structurés). Selon eux, une relation de type matrice est à privilégier pour offrir à l'utilisateur une perception facile de la présence ou de l'absence d'une relation entre deux variables. Les graphes hiérarchiques mettent en évidence la structure globale des données alors que les réseaux sont performants pour présenter des structures de données faiblement contraintes.

Nous aurons recours à ces différents modes de visualisation. Ces travaux nous montrent que les graphes hiérarchiques sont appropriés à la visualisation des ontologies, et que les réseaux sont appropriés à la visualisation de nos traces, en raison de leur nature relativement faiblement contraintes. Toutefois, ces travaux attirent notre attention sur le fait que les représentations en réseau sont délicates à lire et appellent donc la mise en œuvre d'outils appropriés pour faciliter cette lecture.

<sup>1</sup> SIMILE-TIMELINE : Semantic Interoperability of Metadata and Information in unLike Environments <http://simile.mit.edu/timeline/>

### 4.2.4. Limites des outils existant

---

Les outils d'ESDA qui existent à l'heure actuelle ne tirent pas parti des méthodologies ni des outils de l'ingénierie des connaissances. Ces outils d'ESDA ont été développés dans le cadre des sciences humaines. A ce titre, il nous semble que leurs concepteurs ont bien posé la problématique d'ensemble, en identifiant les limites des traitements statistiques et en plaçant l'humain au centre du processus d'analyse. Cependant, comme Hilbert & Redmiles le soulignent dans leur revue de la question, ils ne permettent pas encore de soutenir pleinement un processus de découverte de connaissance.

Comme nous l'avons vu, la découverte de connaissance implique de pouvoir construire en détail une architecture de concepts qui expliquent chaque aspect du domaine observé ; de façon à permette de confronter une logique ascendante qui part des données avec une logique descendante qui part de l'analyste. Or les outils que nous venons de passer en revue, n'offrent pas de fonctionnalités qui permettraient de modéliser la connaissance des analystes. Leur implémentation ne permet que de soutenir la partie ascendante, dirigée par les données, du processus de découverte de connaissance. Il reste le besoin de modéliser la connaissance de l'analyste, de façon à pouvoir investiguer la connexion de celle-ci avec les données observées. Ainsi le processus de découverte de connaissance pourra être mené, non pas uniquement à partir des données expérimentales, mais aussi à partir des connaissances théoriques détenues par l'analyste. Elle sera issue de cette mise en relation de la théorie et de l'observation, dans un processus de rapprochement.

## 4.3. La modélisation des traces d'interaction

### 4.3.1. Introduction

---

Pour soutenir le processus de découverte de connaissance à partir des traces d'activité, nous nous proposons d'appliquer les principes et les outils de l'ingénierie des connaissances. Ces principes et outils permettent à l'ergonome de définir et de critiquer la sémantique des concepts qui constituent en quelque sorte le langage de l'activité. Notre approche consiste à soutenir cette démarche de modélisation de la trace d'activité au sein d'un système à base de connaissances. Cette démarche inclut la possibilité d'effectuer des raisonnements sur des éléments de la trace. Notre système se doit donc d'offrir des fonctionnalités qui soutiennent ces raisonnements. Pour cela, nous nous inspirons des travaux sur le raisonnement à partir d'expérience tracée effectués par l'équipe SILEX au LIRIS, que nous allons présenter maintenant.

### 4.3.2. Le raisonnement à partir d'expérience tracée

---

Les travaux de raisonnement à partir d'expérience tracée (RàPET) s'inscrivent globalement dans une approche de l'ingénierie des connaissances exploitée "en temps réel" . Plus précisément, il s'agit d'une ingénierie des connaissances dynamique qui se construit dans l'interaction entre l'utilisateur et le système informatique. Cette interaction a lieu dans un contexte qui influence l'interprétation que l'utilisateur peut faire des inscriptions de connaissances, qui lui sont renvoyées par le système. Ce contexte est propre à chaque utilisation du système et ne peut pas être entièrement défini à l'avance. Il ne peut pas non plus être entièrement explicité par l'utilisateur au moment de l'interaction.

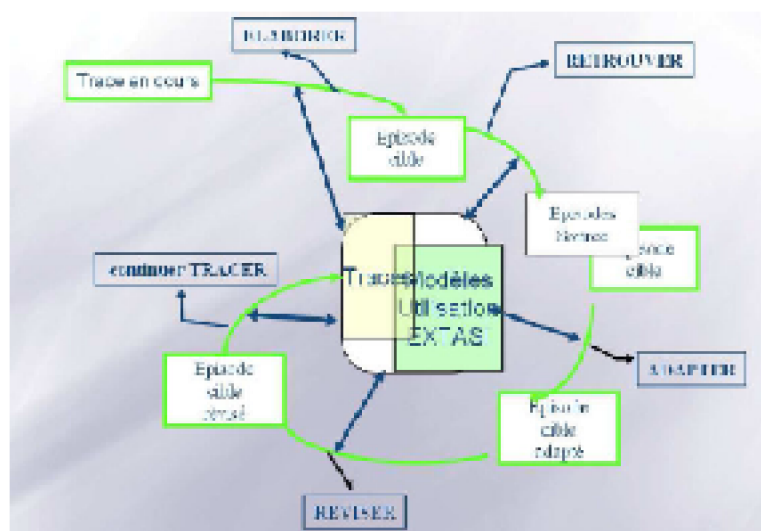
Dans ces conditions, le but de cette ingénierie des connaissances "en temps réel", n'est pas de construire dans le système une représentation du monde qui permette au système de raisonner de manière analogue à l'utilisateur. Le but est "seulement" de construire une représentation de l'interaction qui a eu lieu précédemment. Cette représentation de l'interaction est par nature séquentielle, et constitue une trace d'interaction. Dans les travaux de l'équipe SILEX, la trace d'interaction qui est présentée à l'utilisateur, est en général sa propre trace, mais il peut également s'agir de la trace d'autres utilisateurs enregistrée dans des contextes présentant certaines analogies.

L'hypothèse qui motive cette approche est que cette trace d'interaction passée, si elle est présentée à nouveau à l'utilisateur sous une forme appropriée, peut faciliter son activité courante. Cette hypothèse se justifie par le fait que l'utilisateur pourra interroger la trace qui lui est présentée, sous l'angle des similarités entre son contexte d'enregistrement et son contexte d'exploitation.

La modélisation et l'exploitation des traces dans un système à base de connaissances ont été théorisées par l'équipe SILEX sous la forme de ce qu'elle a appelé le "Raisonnement à Partir d'Expérience Tracée" (RàPET). Le RàPET peut être compris comme une extension du "Raisonnement à Partir de Cas" (RàPC). Le RàPC est une technique classique d'ingénierie des connaissances qui date des années 1980 . Son principe de base est de résoudre de nouveaux problèmes en adaptant des solutions qui ont permis de résoudre d'anciens problèmes similaires. Cette approche présente l'avantage de diminuer l'effort d'acquisition des connaissances, et de le répartir au cours de la vie du système. Il reste que le RàPC nécessite une modélisation a priori de l'espace des cas possibles, dans lequel chaque nouveau cas pourra ensuite être codé, et qui permettra l'implémentation d'une fonction de similarité.

L'approche du RàPET vise à relâcher cette contrainte de définition a priori des cas. Dans le RàPET l'activité est enregistrée comme un flux de données dans lequel il n'y a pas de découpage a priori de problèmes et de solutions. Par analogie avec le cycle du RàPC proposé par Mille, Mille propose le cycle du RàPET présenté Figure 43.

#### 4. Conception d'instruments informatiques pour l'analyse de traces d'activité



Un épisode cible est élaboré par l'utilisateur en s'appuyant sur la trace existante. Un épisode source est retrouvé dans la trace par similarité avec l'épisode cible. L'épisode source est adapté pour pouvoir apporter une assistance à la situation courante. Un épisode révisé est produit par l'activité effectivement menée et est enregistré dans la trace.

Figure 43 : Cycle du RàPET, (Mille 2005)

La trace est enregistrée par un agent "observateur" conformément à un "modèle d'utilisation". Le modèle d'utilisation est défini comme l'ensemble de ce qui est "objet d'intérêt" pour l'utilisateur. Il sert à décrire le point de vue de l'utilisateur sur l'outil qu'il utilise.

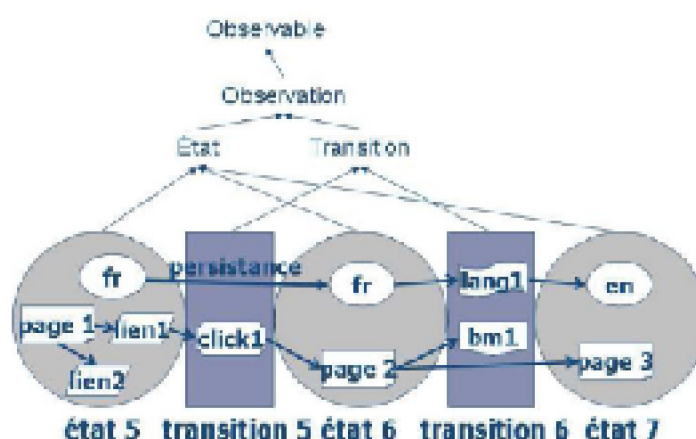
Champin, Prié & Mille, dans la théorie qu'ils ont nommée "Musette", ont proposé une ontologie de départ pour construire un modèle d'utilisation, que nous présentons à la Figure 44. Cette ontologie propose d'organiser les aspects de l'interaction perçus par l'opérateur en trois grandes catégories : les objets d'intérêt, les observations et les relations.



Dans l'ontologie Musette, les objets d'intérêt sont soit des événements : ce qui "survient" pendant l'interaction, soit des entités : ce qui "est présent" pendant l'interaction. Les observations sont des états perçus comme tels par l'opérateur, ou des transitions qui marquent des passages entre deux états. Enfin les relations sont des liens entre objets d'intérêt.

Figure 44 : Ontologie Musette, (Mille 2005)

Cette ontologie permet de modéliser la trace comme représenté en Figure 45.



Une trace Musette se présente comme une succession d'états (cercles) et de transitions (rectangles). Les états sont décrits par des entités, les transitions par des événements. Les relations entre objets d'intérêt permettent de représenter des liens entre eux.

Figure 45 : Trace Musette, (Mille 2005)

Le découpage en succession d'états et de transition des traces "Musette" ne signifie pas qu'on soit capable de modéliser l'activité comme un réseau de Pétri. Il signifie simplement qu'on s'astreint à identifier des situations perçues comme stables par l'utilisateur. Cela permet ensuite d'identifier des épisodes qui consistent à passer d'un état à un autre en passant par une succession d'états intermédiaires. Le principe du modèle Musette est de permettre de rechercher ces épisodes grâce à des "signatures de tâches". Ces signatures de tâches sont des moyens, pour l'utilisateur, de spécifier une recherche d'épisodes qui puissent l'intéresser. Elles peuvent être stockées et documentées, les auteurs parlent alors de "signatures de tâches expliquées", qui constituent finalement une forme de modélisation de l'activité.

Ce principe de modélisation de la trace sous forme de graphes conformes à une ontologie nous semble tout à fait adapté à notre travail. Toutefois, l'ontologie particulière proposée par Musette, qui comporte des états et des transitions, n'est pas forcément adaptée à la conduite automobile.

En effet, La modélisation de l'activité sous la forme de traces Musette a été pensée dans le but de fournir une assistance aux utilisateurs. Dans ce contexte, il était utile d'identifier des états afin de pouvoir décrire un état courant et un état visé. De plus, cette modélisation est issue de l'étude des activités d'utilisation de logiciels informatiques. Ces activités se prêtent sans doute mieux que l'activité de conduite automobile à une modélisation sous forme d'une succession d'états et transitions ; du fait qu'elle est souvent rythmée par des changements de fenêtres ou des actions de niveaux différents qui permettent d'identifier des transitions assez facilement. De plus les états du système sont facilement accessibles et traçables par l'agent traceur. En revanche, dans les données collectées à partir de la conduite automobile, il est difficile de reconnaître des états stables, car la situation de conduite est une situation très ouverte et évolutive, et également parce que seule une infime partie de l'environnement routier peut être tracé de manière automatique. De plus le conducteur automobile manipule plusieurs commandes en parallèle, avec les deux mains et les pieds ce qui peut correspondre à la réalisation de plusieurs tâches de manière asynchrone.

### 4.3.3. Modélisation des traces sous forme de graphes conformes à une ontologie

---

D'une manière très générale, un graphe se définit comme un ensemble d'éléments, appelés nœuds, dont certains couples sont reliés par des relations, appelées arcs. Le choix de modéliser la trace sous forme d'un graphe plutôt que sous forme d'un simple ensemble d'événements revient donc à décider si l'on choisit d'introduire cette notion de relation au niveau de la structure même des données telles qu'elles sont manipulées par le système informatique. Nous avons vu au paragraphe 4.2.2 qu'à notre connaissance, aucun outil d'analyse de trace d'activité n'avait fait ce choix. Dans ces outils, la structure informatique de la trace est toujours un tableau, contenant un événement par ligne et les propriétés des événements en colonnes.

En revanche, l'approche de modélisation de la trace issue de l'ingénierie des connaissances utilise naturellement cette forme. Cette représentation offre l'avantage que les relations entre concepts sont explicitement représentées dans les données par les arcs du graphe, et permettent de définir, dans le système, des traitements liés à ces relations. De plus, elle offre l'avantage que les données sont isomorphes à une représentation sous forme de nœuds et d'arcs "à l'écran", dans laquelle les relations sont rendues visibles pour l'utilisateur. Enfin, cette représentation est compatible avec les outils informatiques de manipulation des ontologies. Or nous avons vu que la prise en charge d'une ontologie était une attente importante pour faciliter la production de connaissances.

Par ailleurs, nous avons vu au paragraphe 3.4.2 que la possibilité de rendre explicite des relations entre événements était une des fonctionnalités attendues des systèmes d'ESDA. La possibilité de rattacher entre eux des niveaux d'abstraction différents est également une attente forte. Enfin, les outils de manipulation de graphe actuellement disponibles, permettent d'implémenter les différentes fonctions de transformation de Sanderson & Fisher que nous avons présentée.

Pour ces raisons nous avons fait le choix de modéliser nos traces d'activité sous forme d'un graphe explicable par une ontologie. Nous entendons par graphe explicable par une ontologie un graphe dont chaque nœud, ou chaque arc, peut être rattachés, ou non, à des concepts définis dans une ontologie. Ce rattachement, qui n'est pas obligatoire, offre la possibilité de profiter de la puissance inférentielle de l'ontologie. Cette modélisation est représentée à la Figure 46.

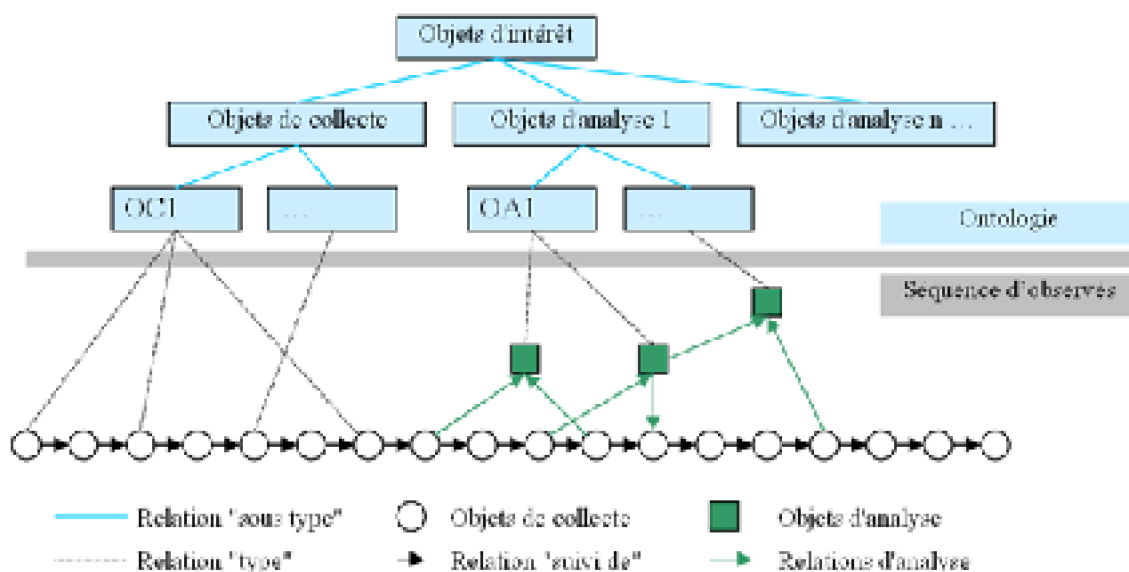


Figure 46 : Modélisation de la trace sous forme de graphe expliqué par une ontologie

Dans cette modélisation, la trace est un graphe qui se découpe en deux parties : une partie qui est la séquence d'observés et une partie qui est l'ontologie. Le terme "observé" désigne un événement élémentaire qui est enregistré dans la trace avec un time code. Les cercles représentent les observés qui sont produits par l'observation instrumentée de l'activité. En général cette instrumentation ne produit pas d'autres relations entre les observés collectés, que la relation de séquentialité : "suivi de" (au sens large, car des événements peuvent être synchrones). Mais d'autres relations peuvent être ajoutées pendant le processus d'analyse : les "relations d'analyse". Des "observés d'analyse" peuvent également être ajoutés dans la trace. Chaque observé a un type qui est défini dans l'ontologie. Le sommet de l'ontologie est constitué des types "objets de collecte" et de plusieurs types "objets d'analyse n". Ces derniers regroupent tous les types d'observés d'analyse créés pour une analyse donnée.

Cette racine de l'ontologie est plus générale que la racine de l'ontologie Musette. Elle n'interdit pas, pour une analyse donnée, de structurer les objets d'intérêt en une succession d'états et de transitions.

#### 4.3.4. Les systèmes à base de traces

En collaboration avec nos travaux, Settouti, Prié, Mille & Marty présentent la notion générale de "Système à Base de Traces" (SBT). Ils définissent un SBT comme "un système informatique permettant et facilitant l'exploitation des traces". Dans ce cadre, ces auteurs définissent une trace comme une séquence temporelle d'observés, toujours accompagnée de son "modèle de trace". Le modèle de trace est l'ontologie des concepts et relations types qui constituent le vocabulaire de la trace. C'est un terme général qui correspond au modèle d'utilisation que nous avons introduit au paragraphe 4.3.2 dans le cas des traces d'interaction. Le schéma d'architecture du SBT (Figure 47) met en relation ses différents composants.



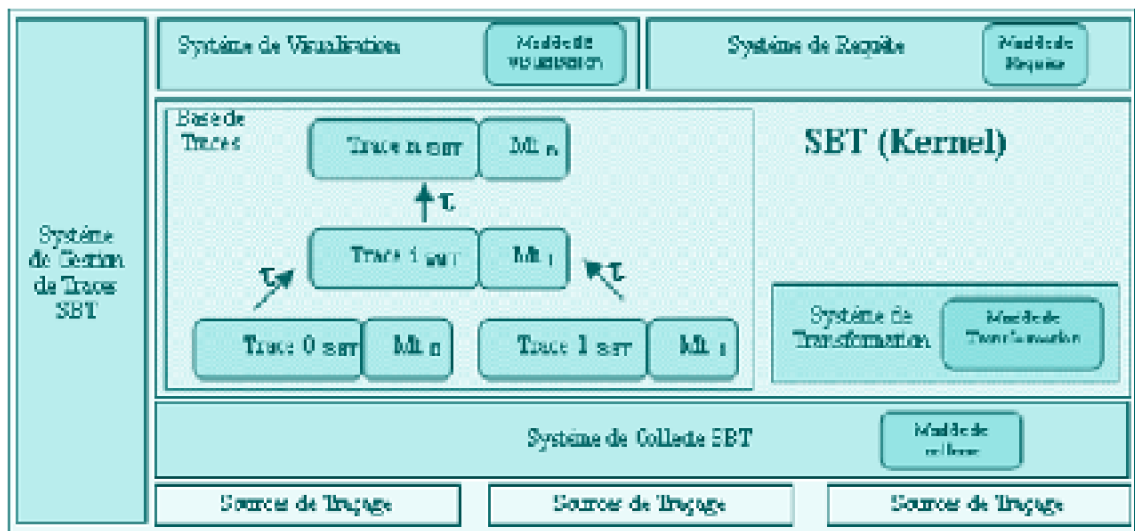


Figure 47 : Architecture d'un Système à Base de Traces

En bas de la figure sont représentées les "sources de traçage", qui sont des fichiers ou des flux de données dans des formats quelconques. Lorsque ce sont des fichiers, ils peuvent être conservés pour être réimportés ou consultés en relation avec les traces du SBT. Au dessus est représenté le "système de collecte" qui est un ensemble d'outils permettant de convertir ces données en traces modélisées. Le "SBT Kernel" est le noyau du système. Il est constitué d'un système de transformation et d'une base de traces. Le système de transformation gère les différentes transformations  $\tau$  qui peuvent être appliquées aux traces modélisées. Il permet ainsi de modifier les traces en les enrichissant ou en les filtrant, de modifier les modèles de trace, de mettre à jour la base de traces ou bien de faire des transformations automatiques en utilisant un modèle de transformation. Le modèle de transformation est un ensemble de règles formelles explicitées dans un certain langage.

Un système de visualisation permet à l'utilisateur de visualiser les traces selon différents modèles de visualisation. Un système de requête permet de rechercher des épisodes intéressants dans les traces. Les requêtes peuvent être produites à partir de modèles de requêtes.

#### 4.4. Les outils informatiques pour la construction d'un système à base de trace

Les chapitres précédents nous ont conduits à choisir de modéliser nos traces d'activité sous forme d'un graphe conforme à une ontologie. Ils ont également montré l'importance d'offrir aux ergonomes des outils permettant de manipuler ces traces. Cette manipulation passe, d'une part, par la possibilité de les visualiser et de les explorer de manière interactive, d'autre part, par la possibilité de les transformer par un processus d'analyse, et enfin, par la possibilité de rechercher des épisodes d'intérêt. Nous avons vu que ces

différentes fonctionnalités constituaient ce qu'on pouvait désigner comme un système à base de traces.

Il nous reste à rechercher des outils informatiques qui nous permettent de réaliser un tel système à base de traces. Il s'agit des outils disponibles dans la communauté du développement informatique qui puissent être utilisés dans le domaine de l'ingénierie des connaissances.

### 4.4.1. Le formalisme de graphe RDF

---

Le principal formalisme de manipulation des graphes pour lequel il existe des outils partagés par la communauté du développement informatique est RDF : Resource Description Framework. RDF est un standard développé par le W3C (World Wide Web Consortium), l'organisme de standardisation d'internet. Son objectif est de permettre de décrire de façon formelle les ressources Web, de façon à permettre leur traitement automatique. Cet objectif est globalement désigné sous le terme de "web sémantique". Son développement est soutenu par une large communauté de développeurs. Ce formalisme a déjà été retenu au LIRIS, pour l'implémentation d'une application Musette de réutilisation de l'expérience, au sein du logiciel de conception Catia . L'auteur souligne que le cadre du web sémantique duquel il est issu, place RDF à la croisée d'une vocation d'indexation documentaire et d'une vocation permettant des raisonnements logiques. A ce titre, RDF est un bon candidat pour nos systèmes à base de traces.

Un document structuré en RDF est un ensemble de triplets. Du point de vue qui nous intéresse pour la modélisation des graphes, un triplet RDF est une association (sujet, relation, objet). *Sujet* et *objet* sont deux nœuds du graphe, *relation* est un arc du graphe qui les relie. Ces trois types d'objets sont désignés par le terme général de *ressource*. Ainsi, l'exemple de trace générique que nous avons introduite au paragraphe 4.3.3 peut se modéliser en RDF comme indiqué sur la Figure 48.

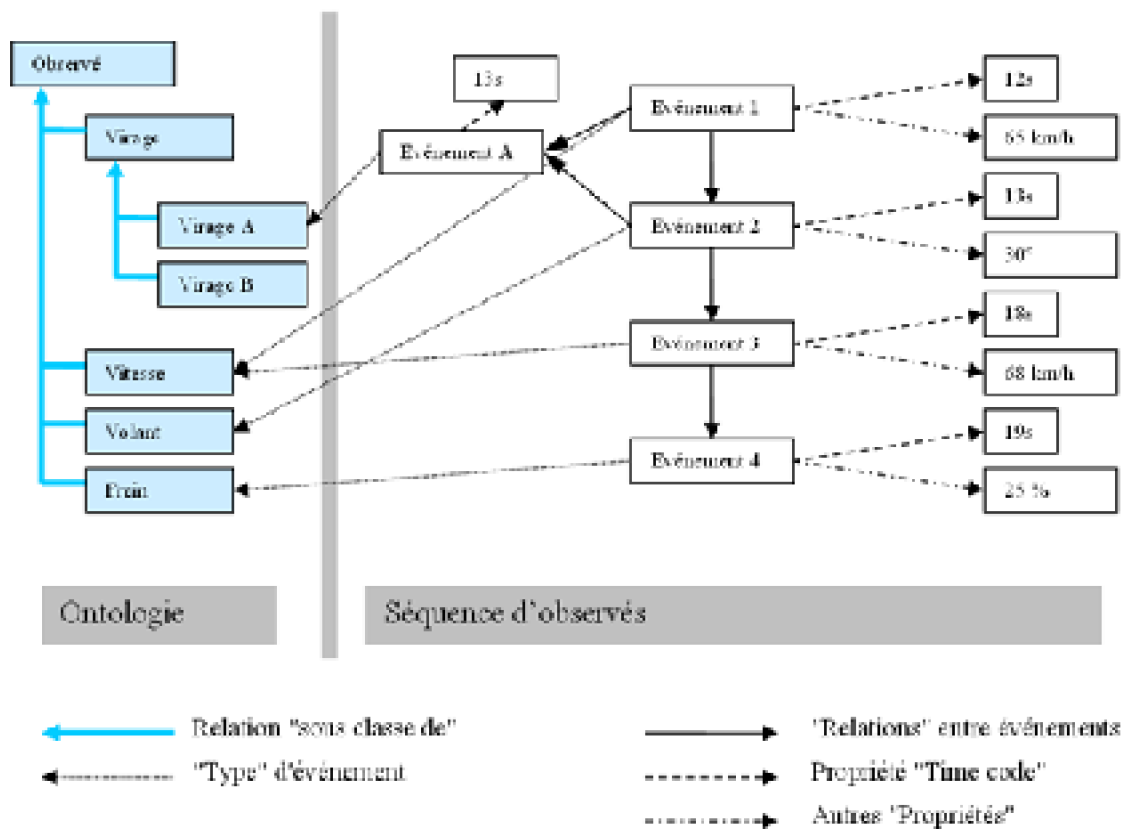


Figure 48 : Modélisation de trace sous forme de graphe RDF

Le document RDF contenant ce graphe est constitué des triplets suivants :

Pour la partie ontologie :

- (Virage, sous classe de, Observé)
- (Virage A, sous classe de, Virage)
- (Virage B, sous classe de, Virage)
- (Vitesse, sous classe de, Observé)
- etc...

Pour la partie trace :

- (Événement 1, Relation, Événement 2)
- (Événement 1, Relation, Événement A)

(Événement 2, Relation, Événement A)

(Événement 2, Relation, Événement 3)

etc...

(Événement 1, Time Code, 12)

(Événement 1, propriété, 65)

etc...

Pour les liens entre la trace et l'ontologie :

(Événement A, de type, Virage A)

(Événement 1, de type, Vitesse)

etc...

Dans un triplet, le *sujet* et la *relation* sont identifiés par une chaîne de caractères. En réalité cet identifiant doit être une URI (Uniform Resource Identifier), qui est une chaîne de caractères dont la syntaxe est définie par une norme du W3C. *Objet* peut être soit une URI, soit une valeur, comme dans l'exemple du time code d'une valeur de "12".

Plus généralement, dans le formalisme RDF, les triplets peuvent être vus comme des prédicats de la logique du premier ordre. A ce titre, ils permettent de calculer des inférences logiques.

### 4.4.2. Le langage de définition d'ontologie RDF-Schema

---

RDF-Schéma (RDFS) est un langage de représentation de connaissances basé sur RDF. Il fournit des éléments de base pour la définition d'ontologies, destinés à structurer des ressources RDF. C'est-à-dire qu'il propose une standardisation des relations couramment utilisées dans les ontologies. Dans RDFS, les concepts définis dans l'ontologie sont désignés sous le terme de *classes*. Ils peuvent être organisés en hiérarchies de *classe/sous classe*. Deux des relations standardisées par RDFS nous seront particulièrement utiles : `rdfs:subClassOf` et `rdf:type`.

`rdfs:subClassOf` est la relation de hiérarchie de classes. Ainsi l'ontologie de l'exemple précédent s'écrira en réalité :

(Virage, `rdfs:subClassOf`, Observé)

(Virage A, `rdfs:subClassOf`, Virage)

(Virage B, `rdfs:subClassOf`, Virage)

(Vitesse, `rdfs:subClassOf`, Observé)

etc...

`rdf:type` est la relation qui permet de spécifier qu'une ressource doit être considérée comme un élément d'une classe. Ainsi dans notre exemple on exprimera finalement que les événements de la trace sont rattachés à un type défini dans l'ontologie par les triplets :

(Événement A, `rdf:type`, Virage)

(Événement 1, rdf:type, Vitesse)

etc...

Le fait que ces relations soient standardisées dans RDFS signifie qu'elles sont prises en charge, de manière adaptée, par les outils de manipulation de graphes RDF, en particulier les éditeurs d'ontologie et les moteurs de requête. Cette prise en charge implémente la relation de subsomption. Cette relation permet d'organiser les classes en une hiérarchie qui correspond à la théorie des ensembles : la classe A subsume la classe B si l'ensemble B est inclus dans l'ensemble A. Une classe peut donc être vue par l'utilisateur comme un ensemble de ressources, une sous-classe, comme un sous-ensemble, et une ressource comme un élément.

Il existe d'autres langages de représentation de connaissances basés sur RDF : DAML+OIL et OWL. Ces langages offrent globalement une expressivité plus grande que le langage RDFS, mais au prix d'une plus grande complexité. Pour nous, l'expressivité de RDFS est suffisante pour l'instant. En effet, nous réalisons des inférences simples sur les classes et les instances, en gardant toujours la distinction entre ces deux notions. Les instances correspondent aux occurrences d'observés dans les traces et les classes correspondent à leur type. Si nous voulions implémenter plus tard des mécanismes d'inférence plus complexes, rien n'empêcherait d'évoluer vers ces langages.

### 4.4.3. L'éditeur d'ontologie PROTÉGÉ

---

L'université de Stanford partage gratuitement un éditeur d'ontologie nommé PROTÉGÉ<sup>2</sup>. Un éditeur d'ontologie est un logiciel permettant à un utilisateur de créer et de modifier une ontologie. Nous nous proposons de d'utiliser PROTÉGÉ comme éditeur d'ontologie parce qu'il est le plus abouti et le plus répandu des éditeurs d'ontologie en "open source" (utilisé par une communauté de plus de 76000 membres dans le monde). Son interface graphique permet à l'utilisateur de définir facilement des classes et de les organiser en hiérarchie classe/sous classe. Elle permet également de définir des propriétés associées aux classes.

<sup>2</sup> PROTÉGÉ : <http://protege.stanford.edu/>

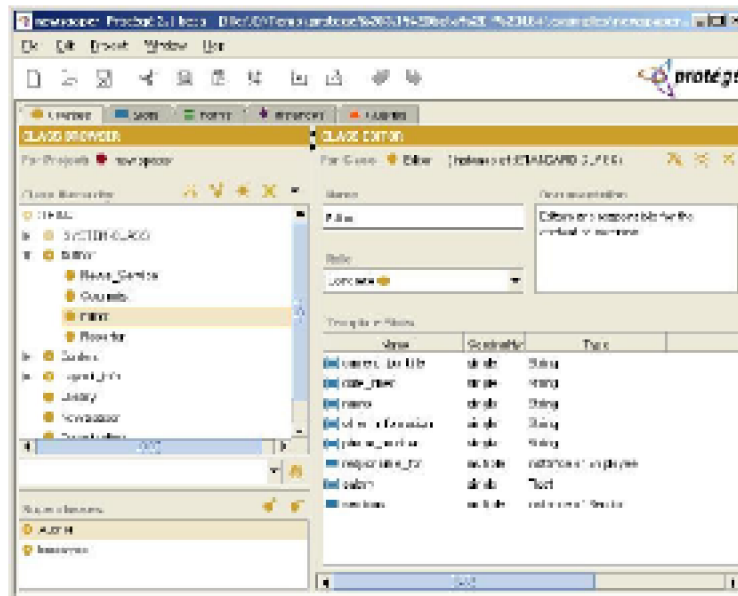


Figure 49 : L'éditeur d'ontologie PROTÉGÉ

Les ontologies créées par PROTÉGÉ peuvent être exportées sous forme de fichiers XML obéissants à différents formats dont le format RDFS.

### 4.4.4. La syntaxe RDF/XML

XML (eXtensible Markup Language) est une norme pour la représentation informatique de documents. Un document XML se présente comme un texte marqué par des "balises". Ces balises définissent une structure arborescente sur le texte. Mais XML offre de plus la possibilité de décrire les balises elles mêmes à l'aide d'une DTD (Document Type Definition). Chaque DTD définit donc le vocabulaire et la syntaxe d'un langage de description de document.

RDF en soi n'est pas un de ces langages XML, il peut être écrit en différentes syntaxes. L'usage de fichiers XML pour le stockage des données RDF est cependant une pratique répandue qui offre l'avantage d'une interopérabilité avec de nombreux outils. Par abus de langage, on désigne communément par RDF, à la fois le graphe des triplets et le document XML correspondant. Dans notre cas, les fichiers XML offrent également l'avantage de pouvoir être manipulés comme des fichiers texte à l'aide des outils de gestion de fichiers standards de la bureautique.

Ainsi une ontologie créée avec PROTÉGÉ et exportée au format RDFS prendra la forme d'un fichier XML répondant à la DTD RDFS. Concrètement, nous repérerons ce fichier par son extension ".rdfs".

Un fichier contenant une trace modélisée sous forme de graphe RDF sera un fichier XML répondant à la DTD RDF. Nous repérerons ce fichier par son extension ".rdf".

En pratique, nos traces seront donc constituées de deux fichiers XML : un fichier ".rdf" qui contient la séquence d'observés et un fichier ".rdfs" qui contient l'ontologie.

### 4.4.5. Le langage de requête SPARQL

---

SPARQL est le langage de requête développé par le W3C pour interroger les graphes RDF. Il est adapté à la structure spécifique de triplets qui les constituent. Il permet d'exprimer des requêtes interrogatives ou constructives :

- Une requête `SELECT`, de type interrogative, permet d'extraire du graphe RDF un sous-graphe correspondant à un ensemble de ressources vérifiant les conditions définies dans une clause `WHERE`.
- Une requête `CONSTRUCT`, de type constructive, engendre un nouveau graphe qui complète le graphe interrogé.

A partir de l'exemple précédent, nous pouvons peut donner un exemple de requête SPARQL qui rattacherait un nouvel événement de type "virage B" chaque fois qu'un événement de type "volant" est suivi d'un événement de type "vitesse" avec une valeur de vitesse supérieure à 50 km/h :

```
CONSTRUCT
  (?r1, relation, Nouvel événement)
  (?r2, relation, Nouvel événement)
  (Nouvel événement, rdf:type, Virage B)
WHERE
  (?r1, rdf:type, Volant)
  (?r2, rdf:type, Vitesse)
  (?r1, relation, ?r2)
  (?r2, propriété, ?v)
FILTER
  (?v > 50)
```

La clause `CONSTRUCT` spécifie les triplets qui doivent être ajoutés au graphe RDF partout où le sous-graphe défini dans la clause `WHERE` est rencontré.

Dans cette syntaxe, les termes `?r1` et `?r2` identifient des nœuds du graphe. Ainsi c'est le même nœud qui est identifié par `?r1` chaque fois que ce terme apparaît dans la requête. Le terme `?v` désigne une variable qui peut ensuite être testée dans la clause `FILTER`. Cette clause permet de ne garder que les sous-graphes qui répondent la condition du filtre. La Figure 50 montre, en vert, un sous-graphe qui répond à la clause `WHERE` et en rouge le sous-graphe ajouté dans la trace par la clause `CONSTRUCT`. A l'application de la requête, un nouveau sous-graphe sera ajouté à chaque sous-graphe qui répondra à la clause `WHERE`.

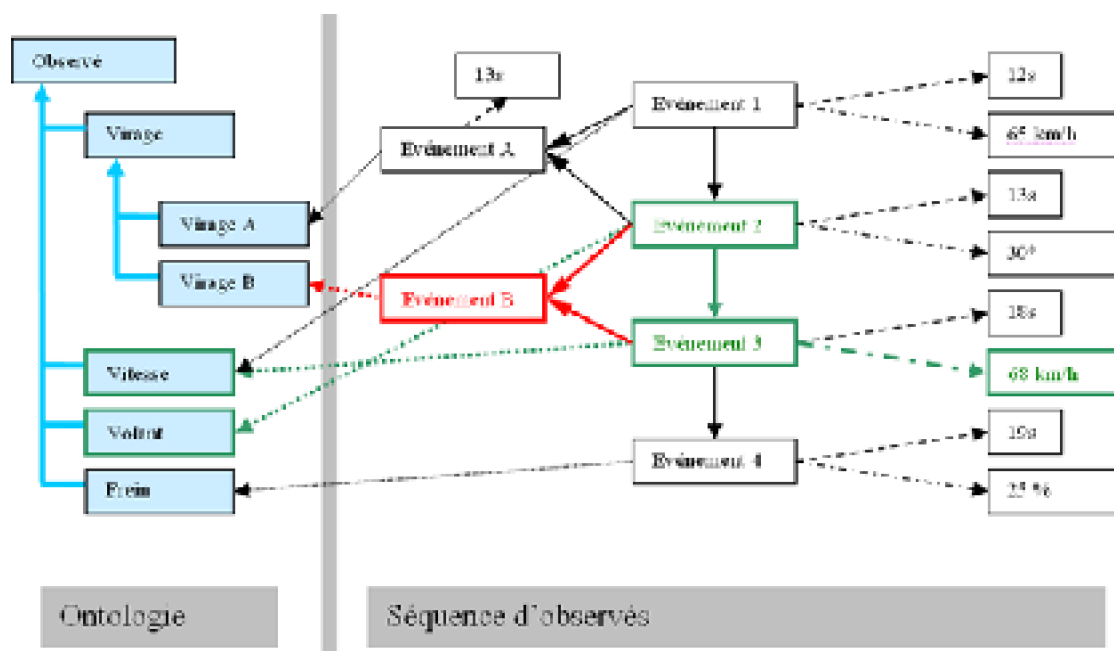


Figure 50 : Application d'une requête SPARQL CONSTRUCT

Le moteur de requête SPARQL est capable d'exploiter la sémantique du langage RDFS. Cela signifie par exemple qu'il est capable d'appliquer la transitivité de la relation `rdfs:subClassOf`. Ainsi une condition (Événement B, `rdf:type`, Virage) dans une clause WHERE sera évaluée "vraie", car on a dans le graphe : (Événement B, `rdf:type`, Virage B) et (Virage B, `rdfs:subClassOf`, Virage). Ainsi, en définissant l'ontologie, l'utilisateur s'engage sur les calculs formels qui pourront être effectués par le système. Ces contraintes donnent une valeur à l'ontologie produite.

Le moteur de requête offre également la possibilité de définir des règles spécifiques grâce à un module appelé le "raisonneur". Ainsi nous pourrions créer une sémantique formelle pour des relations dédiées à l'analyse des traces.

#### 4.4.6. Le format de visualisation graphique SVG

Nos objectifs d'interactivité nous conduisent à choisir un format de visualisation graphique vectoriel, car il permet de manipuler les formes individuellement. Parmi les formats vectoriels disponibles dans le domaine du développement libre, SVG (Scalable Vector Graphic) nous semble le plus adapté. En effet, ce format permet une très large gamme de rendus graphiques. Il gère quelques formes géométriques de base (rectangles, ellipses, etc.), mais aussi les courbes de Bézier et permettent ainsi d'obtenir n'importe quelle forme. Le remplissage des formes créées peut se faire à l'aide de dégradés (gradients) de couleurs, de motifs (pattern) qui sont des objets SVG quelconques. Ce format prend également en charge les fonctions de transparence. Il est donc tout à fait adapté pour répondre aux besoins de visualisation que nous avons exprimés au paragraphe 4.2.3.

Concrètement, SVG est un format de fichier basé sur XML. Ces fichiers peuvent être visualisés nativement dans certains navigateurs internet tels que Mozilla Firefox. Il existe également des classes java permettant de le visualiser dans des programmes java.



A notre connaissance, aucun outil de visualisation de trace n'a encore été développé pour des traces modélisées sous forme de graphe RDF. Les traces RDF ont la particularité d'être des graphes qu'on pourrait qualifier de "fortement orientés" dans la mesure où la relation principale reste la relation de séquentialité "suivi de" entre les événements. Il existe bien des outils permettant de produire des graphiques SVG à partir de graphes RDF tels que le plus répandu : GRAPHVIZ<sup>3</sup>, mais ils ne permettent pas d'exploiter pleinement la caractéristique de "forte orientation" de nos graphes et donnent donc un rendu de visualisation décevant.

En réalité, la caractéristique de "forte orientation" de nos graphes simplifie leur représentation graphique puisqu'elle réduit la variabilité de positionnement des nœuds. Ils seront globalement organisés autour d'un axe, vertical ou horizontal, qui représentera le cours du temps. Ainsi la transformation d'un graphe RDF en graphique SVG peut correspondre à une "feuille de style", un peu élaborée, dans laquelle seront spécifiés les rendus visuels des nœuds et des arcs du graphe. Ces fonctionnalités de "feuilles de style élaborées" pour les fichiers XML sont offertes par les transformations XSLT.

### 4.4.7. Les transformations XSLT

---

XSL (eXtensible Stylesheet Language) est le langage de description de feuilles de style associé à XML. C'est une spécification du W3C. Une feuille de style XSL est un fichier qui décrit comment doivent être présentés (c'est-à-dire affichés ou imprimés ou vocalisés, etc.) les documents XML. Une transformation XSLT est un mécanisme de transformation d'un document XML vers une autre structure qui est spécifiée par une feuille de style XSL. Les transformations XSLT sont, de fait, utilisées à de nombreuses fins autres que la mise en forme de documents. Elles jouent sans doute un rôle important dans l'utilisation de XML en offrant un moyen de transformer un document XML conforme à une certaine DTD en un autre document conforme à une autre DTD.

Ainsi, les transformations XSLT nous offrent un moyen pour produire des représentations graphiques de nos traces au format SVG à partir de leur structure RDF et de leur modèle RDFS. Nous pourrions créer des transformations XSLT qui utilisent des paramètres définis par l'utilisateur dans l'ontologie RDFS pour produire un rendu visuel des traces. De cette façon, les ontologies des traces n'auront pas seulement une implication sémantique mais également une implication dans le rendu visuel des traces.

## 4.5. Conclusion : problématique en ingénierie des connaissances

Cet état de l'art nous apporte des pistes pour mettre en place un dispositif d'analyse des traces d'activités qui réponde à nos attentes formulées au paragraphe 3. Il montre qu'il ne

---

<sup>3</sup> GRAPHVIZ : <http://www.graphviz.org/>

s'agit pas seulement d'une problématique de réalisation d'un système informatique mais aussi d'une problématique de conception de son usage. En effet, ce n'est pas le système par lui-même qui découvrira des connaissances, mais ces connaissances seront découvertes par un ergonome en interaction avec le système. Il s'agit donc bien d'une problématique en ingénierie des connaissances et pas seulement en informatique. De plus, il s'agit bien d'une démarche de recherche puisqu'il s'agit de découvrir des nouvelles façons de mettre en œuvre une ingénierie des connaissances pour répondre à ces nouveaux objectifs. Nous pouvons résumer ce double objectif de réalisation d'un système et de définition de son usage par l'expression englobante de "mise au point". Cela nous permet d'exprimer notre problématique en ingénierie des connaissances ainsi :

Mettre au point un système de découverte de connaissances à partir de traces d'activité
---

Cette mise au point implique la prise en compte de l'utilisateur du système qu'est l'ergonome. Nous rejoignons donc ici une problématique en psychologie cognitive qui est de savoir comment un être humain peut construire des connaissances. Nous insistons sur la nécessité de "garder l'homme dans la boucle" du processus d'exploitation des traces. L'expertise de l'ergonome est indispensable pour orienter les éventuels calculs mathématiques et statistiques qui peuvent être faits. Notre objet n'est pas de proposer de nouvelles méthodes statistiques d'analyse de données, mais de nous centrer sur la façon dont de telles méthodes peuvent être utilisées au sein d'un système de découverte de connaissances.

Notre état de l'art nous a conduits à définir la notion de trace sous l'angle de son formalisme informatique : un graphe expliqué par une ontologie. Il nous amène à implémenter une gestion de niveaux successifs d'abstraction qui permette à l'ergonome de transformer progressivement cette trace. L'ergonome doit pouvoir, à chaque niveau d'abstraction, s'assurer du fait que la trace répond à ses attentes, en termes de pouvoir explicatif. De cette façon, il pourra atteindre un niveau d'abstraction qui correspondra au niveau qui l'intéresse, dans notre cas le niveau des schémas tactiques de conduite. Enfin notre recherche d'outils informatiques disponibles nous oriente sur les choix techniques : choix du logiciel PROTÉGÉ comme éditeur d'ontologie, choix de RDF pour la formalisation des traces, SPARQL et XSLT pour leur transformation, SVG pour leur visualisation.

## 5. L'atelier ABSTRACT

Ce chapitre présente notre réalisation en informatique, qui constitue un atelier logiciel de modélisation de l'activité à partir de traces. Nous l'avons nommé ABSTRACT pour "Analysis of Behavior and Situation for menTal Representation Assessment and Cognitive acTivity modeling".

Nous avons présenté au chapitre 3 les attentes en ergonomie cognitive auxquelles il vise à répondre. Au chapitre 4 nous avons présenté le contexte théorique et pratique en informatique dans lequel il se situe, et nous avons formulé des questions de recherche en informatique. Ces questions de recherche impliquent d'une part la conception d'un outil et d'autre part son usage par son utilisateur. Ce chapitre vise à répondre au premier aspect, en présentant la conception d'un outil innovant. Cet outil a été conçu de manière générique pour permettre l'analyse de toute activité, et pas spécifiquement l'activité de conduite automobile. Nous le présentons maintenant d'un point de vue général. Ce sera l'objet du chapitre 6 que de présenter son utilisation pour la modélisation du conducteur automobile.

Nous commencerons par présenter son architecture en donnant une vue d'ensemble des différents modules qui le constituent. Nous présenterons les flux de données qui sont échangés entre ces modules pendant l'utilisation du système. Ensuite nous présenterons les deux interfaces utilisateur : l'interface graphique, et l'interface que nous qualifions de "bureautique".

L'interface graphique permet la manipulation visuelle et interactive des traces, c'est cette interface qui est utilisée pour le travail d'analyse exploratoire des traces. Nous la

désignons sous le terme d'AbstractXML.

L'interface "bureautique" consiste à s'appuyer sur les outils standards du système de bureautique Windows pour offrir des possibilités d'automatisation des traitements, configurables par l'ergonome. Ces possibilités d'automatisation s'avèrent indispensables pour étendre les analyses sur l'ensemble des sujets d'une expérimentation.

Finalement nous présentons comment nous pouvons capitaliser, dans le système, l'expertise de l'ergonome qui travaille sur les traces. Cette capitalisation se fait sous forme de requêtes SPARQL associées aux symboles qui apparaissent dans les traces, et sous forme d'une identification de motifs typiques qui interviennent dans les transformations de traces.

## 5.1. L'architecture logicielle

L'architecture générale d'ABSTRACT est donnée par la Figure 51.

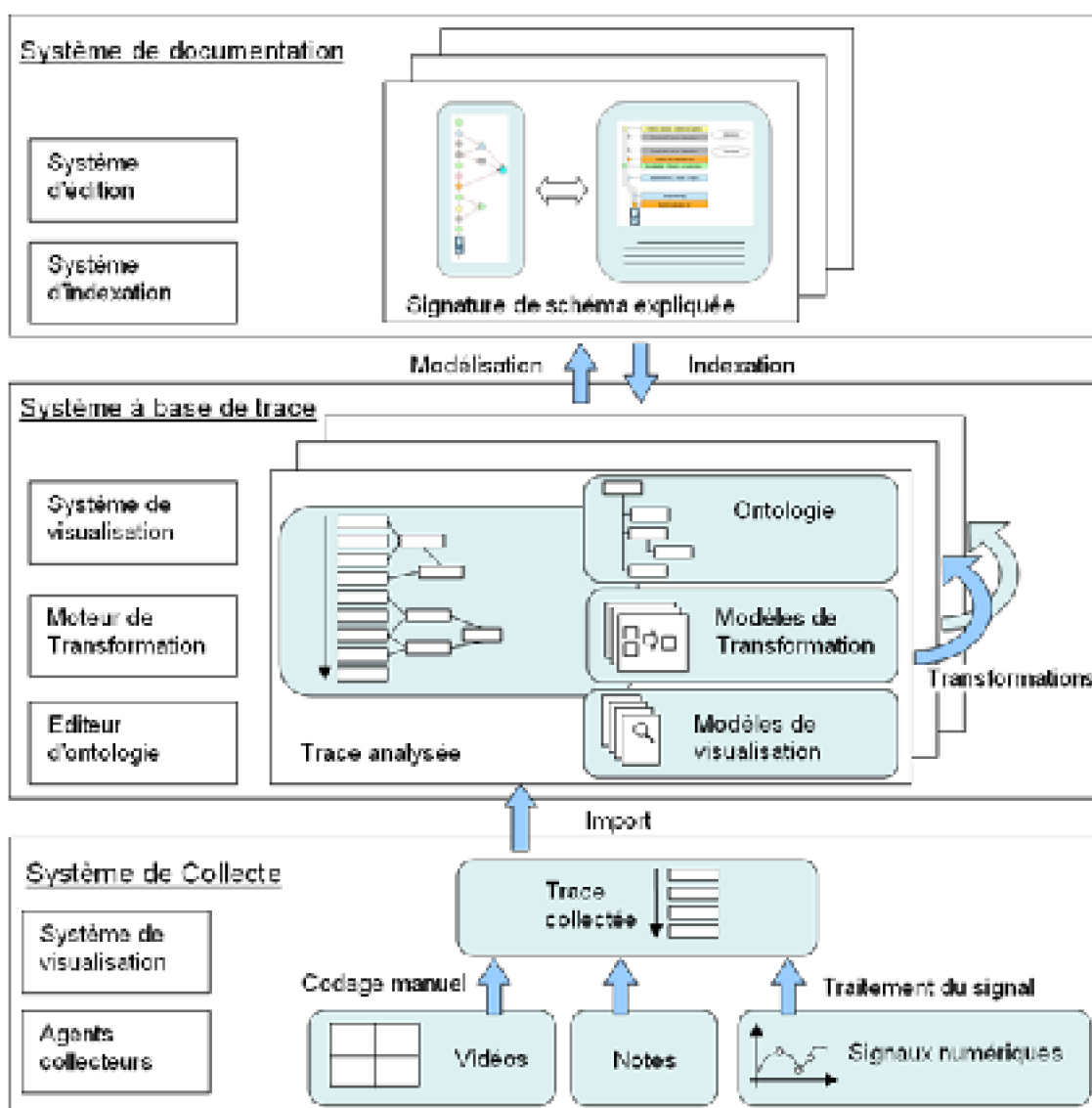


Figure 51 : Architecture générale d'ABSTRACT

Cette architecture se découpe en trois systèmes principaux, de bas en haut : le système de collecte, le système à base de traces, et le système de documentation. Le système de collecte vise à produire des traces qui puissent être importées dans le système à base de traces. Le système à base de traces est c'est le cœur d'ABSTRACT, c'est l'atelier de modélisation des traces proprement dit. Le système de documentation offre à l'utilisateur un environnement d'édition de texte, propice à son travail de compréhension des traces et de théorisation, en permettant une indexation des épisodes d'intérêt dans les traces.

### 5.1.1. Le système de collecte

Le but du système de collecte est d'identifier des "points d'intérêt" dans le flux de données collectées. C'est la séquence de ces points d'intérêt qui forment une "trace collectée". Par le terme "points d'intérêt", nous entendons des points jugés intéressants par l'ergonome. Il

ne s'agit pas de faire tourner des algorithmes statistiques "en aveugle" pour produire ces points, mais il s'agit de permettre à l'ergonome de regarder les données afin d'identifier les points qui l'intéressent par rapport à son projet de modélisation. A ces points, sont associées des "propriétés d'intérêt", qui sont les propriétés jugées utiles par l'ergonome pour comprendre l'activité. Une fois que ces points et leurs propriétés sont précisément spécifiés, il s'agit de mettre en place un moyen de les extraire de façon automatique ou manuelle.

Du point de vue d'ABSTRACT, tous les outils qui permettent d'atteindre ce but font partie du niveau du "système de collecte" :

- Outil de prétraitement des données numériques (filtrage, sélection, traitement du signal).
- Outil de visualisation des données numériques.
- Outil de discrétisation des données numériques.
- Outil de prétraitement des données textuelles (sélection, encodage).
- Outil de visualisation des données textuelles.
- Outil de dépouillement (encodage manuel) des données vidéo ou audio.
- Outil de collecte manuelle des données, prise de notes, pendant l'activité ou pendant des interviews.
- Outil de fusion des différentes sources de données pour produire la "trace collectée".
- Outil de visualisation de la trace collectée dans un but de validation ou de réfutation.

Ces différents outils sont très spécifiques aux différentes sources de collecte et aux propriétés des données collectées. Ils nécessitent, en pratique, de programmer des traitements adaptés à chaque cas. Certains sont des outils indépendants d'ABSTRACT.

Nous présentons ici les deux outils qui sont spécifiquement liés à ABSTRACT : l'outil de discrétisation des données numériques et l'outil de la validation de la trace collectée. Nous les avons développés ou adaptés à nos besoins grâce à l'environnement de calcul scientifique Matlab. Les techniques plus spécifiquement dédiées au cas de la conduite automobile sont décrites au chapitre 6.

### **5.1.1.1. L'outil de discrétisation des données numériques**

La recherche de points d'intérêt dans des courbes représentant des données analogiques est un problème très classique en mathématique analytique. C'est pourquoi nous sommes en mesure de proposer une relative standardisation de cet outil de collecte. Ces points "remarquables" des courbes sont présentés à la Figure 52.

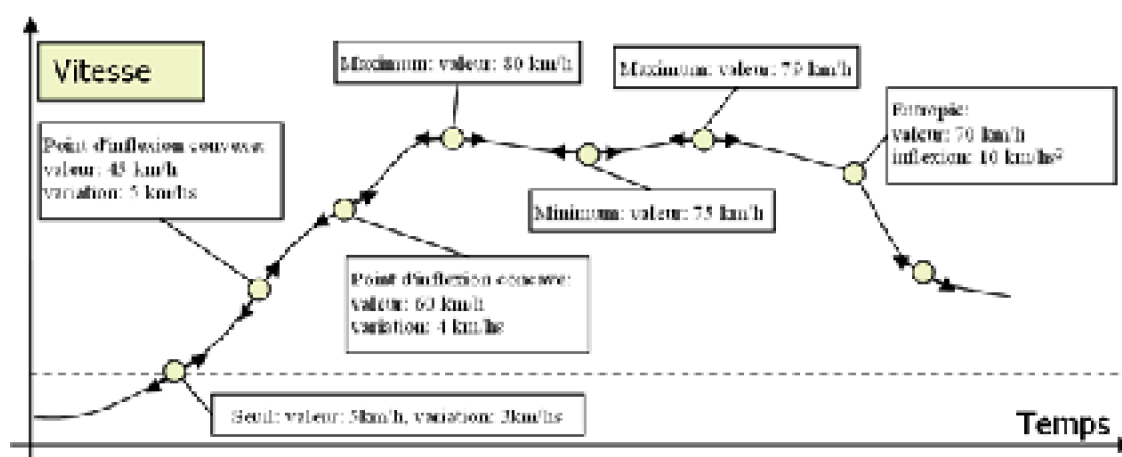


Figure 52 : Points d'intérêt avec leurs propriétés d'intérêt.

Ces points sont classiquement :

- Les franchissements de seuils.
- Les extremums locaux (minimums et maximums).
- Les points d'inflexion.

Les extremums locaux correspondent aux zéros de la dérivée première. Cela correspond au moment où la pente de la courbe change de sens. Pour un maximum : avant ce point la courbe montait, après ce point elle descend et inversement pour un minimum.

Les points d'inflexion correspondent aux zéros de la dérivée seconde. Cela correspond à des maximums ou des minimums de variation de la courbe. Par exemple pour un point d'inflexion convexe ascendant : la courbe monte plus vite avant ce point et moins vite après ce point.

Nous nous sommes également intéressés aux zéros de la dérivée troisième qui correspondent à des maximums ou des minimums d'inflexion. Ces points sont parfois cités comme des indicateurs de charge mentale au motif qu'ils indiquent des corrections brusques effectuées par l'opérateur. Boer propose un indicateur de charge mentale qu'il nomme "entropie comportementale". Il choisit le terme "entropie" pour désigner une imprédictibilité du comportement. La fonction de prédictibilité qu'il utilise est une extrapolation par un polynôme de degré 2 (parabole) à partir des trois derniers points de mesure. Les points d'entropie de Boer correspondent donc à des maximums de la dérivée seconde, c'est pourquoi nous avons choisi de les inclure dans nos traces et de les désigner comme lui par le terme points d'entropie. Ils peuvent être vus comme des "chocs" sur la courbe, c'est-à-dire des moments où la variation de la courbe est très brusque.

Notre outil de discrétisation des données analogiques accepte en entrée des paramètres propres à chaque variable :

- Les paramètres appropriés de filtrage de la courbe (prétraitement).
- Les valeurs de seuil significatives.

- Le seuil d'inflexion minimum des points d'entropie.

Cet outil génère tous ces points d'intérêt et leurs propriétés associées, représentés à la Figure 52 : la valeur de la variable en ces points, la valeur de sa variation (dérivée), et la valeur du "choc" pour les points d'entropie (dérivée seconde). Ensuite, nous appliquons une sélection pour ne garder que les types de points réellement jugés utiles selon les variables. Ces différentes sources sont ensuite fusionnées pour produire la trace collectée représentée sur la Figure 53.

Sur cette figure, la ligne du bas représente la trace collectée. Les cercles de différentes couleurs représentent les événements en provenance de différentes sources. Leurs propriétés d'intérêt sont enregistrées dans la trace.

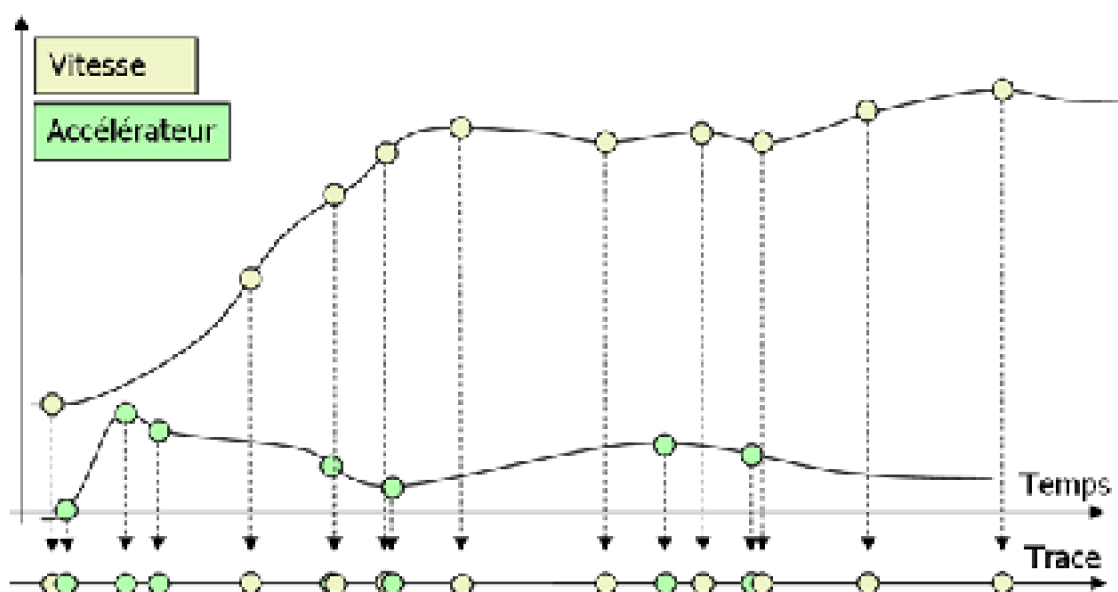


Figure 53 : Fusion des différentes sources dans la trace collectée

L'outil de discrétisation génère un fichier de type tableur, avec un événement par ligne et les propriétés en colonnes. Nous avons utilisé, pour ce fichier, le format CSV (Comma Separated Values), dans lequel les valeurs sont enregistrées au format texte, séparées par des virgules. C'est le standard de base pour enregistrer les données de type tableur. Ces fichiers peuvent être ouverts et visualisés avec Excel.

L'avantage de cette méthode d'extraction de points d'intérêt est sa simplicité et le fait qu'elle soit facilement comprise par des ergonomes ayant une culture mathématique standard. Il serait également intéressant d'appliquer des méthodes plus élaborées par exemple des méthodes basées sur des algorithmes markoviens telles que celles présentées au paragraphe 2.4.4.

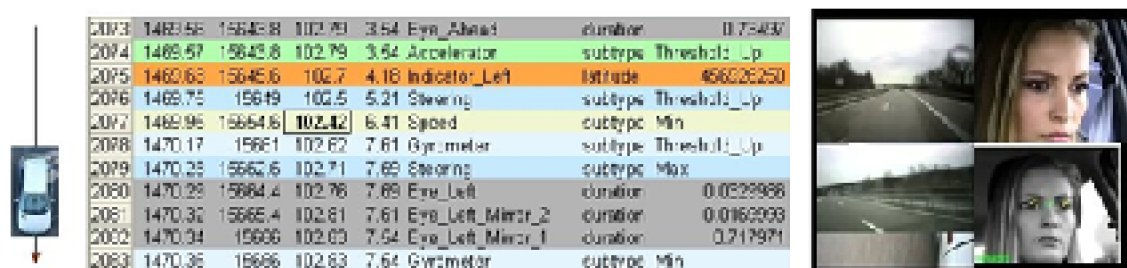
### 5.1.1.2. L'outil de validation de la trace collectée

En pratique, le choix précis des paramètres intervenant dans la production de la trace collectée se base sur le savoir-faire des équipes travaillant sur la collecte des données. Ces paramètres sont d'un niveau de détail qui n'est généralement pas abordé dans la littérature scientifique, et qui, de plus, est souvent propre aux instruments de mesure



spécifiques utilisés. Leur pertinence pour un projet de modélisation particulier n'est pas démontrable dans l'absolu mais doit être validé par l'usage. Les principes évolutionnistes et pragmatiques que nous avons énoncés au paragraphe 1.2 se traduisent ici par leur application concrète. Le procédé de validation doit permettre à l'ergonome de s'assurer que les points d'intérêt générés lui permettent de comprendre au mieux les aspects de l'activité qui l'intéressent, et d'écartier ceux qui s'avèrent non significatifs.

Pour cela, nous avons développé un outil de visualisation de la trace collectée. A ce stade, la trace est une succession purement linéaire d'événements très rapprochés et d'origines très diverses. Nous avons opté pour une visualisation sous forme de tableau, avec un événement par ligne et leurs propriétés en colonne. Pour cela, Excel offre de nombreuses fonctionnalités adéquates, notamment les filtrages élaborés, et les zooms. Pour faciliter la lecture, nous avons développé des programmes VBA (Visual Basic Application pour Excel) pour colorier automatiquement les événements en fonction de leur source de collecte (Figure 54). L'affectation des différentes colonnes est paramétrable, sauf la colonne 1 qui est réservée au Time Code exprimé en secondes. Nous développons plus précisément la façon dont nous avons codé nos traces de conduite automobile au chapitre 6. Leur format exact est donné au paragraphe 6.2.1.3, Figure 72.



2073	1469.56	15642.8	102.79	3.54	Eye_Ahead	duration	0.75437
2074	1469.57	15642.8	102.79	3.64	Accelerator	subtype Threshold_Up	
2075	1469.63	15645.6	102.7	4.18	Indicator_Left	latitude	456026250
2076	1469.75	15649	102.5	5.21	Steering	subtype Threshold_Up	
2077	1469.96	15654.6	102.42	6.41	Speed	subtype Min	
2078	1470.17	15661	102.62	7.61	Gyrometer	subtype Threshold_Up	
2079	1470.28	15662.6	102.71	7.69	Steering	subtype Max	
2080	1470.28	15664.4	102.76	7.69	Eye_Left	duration	0.0229868
2081	1470.32	15665.4	102.81	7.61	Eye_Left_Mirror_2	duration	0.0162098
2082	1470.34	15666	102.83	7.64	Eye_Left_Mirror_1	duration	0.217971
2083	1470.36	15666	102.83	7.64	Gyrometer	subtype Min	

Figure 54 : Contrôle de la trace collectée sous Excel.

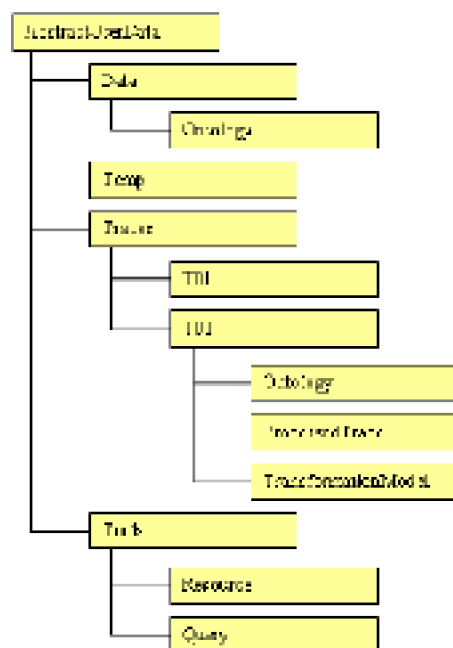
De plus, nous avons mis en place un mécanisme permettant de visualiser la vidéo en synchronisation avec la trace. Lorsque la vidéo est jouée, la trace est automatiquement déroulée ("scrollée") dans Excel, de telle sorte que la ligne courante corresponde toujours à l'instant présent à la vidéo.

Cet outil de validation nous permet de mener progressivement cette étape délicate mais primordiale de construction de la trace collectée. La trace collectée obtenue est produite dans le but d'une analyse donnée. Il est donc probable qu'elle ne puisse pas être réutilisée telle quelle pour une autre analyse. Mais elle est malgré tout contrainte par la réalité observée. Il est donc probable qu'elle ne soit pas entièrement à refaire à chaque analyse. Ainsi, ce travail n'est pas réalisé une fois pour toutes mais il n'est pas non plus perdu d'une fois sur l'autre. Il est progressivement capitalisé.

### 5.1.2. Le système à base de traces

Le niveau du "Système à Base de Traces" (SBT) constitue l'atelier de manipulation des traces proprement dit. A ce niveau, les traces sont modélisées sous forme de graphes RDF conformes à une ontologie RDFS comme nous l'avons présenté au paragraphe 4.3.3. Ces traces sont stockées sous formes de fichiers XML. Le stockage des traces

repose donc sur le système de gestion de fichier de Windows. Ce stockage est organisé selon l'arborescence de dossiers représentée à la Figure 55.



Une trace est gérée comme un sous répertoire du répertoire Traces. Elle regroupe différentes versions issues de différentes transformations dans le sous répertoire ProcessedTrace. Les règles de transformations ayant produites ces différentes versions sont dans le sous répertoire TransformationModel. La trace peut se référer à son ontologie spécifique dans le sous répertoire ontology, ou à une ontologie commune dans le répertoire Data/Ontology.

Les différents scripts permettant de les manipuler en mode bureautique sont dans le répertoire tool. Ils exploitent des programmes qui sont dans le sous répertoire Resource et des requêtes qui sont dans le sous répertoire Query.

Figure 55 : Arborescence de dossiers d'ABSTRACT

Dans notre système à base de traces, une trace doit être comprise comme une trace "en cours de modélisation par l'ergonome". A ce titre, une trace peut regrouper différentes versions "exploratoires" qui sont produites au cours du processus de modélisation. Ces différentes versions exploratoire sont des variantes de la séquence d'observés initiale, qui reposent sur la même ontologie qu'elle, et qui sont produites par l'application des transformations SPARQL. Concrètement, chaque variante de séquence d'observés est enregistré dans un fichier RDF particulier. Ces différents fichiers RDF sont stockés dans le sous répertoire "ProcessedTrace" de la trace.

Le système à base de trace est constitué de l'ensemble des outils qui exploitent cette architecture de fichiers :

- Outil d'import des traces.
- Outil de transformation de traces.
- Outil de visualisation de traces.
- Outil d'édition d'ontologie.
- Outil d'export de traces.

Nous présentons ces outils maintenant.

### 5.1.2.1. L'outil d'import de la trace collectée

L'outil d'import de la trace collectée permet de convertir la trace collectée produite par le système de collecte, en trace collectée manipulable par le système à base de trace. Afin

de distinguer ces deux traces nous les désignons par les termes "trace collectée CSV" et "trace collectée RDF" qui correspondent à leurs formats de stockage et de modélisation respectifs.

Dans le SBT, la trace collectée RDF est constituée à la fois des données et de l'ontologie. L'utilisateur doit obligatoirement renseigner l'ontologie avant d'importer la trace collectée. C'est-à-dire que chaque point d'intérêt présent dans la trace collectée CSV doit avoir un type défini dans l'ontologie avant l'import. La correspondance entre le libellé du point d'intérêt et son type est paramétrée dans l'ontologie. Une fois importés, nous désignons les points d'intérêt de la trace collectée par le terme plus général de "observé". Concrètement, un observé est un symbole qui apparaît dans la trace.

L'import se fait par un outil importateur qui exploite une feuille de transformation XSL et l'ontologie RDFS (Figure 56). L'outil importateur vient lire des paramètres de correspondance entre les libellés utilisés dans la trace collectée CSV et les libellés définis dans l'ontologie. Les noms des observés peuvent donc être définis et modifiés dans l'ontologie sans avoir à modifier les programmes de production de la trace collectée. Cela concrétise le fait qu'on puisse voir différemment ces observés selon le point de vue d'analyse dans lequel on se place.

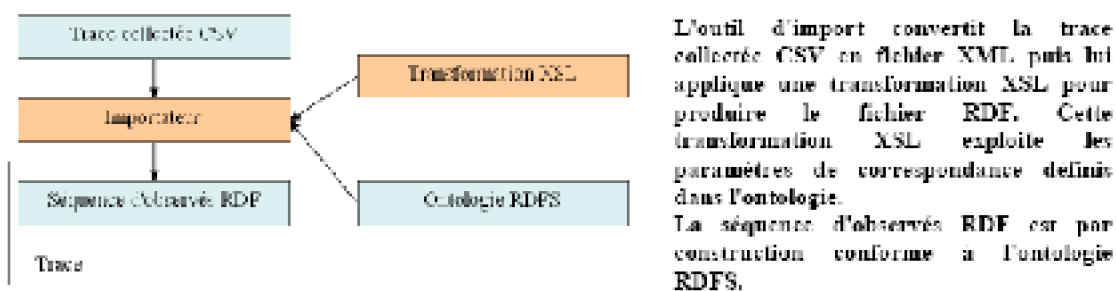


Figure 56 : Import de la trace collectée

Par ailleurs des filtres peuvent être définis dans la transformation XSL. Ces filtres permettent de ne prendre que les points d'intérêt utiles pour une analyse donnée.

### 5.1.2.2. L'outil de transformation

L'outil de transformation permet de produire différentes variantes de séquences d'observés, par transformations successives de la séquence d'observés initiale de la trace. Nous désignons ces variantes de séquences d'observés par le terme de "séquences transformées".

Cet outil permet donc de produire une séquence transformée (n+1) à partir d'une séquence transformée (n) en lui appliquant une transformation SPARQL CONSTRUCT comme nous l'avons décrit au paragraphe 4.4.5. Ce mécanisme de transformation est représenté à la Figure 57.

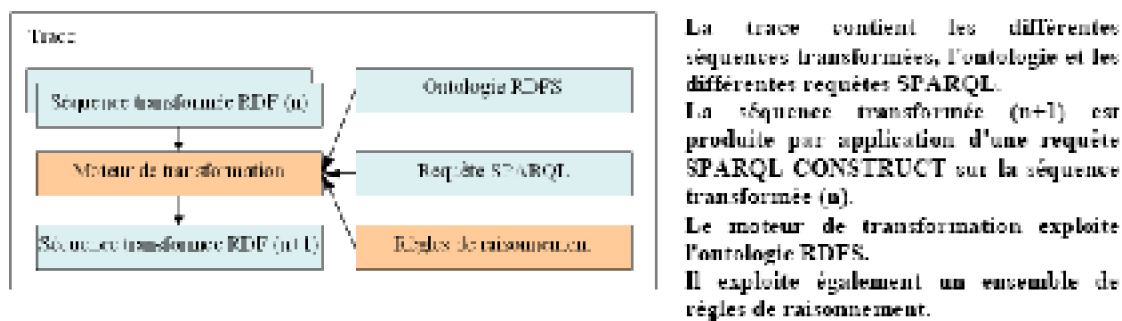


Figure 57 : Transformation de trace

Le moteur de transformation est capable de mettre en œuvre des règles sémantiques associées aux observés. Pour cela, il se réfère à la fois à l'ontologie et à un ensemble de règles de raisonnement configurables. La configuration de ces règles permet de définir une sémantique particulière propre aux traces qui peut ensuite être exploitée par la requête SPARQL. Nous expliquerons ce mécanisme au paragraphe 5.4.1.1.

Le processus de transformation ne supprime jamais d'observés dans la trace mais ne fait qu'en ajouter. Les observés devenus inutiles peuvent être masqués au moment de la visualisation. Toutes les séquences transformées d'une trace sont basées sur la même ontologie. Quand des observés d'un type nouveau sont ajoutés dans une nouvelle séquence transformée, ce type doit simplement être défini parallèlement, par l'ergonome, dans l'ontologie.

Transformer une trace consiste donc pour l'ergonome à :

- Définir une requête SPARQL.
- Définir les types des nouveaux observés dans l'ontologie.
- Sélectionner une séquence transformée existante sur laquelle appliquer la transformation SPARQL.
- Appliquer la transformation SPARQL.

Ce travail peut être fait, soit en utilisant l'interface graphique AbstractXML, soit par l'utilisation "bureautique" d'ABSTRACT.

Techniquement, ces deux interfaces accèdent au même programme d'exécution des requêtes SPARQL. Ce programme a été réalisé en java principalement par Jean-Marc Trémeaux lors de son stage effectué à l'Inrets sous notre encadrement (stage de Master 1 en informatique rattaché au laboratoire Liris). Le programme est décrit sur un plan technique dans son rapport de stage. Il exploite le moteur SPARQL en java nommé "ARQ" qui fait partie du package java "JENA"<sup>4</sup>.

### 5.1.2.3. Le système de visualisation

Le système de visualisation produit un graphique SVG à partir d'une séquence transformée RDF. Nous présentons ici la solution que nous avons retenue après différents

<sup>4</sup> JENA : <http://jena.sourceforge.net>

essais. Elle ne constitue qu'une des solutions possibles. Nous avons également tenté d'utiliser l'outil GRAPHVIZ qui permet de produire des graphiques SVG à partir de fichiers RDF de manière paramétrable, mais il n'offrait pas la souplesse suffisante pour s'adapter à nos traces. Le mécanisme que nous avons retenu est basé sur des transformations XSL. La Figure 58 en présente le schéma de principe : une séquence transformée est transformée en fichier SVG par une transformation basée sur une feuille de style XSL. Cette transformation accède également à l'ontologie pour lire les paramètres de visualisation que l'ergonome peut associer aux types d'observés : leur forme, leur position en ordonnée, etc. Le fichier SVG est ensuite visualisé avec le navigateur Mozilla Firefox dans le cadre d'AbstractXML.

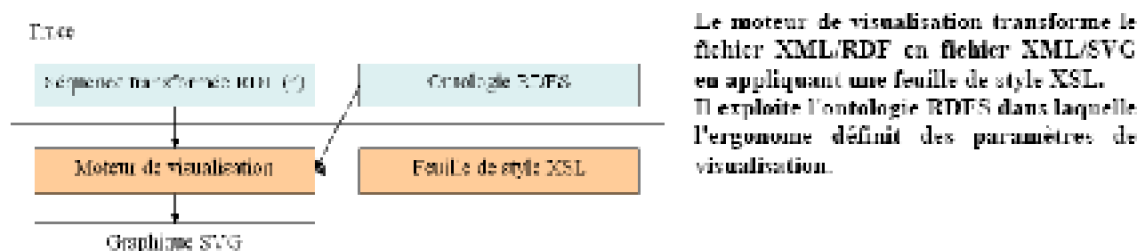


Figure 58 : Visualisation trace SVG

Les feuilles de styles XSL ne sont pas associées aux traces mais au système de visualisation. Elles sont en réalité des modèles de visualisation génériques. Les paramètres de visualisation spécifiques aux traces sont définis dans l'ontologie.

Le format de visualisation que nous avons retenu à ce jour est présenté Figure 59. Le temps est représenté sur l'axe des abscisses. L'échelle de temps est paramétrée dans la feuille de style XSL. Les observés sont représentés comme des formes géométriques (ronds, carrés, triangles). Ces formes sont prédéfinies dans la feuille de style XSL, et affectées à chaque classe d'observé dans l'ontologie. De plus, l'ergonome est libre de définir la position en ordonnée et la couleur des observés en fonction du sens qu'il leur attribue. Les relations entre observés sont représentées par des traits gris. Leur forme d'affichage est configurable dans la feuille XSL. A terme, l'affichage de ces relations entre observés pourrait également être paramétrables dans l'ontologie.

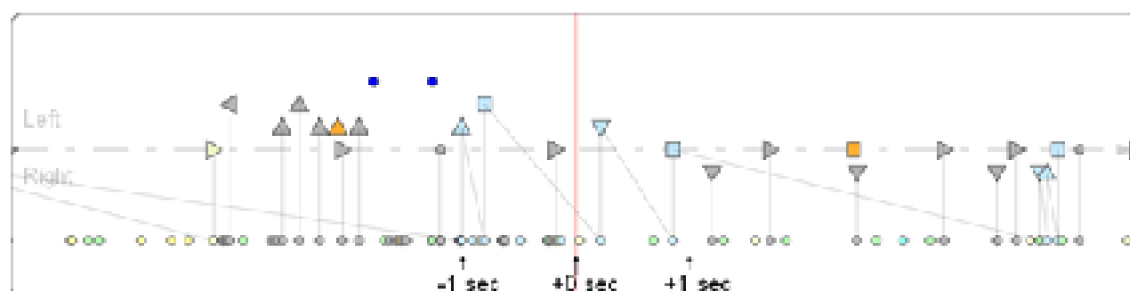


Figure 59 : Exemple de visualisation de trace

La souplesse offerte par les feuilles de styles et par le paramétrage dans l'ontologie, nous permet d'offrir un mécanisme adaptable à la visualisation de toutes sortes de traces. Nous expliquons en détail au paragraphe 6.2.2.3 cette symbolique de visualisation que nous avons mise au point pour décrire l'activité de conduite automobile.

Il est à noter que la technique des transformations XSL ne permet pas d'exploiter la sémantique définie dans l'ontologie. En effet, il faudrait implémenter un "raisonner" pour pouvoir appliquer par exemple la transitivité de la relation "rdfs:SubclassOf" aux paramètres de visualisation. Nous n'avons pas fait ce choix pour l'instant, car la visualisation XSL s'avère suffisante à l'usage et qu'une autre solution entraînerait des temps de calcul qui ne seraient plus compatibles avec le besoin de réactivité nécessaire à une utilisation interactive. Nous avons pu cependant reproduire cette transitivité sur la propriété de couleur des observés, en exploitant le fonctionnement des feuilles de styles CSS (Cascading Style Sheet). C'est-à-dire que les couleurs des observés peuvent être définies au niveau d'une classe "parent" et héritées automatiquement par ses classes "filles".

La visualisation que nous avons présentée ici est rendue interactive par l'interface AbstractXML. Cette interface met, de plus, en œuvre un mécanisme de segmentation qui calcule la visualisation par morceau pour accélérer le temps de réponse. Les graphiques de parties de traces sont générés à la première demande et sauvegardés dans des buffers pour les demandes ultérieures.

### 5.1.2.4. Le système d'édition d'ontologie

Nous avons pu utiliser directement l'éditeur d'ontologie PROTÉGÉ que nous avons présenté au paragraphe 4.4.3. Avec PROTÉGÉ, l'ergonome peut ouvrir l'ontologie RDFS et la modifier de manière interactive. Il peut ainsi définir et organiser la hiérarchie des classes qui correspondent aux types des observés présents dans la trace. Il leur affecte simplement un libellé et les place dans la hiérarchie avec la souris de la même façon qu'on organise une hiérarchie de répertoire dans l'explorateur de fichiers Windows. La définition de l'ontologie n'est donc pas une contrainte forte et peut être réalisée de manière provisoire en attendant qu'elle se fige par l'usage. C'est seulement une fois qu'ont été créées les transformations SPARQL et les règles de visualisation qui exploitent cette hiérarchie, que l'ergonome ne doit plus la modifier. Au départ, l'ontologie sert donc à l'ergonome pour formaliser les concepts qu'il aimerait voir apparaître dans la trace. Ensuite, en fonction des contraintes provenant des données, il ajuste ces concepts à ce qui peut effectivement être inféré.

Après avoir défini les classes, l'ergonome définit leurs propriétés :

- La propriété "Date", correspond au time code de l'observé. Par principe, il n'y a aucun observé qui n'a pas de time code.
- Pour les observés de la trace collectée RDF, leur correspondance avec leur libellé dans la trace collectée CSV.
- Les propriétés significatives propres à un type d'observé, par exemple pour le type "vitesse", les propriétés : "valeur" et "variation". A ces propriétés est associée la correspondance éventuelle avec une propriété définie dans la trace collectée.
- Les propriétés de visualisation.

A l'usage, il est apparu qu'il était plus pratique de gérer les différentes ontologies des

différentes traces comme des branches distinctes d'une même ontologie, plutôt que comme des ontologies séparées. En effet, il n'est pas gênant d'avoir de nombreuses branches dans une ontologie, en revanche la manipulation de d'ontologies séparées demande une gestion de fichiers supplémentaire. La construction de notre ontologie pour les traces d'activité de conduite automobile est présentée au paragraphe 6.2.2.4.

### 5.1.2.5. L'outil d'export de traces analysées

Il arrive fréquemment qu'au terme d'une démarche exploratoire, on veuille confirmer des intuitions par une analyse statistique. Il peut s'agir par exemple de comparer des répartitions de certains observés selon des catégories de sujets. ABSTRACT n'offre pas, en lui-même, des fonctionnalités d'analyse statistique mais permet d'exporter les traces vers le format de tableau standard CSV. Cet export peut ensuite être importé dans Excel ou SPSS. L'export d'une séquence transformée se fait par une transformation XSL, il est représenté à la Figure 60.

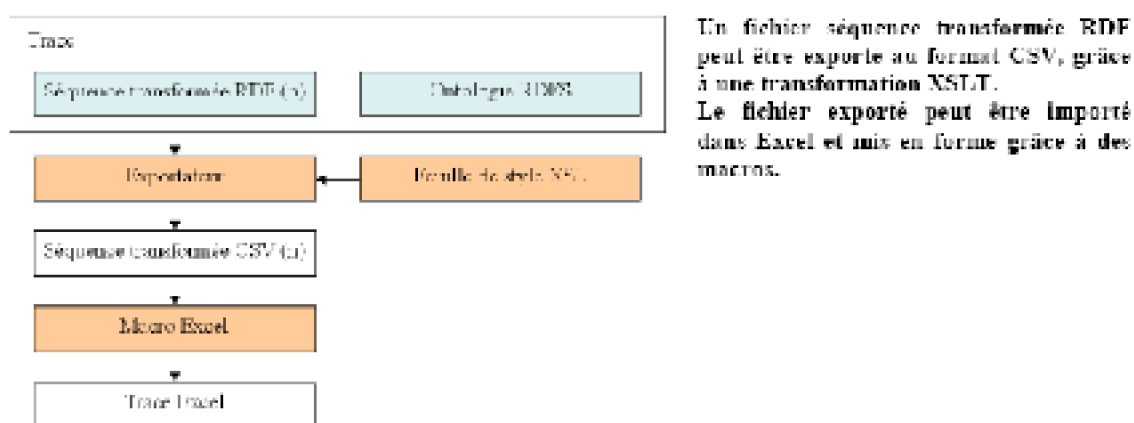


Figure 60 : Exportation trace

La trace exportée perd sa structure de graphe. Elle ne contient que les observés ordonnés par leur Time Code, mais ne contient plus les relations entre observés. Elle est cependant utile pour faire des calculs statistiques sur les observés de haut niveau qui auront été produits avec ABSTRACT. Par exemple, compter combien de fois le sujet a mis en œuvre un schéma d'activité particulier, ou faire des statistiques sur les propriétés associées à ces schémas, par exemple leur durée.

### 5.1.3. Le système de documentation

L'importance d'inclure un système de documentation dans l'outil même s'est révélée au cours de son utilisation. Il est apparu très pratique de pouvoir indexer les épisodes d'intérêt dans les traces. En effet, dans le processus de modélisation, l'ergonome parcourt les différentes versions de traces transformées à la recherche de motifs susceptibles de lui apprendre des choses sur l'activité. C'est seulement après avoir comparé les motifs intéressants qu'il peut formuler des modèles de l'activité. En pratique, pour indexer ces motifs intéressants, nous avons dans un premier temps utilisé la fonctionnalité de "bookmark" de Firefox avec AbstractXML. Comme nous le présenterons au paragraphe

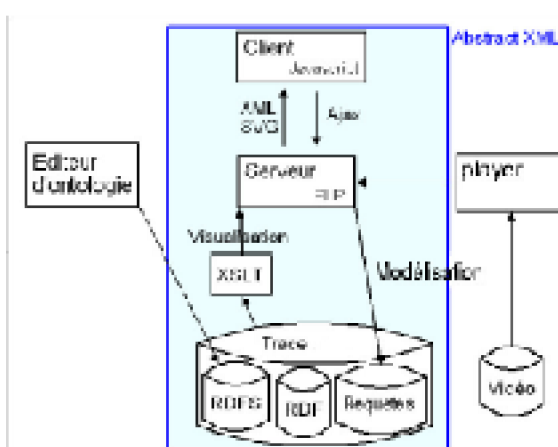
suivant, AbstractXML est une application web, dans laquelle les pages sont référencées par une url. Pour permettre leur indexation, nous avons inclus le time code courant ainsi que les différentes options de visualisation dans cette url. A l'usage, les fonctionnalités de bookmark se sont révélées insuffisantes et nous avons commencé à utiliser un wiki pour organiser la documentation produite. Les fonctionnalités d'édition offertes par les wiki permettent très facilement d'inclure des liens vers les épisodes de traces intéressants. Nous avons donc finalement inclus des fonctionnalités de wiki dans AbstractXML.

## 5.2. L'outil de modélisation interactive AbstractXML

### 5.2.1. Introduction

Nous désignons par AbstractXML l'interface de modélisation interactive qui exploite l'architecture d'ABSTRACT, que nous venons de présenter. Le terme AbstractXML a été choisi quand la visualisation des fichiers traces XML a été envisagée avec le navigateur Mozilla Firefox. AbstractXML a été principalement programmé par Benoit Mathern pendant son stage effectué sous notre encadrement, chez notre partenaire, l'université de Chemnitz en Allemagne. Il s'agissait d'un stage conjoint de Master 2 Recherche au Liris et de projet de fin d'étude à l'Ecole Centrale Lyon. Il est présenté dans son rapport de stage . Benoit a ensuite poursuivi le développement d'AbstractXML dans le cadre d'un contrat d'ingénieur de recherche à l'Inrets. AbstractXML est interfacé avec un lecteur vidéo, ce qui permet de faire dérouler la trace parallèlement au film recueilli pendant l'expérimentation.

D'un point de vue logiciel, AbstractXML repose sur une organisation Client-serveur expliquée à la Figure 61. L'environnement serveur retenu est un serveur Apache interprétant le PHP5. L'environnement client est assuré par Firefox 2.0.



Les traitements réalisés par AbstractXML sont répartis entre un côté serveur programmé en PHP et un côté client programmé en Javascript. Le côté serveur accède aux données :

- en lecture pour lire les traces via des transformations XSL
- en écriture pour enregistrer les requêtes SPARQL.

Il pilote également le moteur SPARQL pour produire des séquences transformées. Il transmet au client les pages à afficher qui incluent le code javascript approprié, généré dynamiquement. Le côté client gère l'interaction utilisateur en Javascript et renvoie les données au serveur par une technologie "Asynchrone Javascript" (Ajax). Concernant la synchronisation des traces avec le player video : celui-ci est maître et transmet le time code courant au serveur qui le retransmet au client.



Figure 61 : Architecture Client Serveur d'AbstractXML, (adapté de Mathern 2006)

En pratique, le client et le serveur sont installés sur une même machine. Pour l'instant nous n'autorisons l'accès au serveur par des machines distantes qu'en mode visualisation et sans permettre la consultation de la vidéo en parallèle.

Le coté client offre à l'utilisateur une navigation par onglets :

- L'onglet "Open" permet de sélectionner une trace et une séquence transformée
- L'onglet "Info" permet de consulter et modifier des informations générales sur la trace et la séquence transformée sélectionnée
- L'onglet "View" permet de visualiser la séquence transformée sélectionnée
- L'onglet "Edit" permet de construire des requêtes SPARQL et de les appliquer pour générer de nouvelles séquences transformées.

Ces différents onglets sont présentés dans ce chapitre. Par ailleurs cette interface fournit un accès vers PROTÉGÉ pour éditer l'ontologie de la trace, et un accès au système de documentation (Wiki) qui soutient le travail de modélisation.

## 5.2.2. Sélection de trace

L'onglet de sélection de trace ("Open") est présenté Figure 62.

ID	Processed ID	Start	End	Event description	Whole description
S1	S1	2400s	1900s	Abstract 01	Experiment with Protégé. Used for the study about trace change. See more info about SBT for information on classes.
S11	S11	3900s	4400s	Abstract 11	Subject 01: Highway from Lyon to Saint Etienne
S15	S15	24s	2400s		
S15-L1	S15-L1	1210s	1997s	S14-Change1	S14-Change1 - H3
S15-L2	S15-L2	1200s	2225s		
S15-L3	S15-L3	1421s	1441s	S14-Motoring1	Subject 14: Motoring 1 For Tony
S15-L1-3	Call Trace with Info, Change, End, Opening	1871s	1813s	S14-Binder and LaneChange	
S15-L2-0	Call Trace with Info, Change, Acoustic, c.	1992s	1537s		
S15-L3-4	Call Trace with Info, Change, Acoustic, c.	1900s	2547s		
S15-L1-1	Call Trace with Info and Position	1847s	2114s	S14 - Lanechange1	
S15-L2	Call Trace with Info and Position	2018s	2225s	S14 - Lanechange2	
S15-L3-1	Call Trace with Info and Position	15s	1417s		

Figure 62 : Onglet de sélection de trace

Cet onglet permet de gérer les traces présentes dans le SBT. Les importer, les supprimer, les sélectionner. Pour cela il offre les fonctionnalités suivantes :

1. Import d'une trace RDF : Permet d'importer des traces produites en mode "bureautique" comme expliqué au paragraphe 5.3.
2. Import d'une trace collectée CSV.
3. Import d'une trace produite avec AbstractXML. Il peut s'agir d'une trace modélisée avec AbstractXML sur un autre poste.
4. Suppression d'une trace.
5. Choix de la trace dans la liste des traces présentes dans le SBT.

6. Choix de la séquence transformée.
7. Consultation des informations générales associées aux traces

### 5.2.3. Informations générales d'une trace

L'onglet de consultation et d'édition des informations générale de trace ("Infos") est présenté Figure 63.

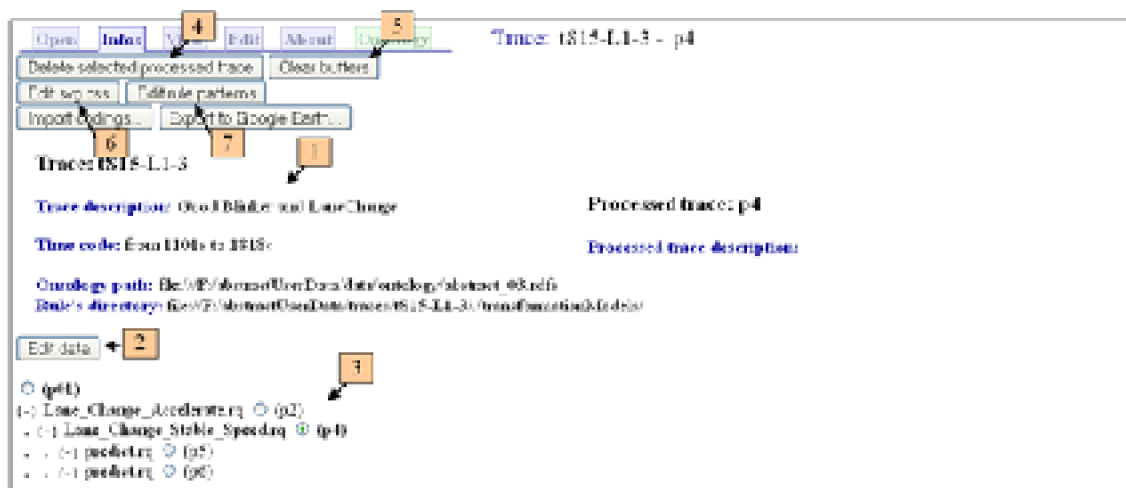


Figure 63 : Onglet d'information de trace

Cet onglet permet les opérations suivantes :

1. Consultation des informations générales de la trace et de la séquence transformée sélectionnée.
2. Modification de ces informations.
3. Consultation arborescente des séquences transformées. Chaque séquence transformée a été produite par application d'une requête sur sa séquence transformée "mère". Cela conduit à une arborescence qui est affichée ici avec le nom de la requête appliquée.
4. Suppression d'une séquence transformée. Cette opération supprime également ses séquences transformées "filles".
5. Effacement des buffers de visualisation. Il s'agit des buffers de visualisation présentés au paragraphe 5.1.2.3. Si l'utilisateur modifie des paramètres de visualisation définis dans l'ontologie, il doit effacer les buffers de visualisation afin qu'ils soient régénérés avec les nouveaux paramètres.
6. Certaines propriétés de visualisation sont spécifiées dans une feuille de style CSS. Ce bouton permet, à des utilisateurs avancés, de la modifier.
7. Edition des motifs de requêtes. Ce bouton donne accès aux modèles de requêtes SPARQL qui sont utilisées dans l'onglet Edit. Ils sont décrits au paragraphe 5.2.5.

## 5.2.4. Visualisation d'une séquence transformée

L'onglet de visualisation d'une séquence transformée ("View") est présenté Figure 64.

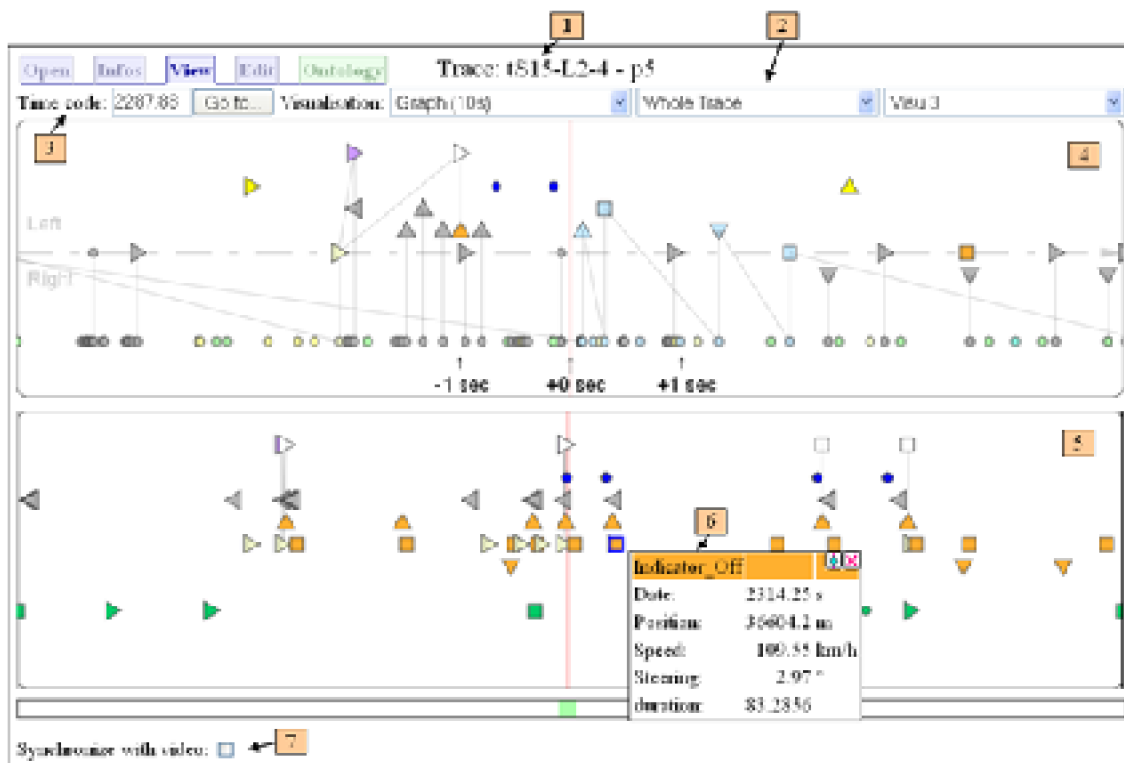


Figure 64 : Onglet de visualisation des séquences transformées

Cet onglet permet les opérations suivantes :

1. Consultation de la référence de la trace et de la séquence transformée.
2. Sélection des modules de visualisation dans des listes déroulantes. Chacun correspond à une feuille de style XSL particulière. Trois modules peuvent être visualisés simultanément à l'écran.
3. Consultation et Saisie du Time code : La valeur indiquée correspond au time code à l'emplacement du curseur dans les modules de visualisation (ligne rouge verticale). On peut saisir un time code et cliquer sur "Go to" pour sy positionner.
4. Exemple de module de visualisation ayant une plage de temps de 10 secondes.
5. Exemple de module de visualisation de la trace complète, avec seulement les observés de haut niveau affichés.
6. Affichage des propriétés par un clic sur les observés. Cette fenêtre offre une icône sur laquelle on peut cliquer pour centrer la visualisation sur cet observé.
7. Synchronisation de la trace avec la vidéo. Quand cette case est cochée, la visualisation se synchronise avec l'outil de visualisation Vidéo. La trace avance au fur et à mesure que la vidéo est jouée.

## 5.2.5. Création interactive de transformations

L'onglet de construction de transformations SPARQL ("Edit") est présenté Figure 65.

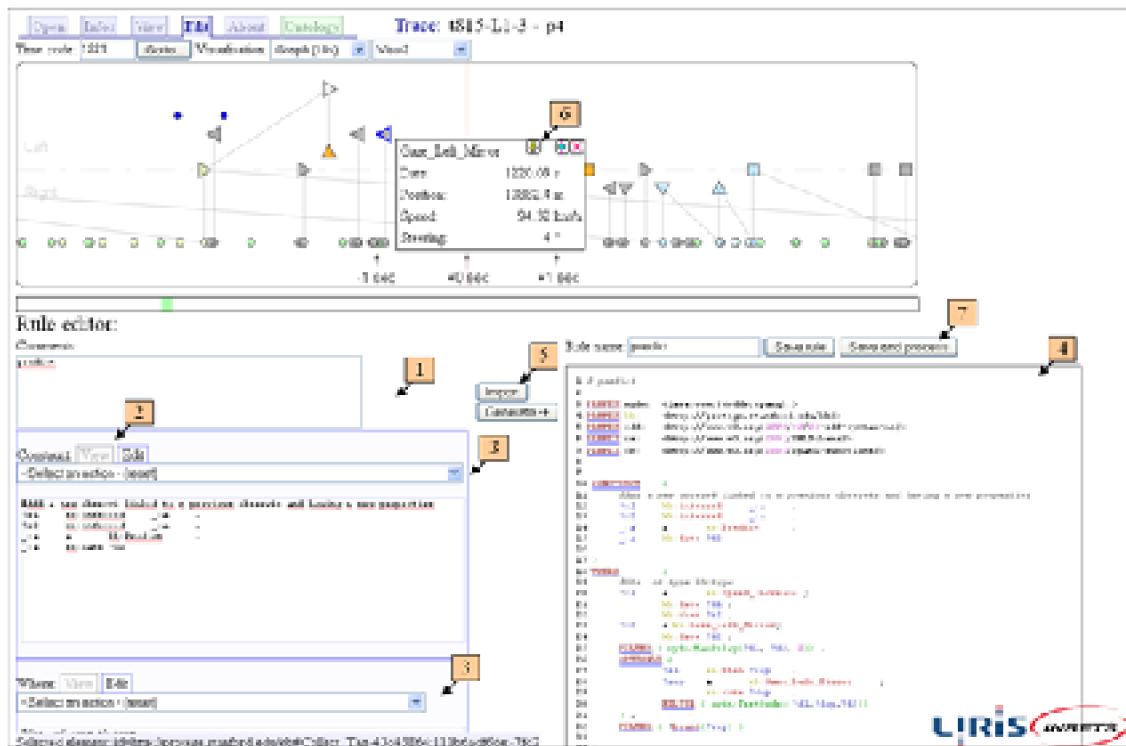


Figure 65 : Onglet de création de requête SPARQL

Cet onglet permet les opérations suivantes :

1. Saisie d'une transformation SPARQL en trois parties : la partie commentaire, la partie CONSTRUCT et la clause WHERE.
2. Visualisation de la transformation SPARQL. Ce mode offre une coloration syntaxique et permet de cliquer sur les mots clés pour obtenir une aide contextualisée. Cela permet aux utilisateurs novices de se former à SPARQL.
3. La sélection de modèles de clauses CONSTRUCT ou WHERE dans des listes déroulantes. Ces modèles sont discutés au paragraphe 5.4.2.
4. Visualisation du fichier transformation en entier. Cette visualisation offre la numérotation des lignes. Cela facilite la correction des erreurs de syntaxe, car le numéro d'une éventuelle ligne erronée est renvoyé par le système quand la requête est appliquée. Un zoom de cette partie est donné Figure 66.
5. Import d'une requête existante à partir d'un fichier.
6. Import d'une requête à partir d'un observé vu dans la trace. Ce bouton permet d'importer la requête qui a généré l'observé sélectionné afin de s'en servir comme modèle pour générer un autre observé.
7. Enregistrement et application de la transformation sur la séquence transformée



## 5.3. L'interface bureautique

En ergonomie, il est courant qu'une expérimentation conduite à collecter des données d'observation de plusieurs dizaines de sujets. Les ergonomes sont habitués à manipuler ces données avec les outils de la bureautique pour les stocker, les sauvegarder, les organiser sur leur disque dur. Excel fait partie de leur environnement courant pour traiter et visualiser ces données. Certains ergonomes savent programmer des macros afin d'automatiser des tâches répétitives. Nous proposons une approche analogue avec l'interface bureautique d'ABSTRACT. Cette approche permet à l'ergonome de définir lui-même son environnement d'utilisation d'ABSTRACT, en configurant des raccourcis sur son bureau pour accéder aux fonctionnalités les plus utilisées.

La démarche d'analyse avec ABSTRACT est progressive. Une analyse approfondie peut être effectuée sur un sujet afin de définir les transformations adéquates. Ensuite ces transformations sont souvent appliquées à un nombre plus large de sujets. Cette démarche vise à s'assurer qu'il n'y a pas de biais particulier lié au sujet initialement choisi, ou vise à produire des conclusions plus générales. Ces traitements qu'on cherche à automatiser sont difficilement prévisibles, les fonctionnalités d'automatisation doivent donc offrir une grande souplesse. Pour cela le recours à des langages de script est souvent incontournable.

Plutôt que de développer un langage de script spécifique, nous avons préféré recourir au langage de commande du système d'exploitation Microsoft Windows (fonctions "shell" Windows). Nous avons donc imaginé un mécanisme permettant à l'utilisateur d'écrire des scripts simples, appelés programmes "batch", permettant d'appliquer automatiquement des séries de requêtes SPARQL sur des séries de traces. Ces mécanismes reposent sur l'architecture de répertoire présentée au paragraphe 5.1, sur une convention de nommage des traces, et sur des sous-programmes batch mis à disposition de l'utilisateur.

La convention de nommage suppose que chaque trace qu'on voudra traiter automatiquement corresponde à un sujet et que le nom du répertoire de la trace se termine par le numéro du sujet. Dans cette logique, les différentes traces transformées correspondent à différentes séquences transformées appartenant à la trace. Les noms de fichier de ces différentes séquences transformées sont de la forme : Tr1Tr2Trn\_SS.rdf ou Tr1, Tr2... Trn sont les n transformations successivement appliquées sur la séquence transformée et SS est le numéro de sujet.

L'utilisateur définit ses transformations SPARQL dans des fichiers `requete_i.rq`. En général il s'agit de transformations qui ont été mises au point à l'aide de l'interface interactive AbstractXML. Les types des observés inférés par ces transformations doivent être définis au préalable dans l'ontologie.

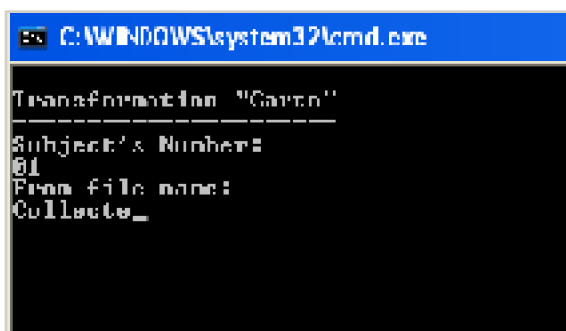
Ensuite l'utilisateur définit un "paquet de transformations" sous forme d'un fichier batch `Apply_Pj.bat`. Ces paquets sont des séries de transformations SPARQL à appliquer successivement. Un paquet exécute les n transformations voulues (`requete_1.rq` à

requete\_n.rq) sur le fichier séquence transformée qui lui est indiqué comme paramètre d'entrée. Par exemple la ligne de commande pour exécuter le paquet P3 sur la séquence transformée P1P2\_01.rdf du sujet 01 est :

```
Apply_P3.bat "P1P2" "01"
```

Cette commande produira la séquence transformée P1P2P3\_01.rdf.

La Figure 67 donne un exemple d'un tel script, en mode interactif, où l'utilisateur est invité à saisir le numéro du sujet et le nom du fichier d'entrée.



Ce script "Apply\_Carto.bat" applique le paquet de transformations "Carto" sur la séquence transformée "Collecte" du sujet "01". Le fichier d'entrée est "Collecte01.rdf". Le fichier généré est "CollecteCarto01.rdf". Ce paquet de transformations ajoute dans la trace les repères cartographiques jugés utiles par l'analyste. Ces repères sont inférés à partir des données GPS du véhicule présentes dans la trace collectée.

Figure 67 : Interface de transformation par script DOS

Le batch Apply\_Carto.bat appelle successivement le batch query.bat en lui passant en paramètre les différentes requêtes qui infèrent les infrastructures intéressantes (Roundabout.rq, Ramp.rq, etc.).

```
call query.bat %from_temp_file% %to_temp_file% %query_rep%\Roundabout.rq
copy /y %to_temp_file% %from_temp_file%
call query.bat %from_temp_file% %to_temp_file% %query_rep%\Ramp.rq
copy /y %to_temp_file% %from_temp_file%
...
```

Le batch query.bat appelle le programme java (nommé "Inf") qui exécute la requête SPARQL à partir des paramètres : ontologie, fichier rdf d'entrée, nom du fichier rdf à générer, requête :

```
java -Xmx1024m Inf ontology.rdfs %1 %3 %2
```

Avec ce mécanisme de script, l'ergonome est libre de choisir le niveau d'automatisation du traitement qu'il souhaite appliquer sur l'ensemble de ses traces. Il peut également créer des scripts qui génèrent les traces collectées CSV et qui les importe comme traces collectées RDF. Les traces produites peuvent ensuite être visualisées avec l'interface graphique AbstractXML. Elles peuvent aussi être automatiquement exportées au format Excel pour effectuer des calculs statistiques.

## 5.4. Capitalisation de l'expérience de travail sur les traces

L'un des intérêts d'utiliser un système à base de connaissances réside dans le fait qu'il permet de coder les règles de manipulation logique des symboles à un niveau séparé du code exécutable du programme. Ainsi, ces règles logiques peuvent continuer à être ajoutées au système après la phase de programmation de celui-ci. Dans notre cas, nous exploitons cet aspect par le principe des règles de transformation des traces écrites en SPARQL. Mais le système offre également d'autres mécanismes pour capturer ces règles à un niveau plus générique. Ces mécanismes, une fois configurés dans le système, simplifient la création de requêtes par l'ergonome. Nous avons identifié deux types de mécanismes que nous décrivons dans les paragraphes suivants : l'implémentation d'une sémantique spécifique aux traces et la manipulation d'éléments génériques de transformation.

## 5.4.1 L'implémentation d'une sémantique spécifique aux traces

### 5.4.1.1. Règles de raisonnement

Comme nous l'avons introduit au paragraphe 5.1.2.2, le moteur SPARQL que nous avons implémenté permet d'exploiter une sémantique associée aux observés. Cette sémantique se définit sous forme de "règles de raisonnement" qui sont interprétées par un module du moteur SPARQL appelé le "raisonneur". Par exemple la sémantique de la relation "rdfs:SubclassOf" est implémentée par des règles qui expriment sa transitivité. Ces règles spécifient que la présence de deux triplets (A, rdfs:SubclassOf, B) et (B, rdfs:SubclassOf, C) doit produire un "triplet virtuel" (A, rdfs:SubclassOf, C). Ce triplet virtuel n'existe pas réellement dans le graphe mais tout se passe comme s'il existait quand une requête SPARQL est interprétée.

Nous pouvons exploiter cette fonctionnalité pour définir nos propres règles sémantiques spécifiques aux traces. Nous avons en particulier défini des liens virtuels "suit" et "précède" (Figure 68) qui permettent d'exprimer une caractéristique fondamentale des traces : la séquentialité.

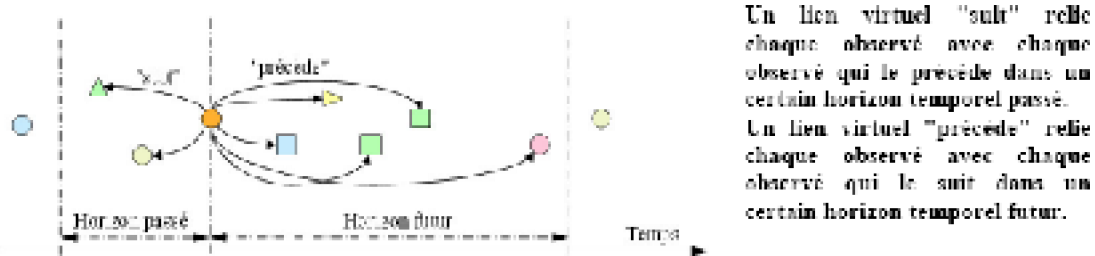


Figure 68 : Liens virtuels "suit" et "précède"

Ces liens virtuels peuvent être utilisés dans une clause WHERE d'une transformation SPARQL comme s'ils existaient vraiment alors qu'en réalité ils sont résolus par le système en comparant les Time code des observés. La règle configurée dans le raisonneur s'écrit schématiquement :

```
r1 précède r2 <- (r1 TimeCode d1),(r2 TimeCode d2), le(d1,d2), difference(d2,d1,d0), lessThan(d0,20)
```



Et elle se lit : créer un lien virtuel "précède" de la ressource r1 vers la ressource r2 quand r1 a pour time code d1, r2 a pour time code d2, d1 est inférieur ou égal à d2, et d2-d1 est inférieur à 20 (secondes).

Ce mécanisme permet de résoudre un problème de temps de réponse lié à un facteur d'échelle. En pratique nous avons environ 5 observés par seconde et nous voudrions avoir un horizon temporel d'une vingtaine de secondes. Cela représente donc une centaine de liens "précède" par observé. S'ils étaient enregistrés dans le fichier trace, son volume serait pratiquement multiplié par 100.

En pratique, le raisonneur applique un mécanisme d'optimisation qui lui permet de minimiser l'évaluation de ces liens virtuels. Du fait de cette optimisation, les expressions (A précède B) et (B suit A) ne sont pas équivalentes en terme de temps d'exécution selon les conditions dans lesquelles elles sont utilisées, bien qu'elles soient équivalentes sur le plan logique. Nous sommes donc amenés à définir ces deux types de liens virtuels.

Dans le principe, cette approche vise à implémenter une "sémantique générale du temps". C'est-à-dire implémenter les concepts connus par l'ergonome pour appréhender le temps, tels que la succession chronologique, la notion d'intervalle, le recouvrement d'intervalles, les décalages temporels, etc. De cette façon l'ergonome pourra exprimer ses requêtes en ces termes, ce qui simplifiera son travail. Nous discutons cette perspective au paragraphe 7.1.

#### 5.4.1.2. Fonctions de filtrage

Nous avons vu au paragraphe 4.4.5 que dans le langage SPARQL, la clause WHERE permettait d'inclure une condition FILTER. Cette condition permet de spécifier un critère de sélection des sous-graphes selon la valeur de certaines variables. Notre utilisation du moteur SPARQL nous permet de définir des fonctions qui peuvent être utilisées dans la condition FILTER. Nous pouvons donc implémenter des fonctions spécifiques adaptées à notre usage pour les traces. Pour l'instant, nous avons implémenté deux fonctions :

- MaxDelay(d1, d2, duration) : cette fonction permet d'exprimer le fait qu'un observé 2 suit un observé 1 dans un certain laps de temps. Elle renvoie "vrai" si et seulement si  $d1 < d2 < (d1 + duration)$ .
- TestOrder(?d1,?d2,?d3) : cette fonction permet d'exprimer une condition de séquentialité entre trois observés. Elle renvoie "vrai" si et seulement si  $d1 \leq d2 \leq d3$ .
- CoOccurrence(?d1,?d2,?tBefore,?tAfter) : cette fonction permet d'exprimer une cooccurrence entre deux observés indépendamment de leur ordre chronologique. Elle renvoie "vrai" si et seulement si  $d1 - tBefore \leq d2 \leq d1 + tAfter$ .
- CloserCoOccurrence(?d1,?d2,?dop,?tBefore,?tAfter) : cette fonction permet d'identifier un éventuel troisième observé co-occurent à deux autres. Elle renvoie "vrai" si et seulement si  $d1 - tBefore \leq dop \leq d1 + tAfter$  et  $|dop - d1| < |d2 - d1|$ .

### 5.4.2 Manipulation d'éléments génériques de transformation

A l'usage du système, il est apparu que certains motifs particuliers revenaient souvent dans les requêtes. Nous avons donc implémenté un mécanisme permettant de produire ces motifs comme des modèles qui pouvaient ensuite être adaptés par l'utilisateur.

La liste de ces motifs est donnée dans le Tableau 2. Ils se répartissent entre motifs de la clause `CONSTRUCT` et motifs de la clause `WHERE` (qui incluent des conditions de filtre). Un libellé indicatif de chacun de ces motifs est proposé dans la colonne "désignation".

**Tableau 2 : Motifs génériques de requêtes**

<b>Clause CONSTRUCT</b>	<b>Désignation</b>
Ajoute une nouvelle propriété à une ressource	R1_P1_V1
Ajoute un nouveau lien entre deux ressources	R1_L1_R2
Ajoute une nouvelle ressource liée à n précédentes ( <i>Si n=0 : permet d'ajouter des annotations dans la trace</i> )	A_LN_RN
<b>Clause WHERE</b>	
Conditions sur une ressource	
Une ressource est d'un certain type	R1_T_T1
Une ressource possède une certaine propriété	R1_P1_V
Une ressource n'est pas d'un certain type	R1_notT_T1
Une ressource ne possède pas une certaine propriété	R1_notP1_V
Une ressource possède une propriété qui respecte une condition sur sa valeur.	R1_P1_V1
Une ressource n'est suivie d'aucune autre d'un certain type pendant une certaine durée.	R1_notS_R2
Une ressource n'est précédée d'aucune autre d'un certain type pendant une certaine durée	R1_notP_R2
Conditions sur deux ressources	
Deux ressources sont liées par un lien	R1_L1_R2
Une ressource d'un type 1 est suivie par une autre d'un type 2 sans autre ressource du type 2 entre les deux	R1_notR2_R3
Conditions sur trois ressources	
Il existe au moins une ressource d'un certain type entre deux autres liées par un lien. ( <i>On doit écarter les autres occurrences de la ressource intermédiaire sinon on a une réponse pour chaque occurrence de la ressource intermédiaire</i> )	R1_R2_R3

AbstractXML offre la possibilité d'enregistrer de nouveaux motifs au fur et à mesure qu'ils sont découverts. L'utilisateur indique la description du motif et le code SPARQL générique associé. Une fois enregistrés, les motifs apparaissent dans les listes déroulantes (3) de la Figure 65 du paragraphe 5.2.5. Lorsque l'utilisateur choisit un motif dans ces listes, celui-ci est inséré dans la zone de saisie de la requête. Par exemple le motif "ajouter une nouvelle propriété à une ressource" inséré dans la partie `CONSTRUCT` le triplet :

(?r1 propriété valeur)

L'utilisateur peut ensuite modifier le terme "propriété" par le nom de la propriété désirée, et le terme "valeur" par la valeur désirée ou par une variable faisant référence à une valeur sélectionnée dans la clause `WHERE`. S'il veut utiliser la même propriété qu'une propriété déjà existante dans un autre observé, il peut afficher cet observé dans la zone de visualisation de la trace dans la partie haute de l'écran, et effectuer un copier/coller du nom de cette propriété. Il peut également modifier la référence de ressource ?r1 en fonction du reste de la requête.

L'idéal, bien entendu, serait de pouvoir épargner complètement à l'utilisateur l'édition du code SPARQL. Actuellement nous ne pouvons qu'imaginer des pistes de départ pour s'engager dans cette voie. Nous les discutons au paragraphe 7.1.

## 5.5. Conclusion

L'utilisation d'ABSTRACT pour modéliser des traces d'activité suit un processus cyclique, car l'étape d'analyse peut conduire à redéfinir les besoins de collecte. De même, il est toujours nécessaire de revenir en arrière à chaque étape de transformation des traces pour évaluer différentes possibilités. Bien que ce processus soit cyclique nous tentons de le résumer dans la Figure 69 par quatre grandes étapes successives.

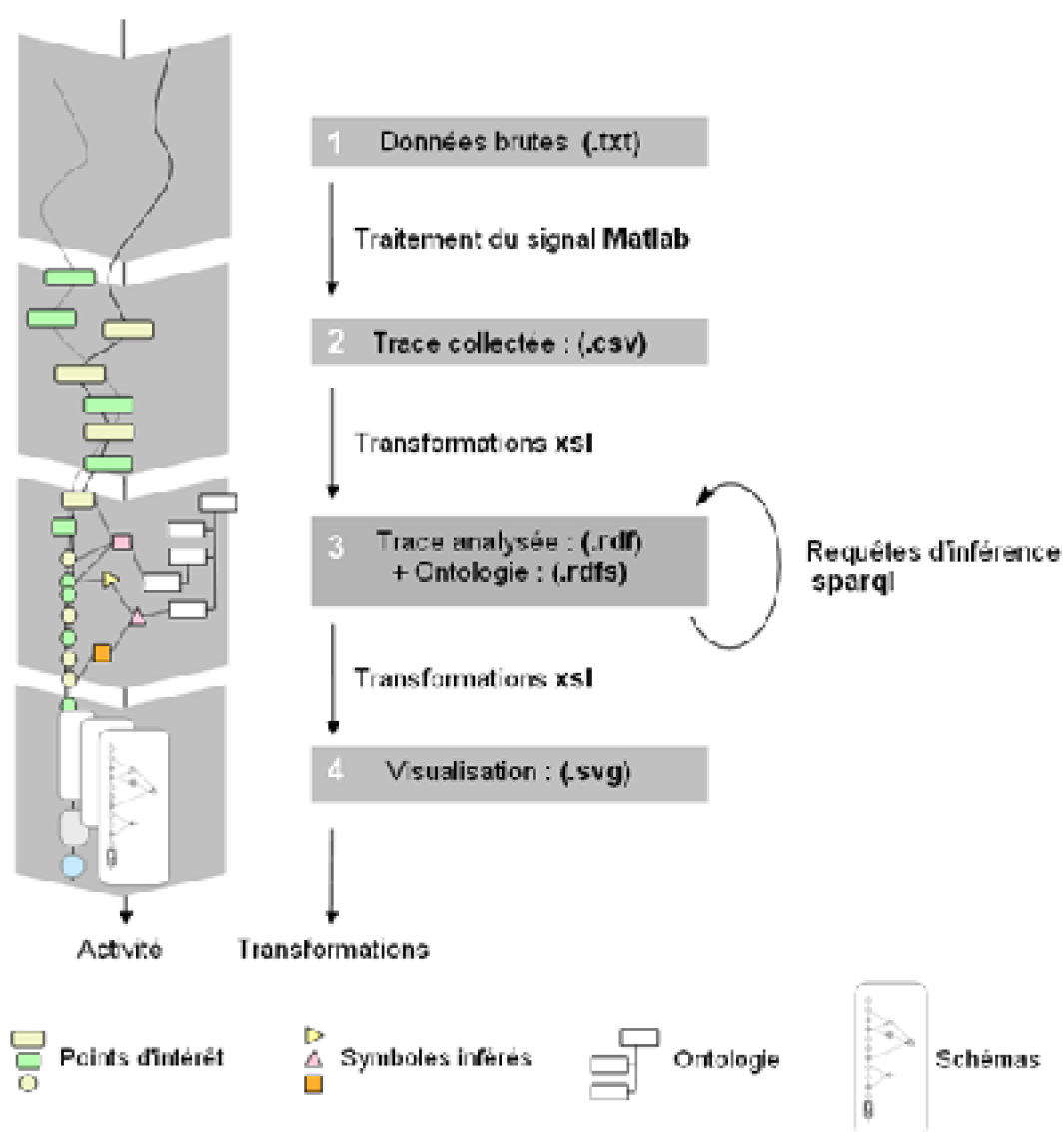


Figure 69 : Processus de modélisation de la trace

Dans cette figure, le flux de données brutes est représenté par les courbes qui descendent le long de l'axe "activité". Du point de vue de l'ergonome, ces données contiennent "implicitement" une connaissance sur l'activité observée. En haut de la figure, la première étape représente la collecte de ces données brutes. A la deuxième étape, les rectangles verts et jaunes représentent les points d'intérêt identifiés par l'ergonome dans ces données brutes et qui constituent la trace collectée. Ces points d'intérêt sont représentés dans ABSTRACT comme des symboles qui renvoient à des événements particuliers de l'activité. A l'étape 3, des motifs d'intérêt symboliques sont trouvés dans la trace collectée, et des symboles représentant un niveau de description plus abstrait leur sont rattachés. Ces symboles sont représentés sur la figure par des petits triangles et carrés. Ces symboles sont progressivement organisés dans une ontologie, représentée sur la figure par une arborescence en blanc. A l'étape 4, des schémas typiques de l'activité, exprimés avec ces symboles, sont identifiés. Ils sont représentés sur la figure par des rectangles arrondis. Ces schémas typiques constituent des modèles de l'activité.

Ces schémas peuvent eux-mêmes jouer un rôle symbolique pour décrire l'activité à un niveau supérieur. Les étapes 3 et 4 représentent les deux aspects d'un processus de modélisation qui consiste à représenter des motifs intéressants par des symboles, en même temps que la signification de ces symboles se construit au sein de ces motifs.

Dans notre méthodologie, les symboles ajoutés dans la trace sont toujours connectés aux symboles de bas niveau, eux-mêmes définis par les calculs qui permettent de les générer à partir des données d'observation. De cette façon, les différentes traces transformées conservent leurs liens avec la trace collectée, ce qui permet ensuite d'établir des parallélismes entre les différentes approches de modélisation ou leurs différents niveaux d'abstraction.

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'outil ABSTRACT indépendamment de son application particulière à la conduite automobile. Nous l'avons conçu ouvert de façon à ce qu'il puisse être appliqué à d'autres domaines : aéronautique, pilotage d'équipements industriels, navigation sur Internet, etc.

Etant donné que la découverte de connaissance naît de l'usage du système par un humain, son utilisabilité est un enjeu central. En particulier, la façon dont les traces peuvent être visualisées, manipulées, transformées de façon interactive conditionne complètement l'efficacité du processus de modélisation. La version actuelle d'ABSTRACT que nous avons présentée est complètement opérationnelle. Nous décrivons son utilisation pour la conduite automobile dans le chapitre suivant. Cette version offre pourtant de nombreuses possibilités d'évolution que nous discutons dans le paragraphe 7.1.1.6.



## 6. Mise en œuvre de l'analyse de l'activité

Après avoir consacré les deux précédents chapitres à la partie informatique de notre travail, nous allons maintenant présenter comment nous l'avons appliquée à nos objectifs d'ergonomie cognitive. Au chapitre 2, nous nous étions fixé comme objectif de trouver des schémas cognitifs tactiques à partir de l'observation de l'activité. Au chapitre 3, nous avons présenté une méthodologie pour le recueil d'une trace d'activité et nous avons exprimé des besoins en termes d'outils d'analyse. Aux chapitres 4 et 5, nous avons présenté la conception et la réalisation d'un outil pour répondre à ces besoins. Nous présentons maintenant comment nous pouvons atteindre cet objectif par la mise en œuvre de cette méthodologie avec cet outil.

Ce chapitre se découpe en trois parties. La première partie est consacrée à la présentation de l'expérimentation pour le recueil des données. La seconde partie décrit le processus de modélisation de base qui permet d'atteindre un niveau d'abstraction intermédiaire, pouvant servir de point de départ à la production de modèles cognitifs. La troisième partie illustre le travail de modélisation cognitive au niveau tactique, par l'analyse approfondie des situations de changement de voie sur autoroute.

Du point de vue de nos attentes en informatique, ce chapitre montre comment ABSTRACT répond aux objectifs pour lesquels nous l'avons conçu, c'est-à-dire permettre la modélisation cognitive d'une activité à partir des traces.

Du point de vue de l'ergonomie cognitive, ce chapitre retrace le travail

d'expérimentation et d'analyse de manière descriptive. Nous présenterons les leçons qui peuvent être tirées au chapitre 7.

## 6.1. Recueil de données expérimentales

### 6.1.1. Introduction : objectifs de l'expérimentation

---

Le Lescot dispose déjà de grandes quantités de données expérimentales qui ont été collectées au fil des années, à raison de deux ou trois expérimentations par an en moyenne. Nous avons pu mener la phase initiale de notre étude en réutilisant certaines de ces données collectées lors d'expérimentations antérieures . Mais nous avons finalement décidé de réaliser notre propre expérimentation pour les raisons suivantes :

- Il est en pratique très utile que l'ergonome qui réalise l'analyse soit présent dans le véhicule au moment du recueil des données, car les données ne conservent qu'une partie seulement de l'information nécessaire pour comprendre l'activité.
- Nous voulons collecter une évaluation subjective faite par le conducteur de certaines situations intéressantes.
- La plupart des expérimentations faites au Lescot incluent des consignes spécifiques, telles que la manipulation de systèmes d'assistance à la conduite, alors que nous voulons analyser des situations de conduite naturelles.
- Nous nous proposons d'exploiter l'ensemble des capteurs disponibles de façon à disposer du maximum d'information possible dans les traces. Or jusqu'à présent les expérimentations se focalisaient sur le recueil et l'analyse de certains capteurs uniquement. En particulier l'oculomètre n'avait jamais été utilisé dans le véhicule instrumenté.
- Nous devons définir un parcours approprié à l'étude des comportements tactiques.
- Les données d'autres expérimentations ne peuvent pas toujours être exploitées librement en raison de restrictions de confidentialité.
- Nous avons l'opportunité de réaliser une expérimentation en partenariat avec d'autres laboratoires européens d'étude de la conduite automobile dans le cadre du réseau d'excellence Humanist.

Nous avons donc réalisé notre propre expérimentation dédiée spécifiquement au recueil de traces d'activité pour la modélisation cognitive du conducteur. Elle se base sur la méthodologie présentée au chapitre 3. Les principes de cette expérimentation reposent sur la volonté d'observer une conduite la plus naturelle possible, effectuée par des conducteurs d'âge, de sexe, d'expérience variés mais n'appartenant pas à des catégories identifiées comme atypiques, avec une attention particulière portée aux situations impliquant des choix tactiques.



Cette attention aux situations tactiques se traduit par :

- Le choix d'un parcours constitué d'infrastructures variées.
- Le recueil de l'évaluation subjective par le conducteur de certaines de ces situations.
- L'observation approfondie d'une situation tactique préalablement choisie : le dépassement sur autoroute.

Comme nous l'avons dit dans l'étude bibliographique du chapitre 2, le dépassement sur autoroute est reconnu comme un exemple convenablement représentatif de situation de conduite tactique. C'est une situation incontournable de la conduite automobile. Il combine de nombreuses caractéristiques courantes : le contrôle longitudinal et latéral, la prise d'information, la prise de décision, l'exécution d'une séquence d'action plus ou moins prédéfinie.

Par ailleurs, nos partenaires du TRL s'intéressaient à rechercher d'éventuelles corrélations entre les schémas tactiques et la personnalité du sujet . Dans ce but, nous avons, à titre exploratoire, fait passer un questionnaire de personnalité à nos sujets. Ce questionnaire est le questionnaire de Sensation Seeking de Zuckerman .

### 6.1.2. Le parcours de référence

---

Le parcours choisi a une longueur de 50 km et est effectué en 50 à 60 minutes, une visualisation cartographique en est donnée en 1. Il inclut des zones urbaines, suburbaines, des tronçons de voie rapide et d'autoroute. Les parties urbaines et suburbaines sont situées dans Bron. La voie rapide est effectuée sur un tronçon du boulevard périphérique de Lyon et son raccordement à l'autoroute A43 en direction de Chambéry. La partie autoroute est constituée du trajet entre Lyon et l'aéroport Saint Exupéry sur les autoroutes A43 et A432, et du retour vers Bron. Les parties urbaines et suburbaines incluent de nombreuses intersections, rond points, feux de signalisation, petites rues et larges avenues. Le parcours complet donne lieu à de nombreuses interactions avec les autres usagers de la route, car il est réalisé à des endroits et à des moments où il y a suffisamment de trafic.

La partie autoroute est utilisée principalement pour collecter des données de changements de voie. Il s'agit d'autoroute à deux, trois ou quatre voies. La vitesse autorisée est de 90km/h ou 130km/h.

### 6.1.3. La pré-expérimentation

---

Une pré-expérimentation a été effectuée pour valider le protocole et les contraintes pratiques de collecte des données. Elle a inclus un total de 6 participants : 3 femmes et 3 hommes. En raison de problèmes de mise au point, nous n'avons pu recueillir un jeu de données complet que pour 4 d'entre eux. Elle a été menée pendant 3 semaines entre le 6 et le 24 mars 2006.

Après différents essais cette pré-expérimentation nous a notamment conduits à

configurer les différentes caméras disponibles comme présenté à la Figure 70. Pour chaque sujet, une vidéo contenant ces cinq images synchronisées est conservée sur bande magnétique et numérisée sous forme d'un fichier d'une taille de l'ordre de un giga octet.



Haut-Gauche : Sortie vidéo du système de perception : Les obstacles détectés sont matérialisés par un rectangle.

Haut-Droite : Scène avant.

Bas-Gauche, partie haute : Scène arrière.

Bas-Gauche, partie basse : position latérale filmée par une caméra liée au rétroviseur gauche et orientée vers le bas.

Bas-Droite : Sortie vidéo de l'oculomètre.

Figure 70 : Configuration vidéo

### 6.1.4. Conditions de déroulement de l'expérimentation

---

L'expérimentation à proprement parler, s'est déroulée du 5 octobre au 10 novembre 2006. Durant cette période nous avons bénéficié de conditions climatiques très clémentes et aucune phase de conduite n'a été effectuée sous la pluie. Nous avons globalement bénéficié de bonnes conditions de conduite avec une luminosité diffuse. Nous devons toutefois signaler des journées très ensoleillées qui pouvaient parfois entraîner des éblouissements notamment sur le premier tronçon d'autoroute orienté plein Est, alors que le soleil était encore assez bas vers 10h du matin. D'une part cela pouvait entraîner des modifications comportementales, d'autre part cela pouvait dégrader les données oculométriques, notamment pour les sujets portant des lunettes.

### 6.1.5. Les participants

---

Initialement, 25 participants avaient été planifiés. 2 d'entre eux ont du être annulés dans les premiers jours de l'expérimentation en raison de problèmes techniques sur le véhicule instrumenté. Un autre a été consacré à une analyse de cas plus exploratoire. Parmi les 22 participants restant :

- Vingt participants ont effectué le parcours de référence,
- Deux participants ont effectué un parcours constitué uniquement d'autoroute (40km) pour une observation uniquement dédiée à l'activité de changement de voie.

Les 22 participants étaient âgés de 24 à 58 ans (moyenne 33.8, écart type : 10.1). 11

d'entre eux étaient des femmes et 11 des hommes. Leur expérience de conduite allait de 2 ans à 39 ans (moyenne : 13.4, écart type : 9.7) avec un kilométrage annuel parcouru allant de 2000 à 50000km (moyenne = 13136, écart type : 10.508). Tous les participants avaient le permis de conduire classe B. Ils avaient une vision normale avec correction éventuelle.

### 6.1.6. La procédure

---

Chaque participant était reçu individuellement le matin de 9h à 12h, les jours ouvrables. Il était accueilli et informé que l'objectif de l'expérimentation était d'enregistrer leur comportement de conduite habituel. Il signait un accord de participation et remplissait un questionnaire permettant de mieux connaître leur profil de conducteur (Annexe 2). Il était informé qu'il recevrait une indemnisation de 80 euros. Il était ensuite amené au véhicule instrumenté, et informé de son fonctionnement. Une procédure de calibration individualisée de l'oculomètre était effectuée, puis les différents instruments de collecte des données étaient démarrés. Un expérimentateur occupait le siège passager avant. Un autre expérimentateur montait à l'arrière.

L'expérimentateur à l'avant demandait au participant de conduire "comme il avait l'habitude de le faire". Il lui demandait de démarrer puis lui donnait les directions à suivre au fur et à mesure. Dans les tronçons d'autoroute, l'expérimentateur à l'arrière regardait la scène de conduite et appuyait sur un bouton dès qu'apparaissait un motif pour changer de voie : en général un véhicule lent devant. Ce signal, que nous désignons dans la suite par le terme "bouton" était enregistré avec son time code dans la trace sans qu'il ne soit vu par le conducteur.

Après avoir effectué le parcours, le participant ramenait le véhicule à son point de départ. Juste après être descendu du véhicule il lui était demandé d'indiquer les situations du trajet qui l'avaient marqué ou dont il se souvenait particulièrement. Puis il lui était proposé de prendre une pause et de boire une boisson. Pendant ce temps les données collectées étaient extraites du véhicule et la trace collectée était générée. Après sa pause, le participant était invité à remplir le questionnaire de personnalité. Ensuite avait lieu l'entretien d'auto-confrontation. A la fin de cet entretien le participant était remercié et invité à déjeuner par les expérimentateurs.

Le participant réservé à une analyse de cas exploratoire a effectué un parcours uniquement urbain, pour une observation dédiée aux franchissements d'intersections. Il lui a été demandé d'indiquer une note de difficulté comprise entre 0 et 10 à chaque fois que l'expérimentateur posait la question "note ?", au cours de l'expérimentation. Cette note a été enregistrée avec son time code.

### 6.1.7. Phase d'entretien d'auto-confrontation.

---

La phase d'entretien d'auto-confrontation avait pour but de recueillir une évaluation subjective fournie par le participant à propos de certaines situations qu'il avait rencontrées au cours de la phase de conduite. Ces situations étaient les situations intéressantes sur le

plan tactique. Deux types de recueil étaient effectués : le recueil spécifique des situations de changement de voie et le recueil par formulaire d'évaluation subjective.

Le recueil spécifique des situations de changement de voie était réalisé pour toutes les situations marquées avec le "bouton" par l'expérimentateur à l'arrière.

Le recueil par formulaire était réalisé pour toutes les situations jugées intéressantes pour l'une des raisons suivantes :

- Le sujet les avait indiquées en rappel spontané après la phase de conduite.
- La situation était jugée par l'expérimentateur comme demandant un choix tactique, par exemple : le choix de la file dans un rond point, la décision de franchir un feu à l'orange, la décision de céder le passage dans des situations ambiguës, etc.

Certaines situations pouvaient faire l'objet de ces deux formes de recueil d'information subjective. C'étaient les situations de dépassement qui étaient à la fois marquées par le "bouton" et à la fois qui étaient apparues atypiques ou délicates.

### **6.1.7.1. Evaluation spécifique des situations de dépassement**

Pendant l'entretien d'auto-confrontation, la trace était visualisée avec Excel par l'expérimentateur et les time codes des actions de l'expérimentateur sur le bouton étaient retrouvés grâce aux fonctions de filtrage. L'expérimentateur qui menait l'entretien demandait alors au sujet de revoir chacune de ces situations à la vidéo et notant les informations suivantes :

Si un changement de voie avait effectivement été réalisé :

- Le time code du moment où le sujet avait commencé à y penser.
- Le time code du moment où le sujet avait arrêté d'y penser, après l'avoir exécuté.

Si aucun changement de voie n'avait été effectivement réalisé :

- Si le sujet avait, ou non, pensé à faire un changement de voie.
- Si oui, le time code du moment où il avait pensé le faire et le time code du moment où il y avait renoncé.

### **6.1.7.2. Evaluation par formulaire d'évaluation subjective**

Les situations d'intérêt étaient évaluées avec le formulaire présenté à la Figure 71.

MultiEvalueur

Insert the time code here :

Nu	Très		
<input type="range"/>	Difficile	<input type="range"/>	J'ai été surpris
<input type="range"/>	Critique	<input type="range"/>	J'ai eu peur
<input type="range"/>	Dangereuse	<input type="range"/>	J'ai fait une erreur
<input type="range"/>	Prévisible	<input type="range"/>	Fortement perturbé
<input type="range"/>	Bien maîtrisée	<input type="range"/>	Bonne Performance
<input type="range"/>	Stressante		
<input type="range"/>	Pas du tout responsable		

Figure 71 : Formulaire d'évaluation subjective

L'expérimentateur expliquait au participant qu'il devrait évaluer des situations intéressantes avec ce formulaire. Une séquence intéressante est une courte séquence de quelques secondes qui forme un tout homogène. Il lui expliquait qu'il devrait placer lui-même le curseur à l'aide de la souris sur une échelle allant de "pas du tout" à "maximum". Les différents critères étaient expliqués ainsi : Cette situation vous a-t-elle parue difficile ? Critique ? Dangereuse ? Prévisible ? Pensez-vous l'avoir bien maîtrisée ? Avez-vous été stressé ? Vous sentez-vous responsable de ce qui s'est passé ? Avez-vous été surpris ? Avez-vous eu peur ? Pensez-vous avoir commis une erreur ? Y a-t-il eu une rupture dans la situation, c'est-à-dire : contestez-vous que cette séquence forme un tout et considérez-vous plutôt qu'il s'agit d'un passage entre deux situations ? Évaluez votre performance. Enfin un champ de saisie permettait des annotations libres.

Après ces explications les séquences d'intérêt étaient revues une à une. L'expérimentateur positionnait la vidéo sur la situation d'intérêt et la rejouait autant de fois que nécessaire pour que le sujet puisse se la remémorer. L'expérimentateur saisissait le

time code de la séquence, le sujet remplissait le formulaire et le sauvegardait. Ces données étaient ensuite incluses dans les traces pour une analyse ultérieure. La position du curseur était enregistrée sous forme d'une valeur comprise entre 0 et 100. Elles étaient automatiquement remises au milieu de l'échelle entre chaque saisie.

L'expérimentateur avait la possibilité de consulter la trace collectée avec Excel afin d'accéder à des informations qui n'étaient pas visibles à la vidéo, telles que les actions sur les pédales. Ces informations, confrontées avec les déclarations du sujet permettaient d'avoir une indication de son niveau de prise de conscience de ses actes. La liste des informations ainsi collectées est donnée en 3. Par exemple, une des situations étudiées était un virage avec une rupture de courbe qui obligeait le sujet à réduire sa vitesse en milieu de virage. L'expérimentateur demandait au sujet s'il pensait avoir freiné ou non, et notait sa réponse. Il arrivait fréquemment que le sujet déclare qu'il ne pensait pas avoir freiné alors qu'en réalité il avait freiné.

De plus les sujets étaient interrogés sur leur « schémas de conduite » pour les changements de voie. C'est-à-dire qu'on leur demande d'explicitier la suite d'action qu'ils réalisent quand ils voulaient effectuer un changement de voie. Nous pouvons ensuite rechercher dans les données la concordance avec leurs actions réelles.

## 6.2. Le processus de modélisation de base

### 6.2.1. Le processus de collecte

---

#### 6.2.1.1. Données brutes

Les données recueillies dans notre expérimentation après une heure de conduite représentent un volume de l'ordre de 300Mo. Il s'agit de différentes grandeurs qui sont mesurées ou produites par les instruments et qui sont enregistrées à des fréquences d'échantillonnage diverses. Ils sont enregistrés par quatre ordinateurs différents embarqués dans le véhicule qui les répartissent ainsi :

- Les paramètres du véhicule.
- Les données du système de perception (télémètre laser et système de stéréovision).
- Les données de cartographie GPS.
- Les données oculométriques.

Outre les valeurs des mesures, ces fichiers contiennent les valeurs de variables techniques. Ces variables techniques sont destinées aux ingénieurs et techniciens pour les réglages et le contrôle des instruments.

Un premier programme écrit par les ingénieurs de l'équipe technique du Lescot effectue une première sélection de ces variables et les regroupe dans un seul fichier

Matlab. Le principe de cette sélection est de ne conserver aucune variable dont on est certain qu'elle ne servira pas aux ergonomes. Inversement toutes les variables ayant une chance de servir aux ergonomes sont conservées à ce stade. Ce choix est effectué collectivement entre les techniciens et les ergonomes. Il peut être remis en cause au fur et à mesure de processus d'analyse, et le fichier Matlab régénéré avec de nouveaux critères.

Les valeurs de ces variables sont enregistrées dans des structures de données du fichier Matlab en conservant leur format et leur fréquence d'échantillonnage initiale. Le programme effectue de plus une synchronisation des différentes sources en associant à chacune la valeur du time code qui est transmis périodiquement par le magnétoscope vidéo. Cette synchronisation peut parfois s'avérer délicate et il arrive que des problèmes techniques obligent à déterminer des offset manuellement, comme expliqué en Annexe 4 et Annexe 5. Pour cela les fonctionnalités de consultation de la trace en synchronisation avec la vidéo d'ABSTRACT s'avèrent très utiles.

Le fichier Matlab obtenu fait une taille de l'ordre de 40 à 50 Mo. Ce fichier peut être exploité par des programmes Matlab, mais son contenu ne peut pas être visualisé de manière directe dans l'interface utilisateur de Matlab, car il est trop volumineux. Ce fichier a commencé à être standardisé au Lescot avant le début de notre travail et constitue la référence utilisée pour toutes les expérimentations. Les ingénieurs de l'équipe technique du LESCOT ont initialement développé un outil en SCILAB (<http://www.scilab.org/>) pour visualiser ces données sous forme de courbes, appelé TD. Du point de vue d'ABSTRACT, ce fichier constitue les données brutes.

### 6.2.1.2. Le pré-processing

Cette étape consiste à effectuer des traitements qui préparent les données pour la production de la trace collectée. Il s'agit par exemple de filtrage du « bruit » sur les mesures analogiques ou de calibration des capteurs. Nous considérons que cette étape fait partie du processus de collecte, car il peut varier en fonction des objectifs d'analyse.

Par exemple, les filtrages des signaux sont des filtres "passe bas" (qui éliminent les fréquences élevées). La constante de temps de ces filtres est propre à chaque signal et est issue d'un compromis entre le bruit à éliminer et la précision à conserver.

Un autre exemple est donné par le cas du centrage du volant discuté en 6. Dans le cadre de l'analyse des changements de voie nous nous sommes aperçus que l'information de franchissement d'un seuil de rotation du volant de 4 degrés, constituait une information significative à condition que le volant soit centré avec une précision inférieure à 1 degré. Or ce centrage est fluctuant d'un sujet sur l'autre. Nous avons donc développé des algorithmes de pré-processing pour tenter de réaliser ce centrage automatiquement. Mais dans certains cas ces algorithmes sont pris en défaut. Nous sommes donc toujours obligés de vérifier le centrage et nous devons parfois configurer un offset manuellement. Cette étape est liée à notre objectif d'analyse des changements de voie mais ne serait pas forcément nécessaire pour d'autres analyses.

### 6.2.1.3. La trace collectée

Une grande partie du contenu de la trace collectée est produit par les algorithmes de discrétisation des variables analogiques que nous avons présentés au paragraphe 5.1.1.1. Les différents points d'intérêt sont choisis initialement sur la base de l'expertise d'analyse développée au Lescot et présentée au paragraphe 3.4.1. Ils sont ensuite affinés et validés comme expliqué au paragraphe suivant.

Des traitements spécifiques sont aussi effectués pour les données de cartographie présentés en Annexe 7, les données oculométriques présentées en 8 et les données télémétriques présentées en Annexe 9.

Le format de visualisation sous Excel de la trace collectée CSV est présenté à la Figure 72.

Time Code (secondes)	Distance (mètres)	Vitesse (km/h)	Volant (°)	Type	Propriété 1	Propriété 2	Propriété 3	Propriété 4	Propriété ...
					Valeur 1	Valeur 2	Valeur 3	Valeur 4	Valeur ...
429.07	1390.0	34.72	-100.12	Eye_Right	duration	2.52297	Frame	73361	
429.07	1390.0	34.72	-100.12	Steering	subtype	Min	value	-107.88	property
429.07	1394.0	35.30	-107.95	Obstacle	subtype	Objc	obstacleID	074	nc
429.07	1394.0	35.30	-107.95	Gyromètre	subtype	Max	value	1.28	property
429.07	1395.0	35.74	-102.04	Clutch	subtype	Threshold_Driver	value	15.73	property
429.07	1399.0	36.26	-90.26	Gyromètre	subtype	Entropy	value	1.28	property
430.00	1400.0	36.6	-71.5	Interview	Default	0	Dangerous	0	Threshold
430.00	1401.0	36.33	-66.69	Obstacle	subtype	Objc	obstacleID	707	nc
430.15	1401.0	37.04	-63.15	Accélérateur	subtype	Max_Variable	value	42.41	property
430.21	1402.0	37.22	-60.01	Gyromètre	subtype	Min_Variable	value	1.89	property
430.21	1402.0	37.22	-60.01	Steering	subtype	Max_Variable	value	-68.65	property
430.26	1403.0	37.63	-47.59	Obstacle	subtype	Objc	obstacleID	074	nc
430.48	1406.0	38.08	-38.04	Obstacle	subtype	Entropy	obstacleID	707	nc
430.59	1406.0	38.30	-27.72	Obstacle	subtype	Objc	obstacleID	711	nc
430.62	1406.4	38.44	-26.04	Accélérateur	subtype	Max	value	62.26	property
430.83	1408.0	39.19	-16.44	Button	subtype	Threshold_Up	value	5.12	property
430.89	1410.0	39.7	-0.4	Obstacle	subtype	Objc	obstacleID	707	nc
431.01	1410.0	39.7	-7.87	Indicator_Off	duration	0	158		
431.1	1411.0	40.26	-6.92	Clutch	subtype	Threshold_Up	value	25.05	property
431.14	1412.0	40.2	-6.04	Speed	subtype	Max_Variable	value	45.19	property
431.23	1413.4	40.53	-3.79	Obstacle	subtype	Entropy	obstacleID	711	nc
431.33	1413.4	41.53	-3.79	Steering	subtype	Threshold_Driver	value	3.96	property
431.36	1413.0	41	-4	Carpe	latitude	457443150	longitude	4552200	altitude

Figure 72 : Visualisation de la trace collectée sous Excel

La première colonne indique le time code en secondes avec deux décimales. Ce temps débute au moment du démarrage de la vidéo. On voit dans cet exemple qu'il y a cinq événements pendant la seconde 429. La deuxième colonne indique la distance parcourue depuis le début du trajet en mètres avec une décimale. La troisième colonne indique la vitesse en km/h et la quatrième indique l'angle du volant en degrés. Ces deux colonnes ont été ajoutées à l'usage parce qu'il s'est avéré très utile de toujours avoir ces indications de comportement longitudinal et latéral du véhicule pour interpréter les autres événements. La cinquième colonne indique le type de l'événement. En général, il s'agit du nom de la variable à l'origine de l'événement, par exemple steering : volant, obstacle : système de perception, gyromètre, Clutch : pédale d'embrayage, Interview : évaluation subjective. Pour d'autres sources de traçage, nous générons plusieurs types d'événements à partir de chaque source. Par exemple chaque zone de l'oculomètre génère un type d'événement, tel que Eye\_Right qui indique que le sujet regarde dans la zone à droite. A partir du clignotant, nous générons les événements Indicator\_Right, Indicator\_Left, Indicator\_Off. Les colonnes suivantes sont des couples (nom de la propriété, valeur). Ces propriétés sont spécifiques au type d'événement. Par exemple l'événement "Eye\_Right" a la propriété "durée" (ici 2.52 secondes), et la propriété "Frame" qui est le numéro d'image traitée par l'oculomètre. Celui-ci est également affiché sur la

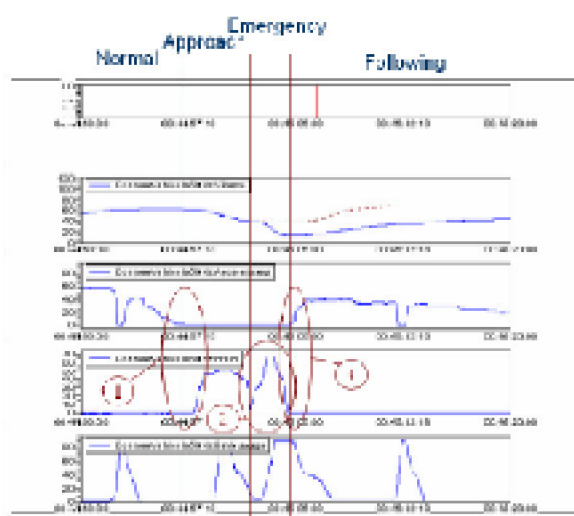


vidéo ce qui permet de vérifier qu'il n'y a pas de désynchronisation. Dans le cas des variables analogiques, leur propriété 1 est "subtype" et indique le type de point d'intérêt de la courbe, par exemple (Min : Minimum local, Max : Maximum local, Threshold\_Down : franchissement de seuil vers le bas, Entropy : "choc"). Leur propriété 2 nommée "value" correspond à la valeur de la variable à ce point. Leur propriété 3 nommée "property" correspond à la valeur de la dérivée de la variable en ce point sauf pour les points de sous-type "Entropy" où il s'agit de la valeur de la dérivée seconde. Les propriétés de longitude et latitude obtenues par le système de positionnement GPS ont été ajoutées à l'usage pour permettre de localiser les observés sur une carte. Pour l'événement "Interview", on retrouve les critères d'évaluation subjective présentés au paragraphe 6.1.7.2. Un code de couleur est associé à chaque type d'événement afin de faciliter sa lisibilité. Nous conservons le même code dans AbstractXML.

En pratique, les traces collectées que nous produisons à partir d'une heure de conduite contiennent entre 20000 et 30000 observés, c'est-à-dire entre 5 et 10 par secondes. Une fois mis en forme sous Excel, la taille des fichiers est de l'ordre de 5Mo. Cela ne représente pas des volumes trop élevés pour Excel qui manipule sans problème des fichiers jusqu'à 65000 lignes.

### 6.2.1.4. La validation de la trace collectée

La trace collectée présentée au paragraphe précédent est le fruit d'un processus évolutif d'essai/validation. Le but recherché est que la trace nous permette de comprendre l'activité sous l'angle de notre problématique de recherche, c'est-à-dire d'un point de vue cognitif. Pour cela nous sommes partis des méthodes d'analyse telles qu'elles étaient pratiquées au Lescot avant nous. La Figure 73 présente une telle analyse effectuée à partir des courbes des données collectées. Cet exemple d'analyse illustre comment une situation peut être expliquée en terme d'erreur de conscience de la situation du conducteur. Le sujet arrive sur un véhicule lent et croit que celui-ci va démarrer. Mais il prend brusquement conscience que ce dernier ne démarre pas et il est obligé de donner un fort coup de frein pour éviter la collision. Cette explication est confirmée par une interview avec le conducteur qui déclare, de plus, avoir eu peur de la collision.



1) Début de phase de décélération douce : la vitesse commence à décroître doucement, la pédale d'accélérateur est relâchée doucement également et il y a un temps de passage accélérateur-frein assez long (de l'ordre de la seconde). La pente de la pédale de frein n'est pas trop brusque et il y a un premier maximum de freinage de l'ordre de 50% de la course de la pédale. Cet événement correspond à un début de phase d'approche vers un véhicule lent qui se traduit par une stabilisation de la vitesse aux alentours de 40km/h. Il est probable à ce moment que le conducteur anticipe le fait que le véhicule lent va accélérer, et qu'il pourra donc suivre un profil de vitesse tel que représenté en pointillé rouge.

2) Coup de frein important (65%) et forte décélération. À ce moment là le conducteur prend conscience que son anticipation de la situation est mauvaise et entame une manœuvre d'urgence.

3) La pédale de frein est relâchée, le conducteur accélère tranquillement ce qui correspond à une phase de suivi du véhicule.

Figure 73 : Analyse d'une séquence d'erreur de CS

En faisant cette analyse, l'ergonome reconnaît visuellement les points d'intérêt dans les courbes. L'objectif de notre paramétrage est d'identifier automatiquement ces points ; ou tout au moins des points qui s'en approchent le plus possible.

Pour cela nous avons développé l'outil de validation présenté à la Figure 74 qui permet d'afficher conjointement la vidéo, les courbes et la trace. Cet outil est une extension de l'outil TD développé par les ingénieurs de l'équipe technique du Lescot. Lorsque la vidéo est pilotée grâce aux boutons de contrôle, le curseur rouge se déplace au dessus des courbes, et la trace est automatiquement décalée ("scrollée") dans Excel de telle sorte que la ligne sélectionnée corresponde toujours au time code courant de la vidéo ; sur la figure : le time code 2698.27s = 44 min, 58 s, 6 image.

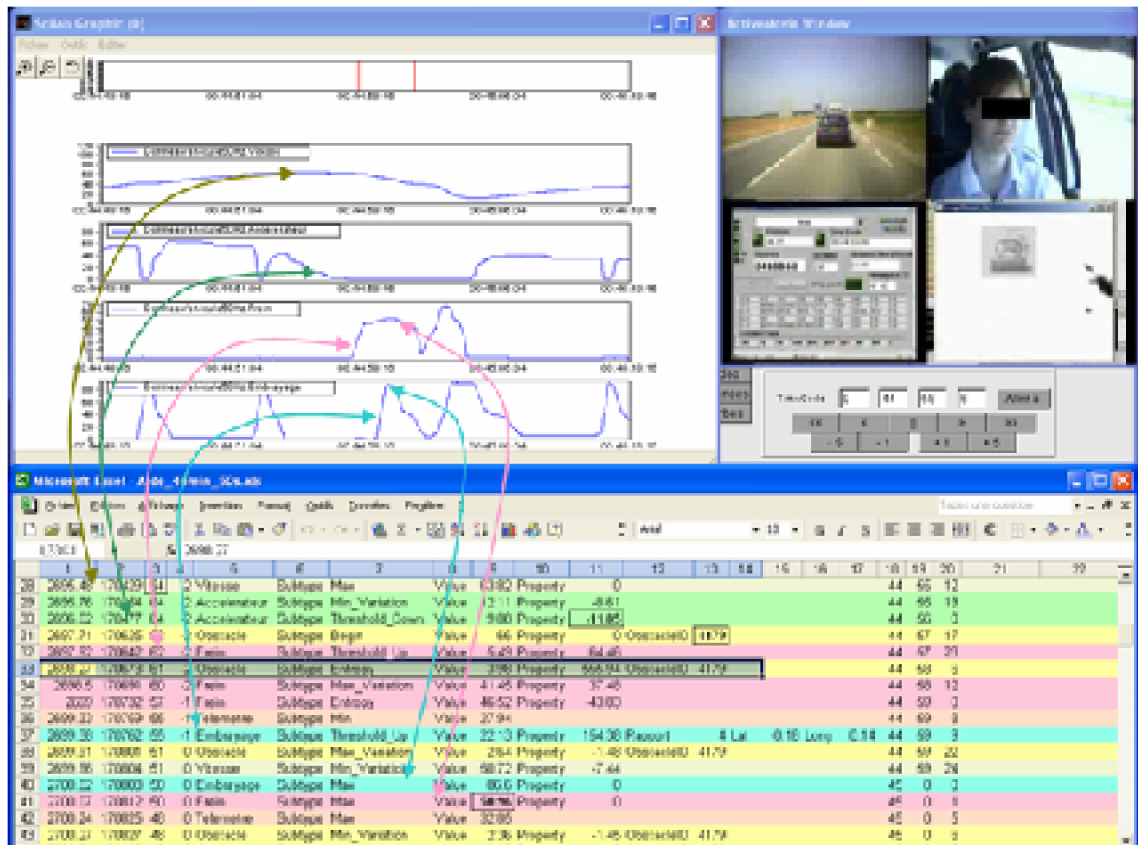


Figure 74 : Outil de validation de la trace collectée

Cette figure montre que les points d'intérêt des courbes ont été retrouvés dans la trace : le maximum de vitesse à 63.82 km/h. Le relâchement "doux" de la pédale d'accélérateur avec une dérivée de -11.85 %/s. Le début d'action sur la pédale de frein. Un début de débrayage. Le premier maximum de frein à 50.96%.

## 6.2.2. Le premier niveau de trace analysée

### 6.2.2.1. Import des traces collectées

Au paragraphe précédent nous avons montré que les traces collectées contenaient des événements significatifs permettant de comprendre l'activité d'un point de vue cognitif. Mais elles contenaient également de nombreux événements de bas niveau qui ne sont pas tous nécessaires pour l'analyse. Ce volume ne pose pas de problème pour la

manipulation des traces sous Excel. En revanche il entraîne des temps de traitements trop élevés dès que les traces sont importées dans ABSTRACT. Nous réalisons donc un premier filtrage au moment de l'import des traces collectées. Ce filtrage consiste à ne pas importer les événements ayant un type et un sous-type inintéressant pour notre analyse courante. En particulier, nous n'importons pas pour l'instant les données du gyromètre, car elles s'avèrent assez redondantes avec l'angle du volant pour étudier le contrôle latéral au niveau tactique. Nous n'importons pas non plus les points d'entropie des courbes qui s'avèrent délicats à interpréter sans une analyse plus approfondie.

De plus, à la suite de l'import, nous avons réalisé des scripts batch automatiques qui tronçonnent les traces en trois sections distinctes en se basant sur les données cartographiques :

- La section urbaine et périurbaine
- La section d'autoroute aller de Lyon à Saint Exupéry.
- La section d'autoroute retour de Saint Exupéry à Lyon.

Ce tronçonnage présente un double avantage. D'une part il réduit les traces à des tailles qui permettent une manipulation aisée sous ABSTRACT. D'autre part il produit des traces homogènes en termes de situations de conduite et facilite des analyses spécialisées. Le fonctionnement de ce tronçonnage est lié à l'analyse des données cartographiques avec ABSTRACT qui est expliqué en 7.

### 6.2.2.2. Les traces analysées

Même après filtrage sur les types et sous-types d'observés, les traces collectées contiennent encore beaucoup d'observés inutiles. De plus, le niveau de description de l'activité est encore un niveau très technique. Ce niveau nécessite de comprendre des notions mathématiques d'analyse des courbes ainsi que d'interpréter les comportements élémentaires, tels que les directions de regard. Nous aimerions atteindre une description qui se situe au même niveau que celle que les conducteurs utilisent eux-mêmes pour décrire leur activité, c'est-à-dire un niveau de l'ordre de la psychologie du conducteur.

Pour cela les premiers aspects que nous pouvons modéliser sont le comportement longitudinal et latéral du véhicule à partir de la vitesse et de l'angle du volant. Concernant la vitesse, on constate de nombreux observés inutiles dans la trace collectées qui sont les Min et Max locaux pendant les phases de vitesse stable (Figure 75). Ils sont dus à des petites variations de la vitesse qui ne nous intéressent pas pour une étude des comportements tactiques. De même on constate des successions de Min\_Variation et Max\_Variation dans les phases d'accélération ou de décélération.

Pour l'analyse des changements de voie sur autoroute, nous aimerions avoir seulement des indicateurs de début et de fin de phases de vitesse stable, ainsi que des indicateurs début et de fin de phases d'ajustement de la vitesse. Ces phases d'ajustement correspondraient à des moments où le conducteur doit se synchroniser derrière un véhicule plus lent ou des moments où il reprend sa vitesse préférée en doublant un véhicule.

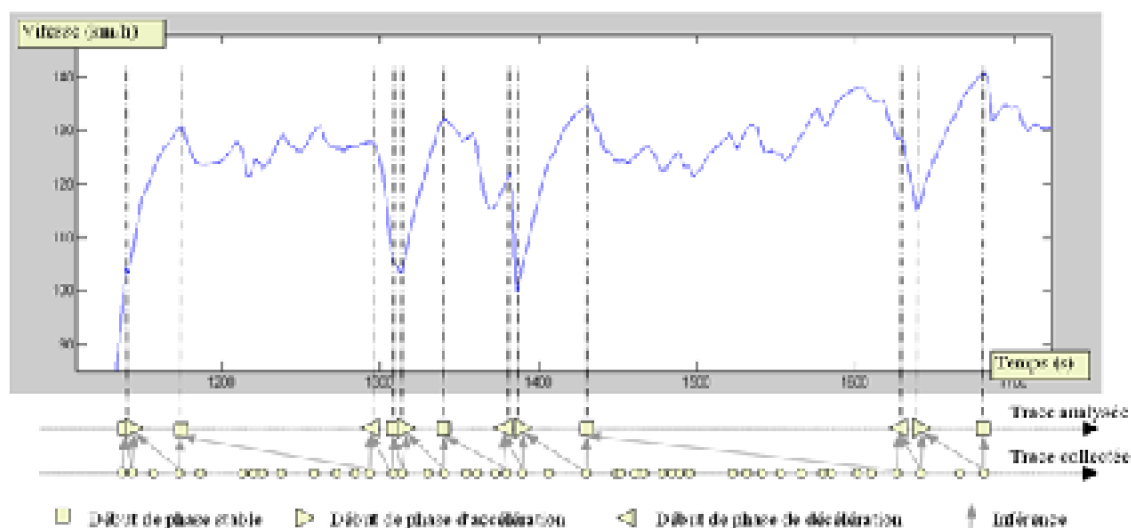


Figure 75 : Inférence d'observés de niveau 2 pour la vitesse

La Figure 75 montre la courbe de vitesse avec de nombreux min et max locaux qui se traduisent par de nombreux observés dans la trace collectée. Elle montre les observés de la trace analysée inférés à partir de la trace collectée. Les règles d'inférence utilisées sont données dans le Tableau 3. Elles se basent sur une ontologie dans laquelle les observés "Start\_Up", "Stop\_Down", "Speed\_Up", "Speed\_Down", "Shift\_Speed\_Up", "Shift\_Speed\_Down" sont définis comme des sous-classes de "Speed\_Change".

Tableau 3 : Règles d'inférence de vitesse

Observé	Description	Règle d'inférence
Stop	Le véhicule est arrêté	Vitesse inférieure au seuil de 5km/h
Start_Up	Accélération à partir de l'arrêt	De "Stop" vers un Max
Stop_Down	Décélération menant à l'arrêt	D'un Max vers "Stop"
Speed_Up	Accélération	D'un Min vers un Max avec un $\text{Max\_Variation} > 2\text{m/s}^2$ entre les deux
Speed_Down	Décélération	D'un Max vers un Min avec un $\text{Max\_Variation} < -2\text{m/s}^2$ entre les deux
Shift_Speed_Up	Ajustement de la vitesse vers le haut	D'un Min vers un Max avec un $1 > \text{Max\_Variation} > 2\text{m/s}^2$ entre les deux
Shift_Speed_Down	Ajustement de la vitesse vers le bas	D'un Max vers un Min avec un $-1 < \text{Max\_Variation} < -2\text{m/s}^2$ entre les deux
Stable_Speed	Vitesse stable	Entre n'importe quelles sortes de "Speed_Change" ou "Stop"

Ces phases de la vitesse pourraient peut-être être produites par des algorithmes de traitement du signal appliqués directement aux données de vitesse brute. Cependant il ne s'agit pas de trouver des propriétés mathématiques générales des courbes mais de trouver des propriétés spécifiques d'une courbe de vitesse d'un véhicule qui soient intéressantes pour une analyse donnée. Ces règles d'inférences n'ont pas de fondement mathématique. Elles sont issues de notre souhait de mettre en évidence des

accélérations et décélérations significatives. Les seuils de  $1\text{m/s}^2$  et  $2\text{m/s}^2$  qui apparaissent dans ces règles proviennent de notre observation de la trace collectée. Ils constituent une hypothèse de modélisation qui est à la fois exprimée et confirmée de manière satisfaisante par ces règles. Ces seuils pourraient être affinés à l'avenir, des conditions sur la pédale d'accélérateur ou de frein pourraient également être utilisées dans ces règles.

Nous avons défini les mêmes genres d'observés pour décrire les actions sur le volant, et les regards. De même que pour la production de la trace collectée, ce niveau d'abstraction implique des choix qui ne sont pas faciles à décider et pour lesquels nous pouvons difficilement trouver des arguments scientifiques à partir d'études antérieures. Nous devons donc les prendre comme des hypothèses que nous faisons de manière pragmatique par rapport à leur pouvoir de décrire l'activité. Pour cette confirmation pragmatique nous avons recours à la visualisation des traces sous AbstractXML.

### 6.2.2.3. La visualisation des traces de conduite sous AbstractXML

Nous avons vu au paragraphe 5.1.2.3 qu'AbstractXML offrait la possibilité à ses utilisateurs de configurer la visualisation des traces. Cela nous a permis de mettre au point un mode de visualisation adapté à la conduite automobile. Pour l'instant nous n'exploitons que trois paramètres de visualisation des observés : leur couleur, leur forme et leur position en ordonnée.

L'usage nous a conduit à utiliser le paramètre "ordonnée" pour exprimer deux informations différentes : le niveau d'abstraction et la dualité longitudinal/latéral propre à la conduite automobile (Figure 76).

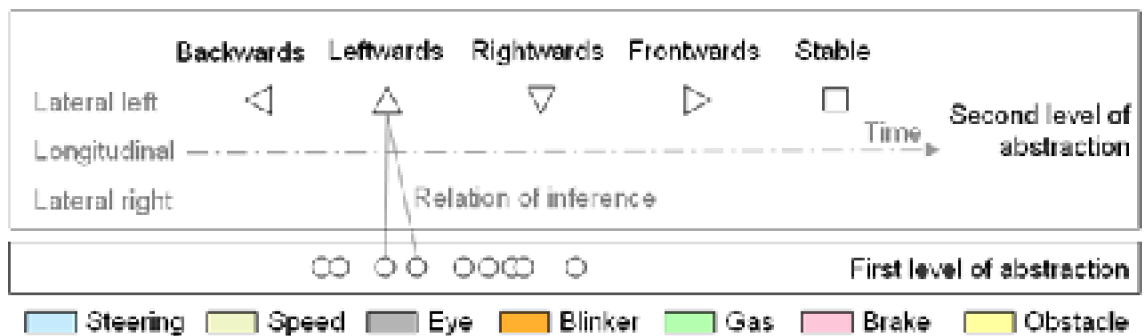


Figure 76 : La légende des traces

Pour séparer les niveaux d'abstraction, nous découpons l'espace de visualisation en deux zones : la zone basse pour le premier niveau d'abstraction qui correspond à la trace collectée et la zone haute pour le deuxième niveau. Nous représentons la dualité longitudinal/latéral sur le deuxième niveau uniquement. Pour cela nous avons ajouté un axe en trait pointillé mixte pour représenter l'axe longitudinal du véhicule. Il représente aussi l'axe du temps. Nous plaçons sur cet axe les symboles qui concernent le contrôle longitudinal du véhicule, tels que la vitesse. Nous plaçons au-dessus de cet axe les symboles qui concernent le contrôle latéral vers la gauche, et au-dessous les symboles qui concernent le contrôle latéral vers la droite.

Nous utilisons de plus la forme des symboles pour donner une idée générale de

protégé en vertu de la loi du droit d'auteur.

direction. Les triangles pointant vers la gauche sont utilisés pour indiquer une direction vers l'arrière ; pointant vers la droite : une direction vers l'avant ; pointant vers le haut : une direction vers la gauche ; pointant vers le bas : une direction vers la droite. Les carrés sont utilisés pour donner une idée de stabilité.

Par exemple, la Figure 77 représente un changement de voie sur autoroute. Le premier symbole à gauche, de couleur ocre, est un observé de vitesse, pointant vers l'avant il signale une accélération. Le second symbole, gris, signale un regard ; pointant vers l'arrière il indique un regard dans le rétroviseur ; au-dessus de l'axe il indique qu'il s'agit du rétroviseur gauche. Le triangle orange au-dessus de l'axe vers le haut indique l'allumage du clignotant gauche. Le rond bleu foncé a été placé au-dessus du deuxième niveau d'abstraction, c'est l'appui sur le bouton par l'expérimentateur qui marque le changement de voie. Le triangle bleu clair, au-dessus de l'axe vers le haut indique le début de mouvement du volant vers la gauche. Le carré bleu clair au-dessus de l'axe indique la stabilisation du volant en position à gauche. Le triangle gris sur l'axe, pointant vers l'avant représente un regard tout droit dans l'axe du véhicule. Le symbole bleu clair, au-dessus de l'axe, pointant vers le bas indique le début du retour du volant vers la position centrale. Le carré bleu indique la stabilisation du volant en position centrale. Le carré orange indique l'arrêt du clignotant. On observe en outre des regards vers les zones gauche et droite (plusieurs triangles gris pointant vers le haut et le bas).

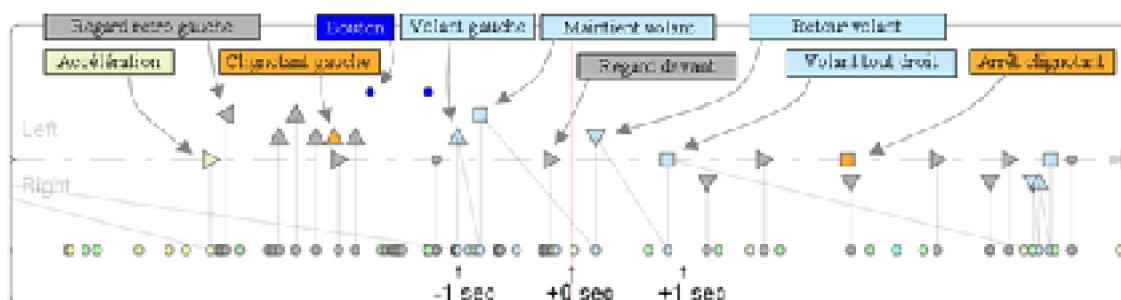


Figure 77 : Visualisation d'un changement de voie

Par ailleurs, nous avons créé différentes feuilles de style qui permettent de visualiser la trace selon différentes échelles de temps. Dans le cas de cette figure il s'agit d'une visualisation d'un intervalle de 10 secondes adapté à l'étude des comportements tactiques. La Figure 78 montre une trace entière avec seulement certains symboles affichés : les regards rétroviseur gauche (triangles gris), les accélérations (triangles ocre), les clignotants (orange), les actions de l'expérimentateur sur le bouton (ronds bleus foncés), et les repères cartographiques (vert).

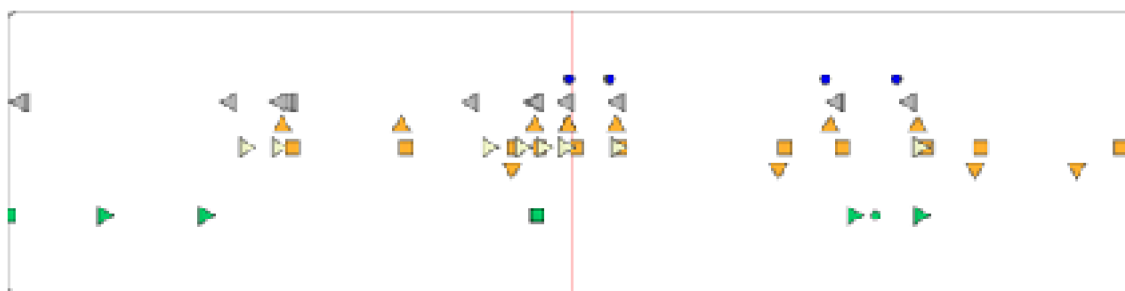


Figure 78 : Visualisation d'une trace entière

Cette trace est une section d'autoroute d'une quinzaine de kilomètres produite entre des repères cartographiques d'entrée à Saint-Exupéry et de sortie à Bron (carrés verts à chaque extrémité) comme expliqué au paragraphe 6.2.2.1. Cette visualisation permet de repérer les changements de voie qui ont été marqués par l'expérimentateur, ainsi que d'autres présomptions ou tentatives de changement de voie qui sont reconnaissables par les actions sur le clignotant, les regards dans le rétroviseur et les accélérations.

Cette symbolique de visualisation peut paraître compliquée pour le lecteur qui la découvre pour la première fois, mais une fois que son principe est compris elle devient rapidement familière. Il est important que le lecteur prenne le temps de l'assimiler, car nous nous appuyons dessus dans la suite de ce document. Pour l'utilisateur du système, c'est d'autant plus facile que c'est lui-même qui crée les symboles au fur et à mesure de ses besoins.

Cette symbolique a été construite à l'usage et a atteint maintenant une relative stabilité. Son évolution est cependant toujours possible. D'autres paramètres de visualisation des observés pourraient être exploités à l'avenir, tels que la couleur et l'épaisseur de leur trait de contour ou leur texture de fond. De plus, d'autres formes pourraient aussi être définies au fur et à mesure des besoins, telles que des losanges.

### 6.2.2.4. La construction de l'ontologie

Le paragraphe 5.1.2.4 décrit les principes généraux de la construction de l'ontologie dans ABSTRACT. Nous avons vu qu'au départ l'utilisateur était libre d'organiser les différents types d'observés à sa guise, mais que cette organisation se trouvait progressivement contrainte par les traitements d'inférence ou de visualisation qui leur étaient associés.

Initialement nous nous basons donc sur les pratiques courantes ou issues de la littérature pour construire l'ontologie. Des catégories globales sont par exemple énoncées par Tango & Montanari : l'environnement, le conducteur, le véhicule, le trafic, l'infrastructure. En pratique nous avons distingué deux classes à la racine : la classe des observés collectés (CO : "Collect Objects") et la classe des observés produits par l'analyse (Activity\_Analysis). La classe CO est ensuite décomposée en quatre sous-classes présentées à la Figure 79. Ces quatre sous-classes et certaines de leurs descendantes ne servent pour l'instant qu'à organiser l'ontologie mais n'ont pas de conséquence formelle, elles sont purement arbitraires. Par exemple la classe "steering" (volant) pourrait aussi bien être classée comme sous classe de "Car\_Lateral\_Dynamic" plutôt que de "Driver\_Action". En revanche les classes de niveau inférieur ont un rôle pour la visualisation : c'est à leur niveau qu'est défini la couleur des observés de leurs sous-classes. Par exemple la couleur grise pour les observés obtenus par l'oculomètre est définie au niveau de la classe "Eye". Cette classe se décompose en de nombreuses sous-classes présentées en 8, qui sont exploitées pour la modélisation des regards par les requêtes SPARQL.

La Figure 80 montre l'ontologie du premier niveau d'analyse décrit au paragraphe 6.2.2.2, avec l'exemple de la classe "Speed\_Change" déployée.



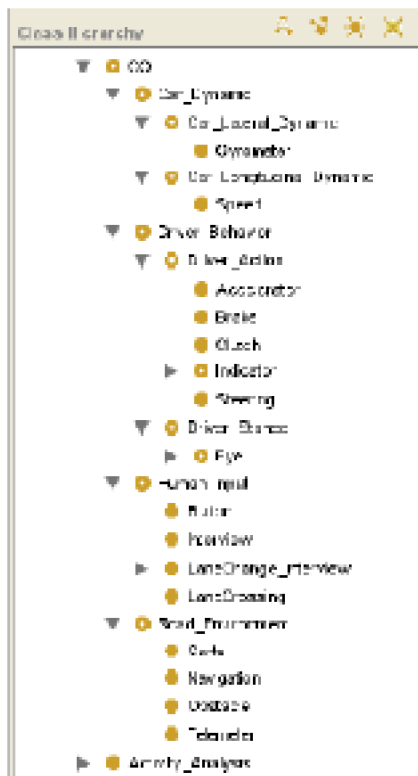


Figure 79 : Racine de l'ontologie des observés collectés

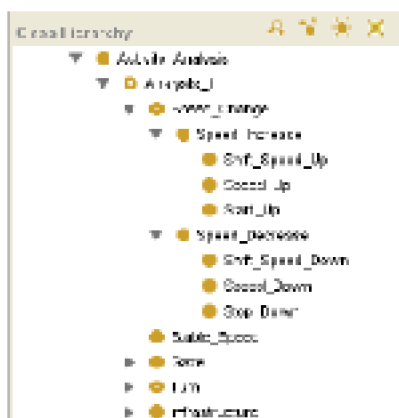


Figure 80 : Racine de l'ontologie d'analyse 1

A la racine, l'ontologie est organisée en deux classes : CO (observés collectés) et Activity\_analysis (observés issus de l'analyse).

La classe CO contient 4 sous-classes :

**Car\_Dynamic** : la dynamique du véhicule, latérale et longitudinale

**Driver Behavior** : Le comportement du conducteur : ses actions sur les commandes (pédales, clignotant, volant) et ses mouvements notamment ses regards mesurés par l'oculomètre

**Human\_Input** : Les données entrées manuellement : l'action de l'expérimentateur sur le bouton pour indiquer les changements de voie, ou les résultats des entretiens.

**Road\_Environment** : Les informations sur l'environnement : données cartographiques, position GPS, détection d'obstacle.

**Ontologie du premier niveau d'analyse :**

La modélisation de la vitesse distingue les classes "Speed\_Change" et "Stable\_Speed". La classe "Speed\_Change" est déployée à titre d'exemple.

Les classes de modélisation des regards sont définies comme sous-classes de la classe "Gaze".

Les classes de modélisation des actions sur le volant sont définies comme sous classes de "Turn".

Les classes des repères cartographiques pour le découpage de traces sont définies comme sous-classes de "Infrastructure".

L'objectif est de définir et d'expliquer le plus précisément possible ces catégories afin qu'elles soient compréhensibles par la communauté de l'ergonomie cognitive du conducteur automobile. De cette façon, d'autres membres de cette communauté auront la possibilité de reproduire cette analyse, avec leur propre point de vue, mais avec la possibilité de le discuter avec nous.

### 6.2.3. Conclusion

Nous avons présenté notre processus de modélisation des traces avec ABSTRACT pour atteindre un niveau de description qui puisse nous servir de base pour la modélisation

cognitive. Ce processus peut être décomposé en trois niveaux d'abstraction :

- Le niveau 0 est constitué des données brutes pré-traitées. C'est le niveau d'entrée du système de collecte.
- Le niveau 1 est constitué de la trace collectée. C'est à la fois le niveau de sortie du système de collecte et le niveau d'entrée du système à base de traces.
- Le niveau 2 est constitué de la modélisation de base de la trace que nous venons de présenter.

Ce niveau 2 correspond à un niveau d'abstraction de l'ordre de celui que les conducteurs eux-mêmes utilisent pour décrire leur propre activité. C'est-à-dire que ce processus nous permet, en tant qu'ergonome, d'explicitier l'activité que nous observons, d'une façon qui rejoint la façon dont elle peut être explicitée par le conducteur lui-même, à travers ses propres concepts et son propre vécu de la situation.

Pour cela, nous définissons, avec ABSTRACT, des symboles qui sont d'une part compréhensibles par toute personne capable de comprendre l'activité de conduite, et d'autre part qui sont calculables de manière automatique à partir des données collectées. Nous les définissons en fonction de nos intentions de modélisation et en fonction des possibilités que nous avons de les calculer. Nous effectuons un rapprochement entre notre idée de l'activité de conduite, la réalité de l'activité observée et ce que peut nous dire le conducteur à propos de son activité. Les significations des symboles ainsi produits se situent donc dans un intermédiaire entre ces deux contraintes. D'un côté, elles ne correspondent pas exactement aux significations que portent leurs libellés dans le langage courant. De l'autre côté, elles ne constituent pas une description neutre de l'activité qui serait dégagée de toute interprétation de notre part. Malgré cela, ces symboles ont une valeur pragmatique : ils nous aident réellement à comprendre l'activité à travers les données recueillies. Il y a convergence entre un langage issu des données et un langage issu de l'opérateur et de l'ergonome, mais ce langage peut produire des discours différents. Il permet justement de confronter les discours produits par l'ergonome ou par l'opérateur, aux discours produits par les faits observés, afin de les faire converger.

En facilitant cette confrontation, ABSTRACT offre un support pour notre projet de modélisation cognitive du conducteur. C'est ce que nous nous proposons de montrer dans les exemples présentés au paragraphe suivant. Ces exemples visent à inférer des connaissances à propos des schémas cognitifs mis en œuvre par le conducteur. Ces inférences constituent un troisième niveau d'abstraction et d'analyse.

## 6.3. Construction de modèles cognitifs appliqués aux changements de voie sur autoroute

### 6.3.1. Introduction

---

A partir du niveau de modélisation de l'activité obtenu au paragraphe précédent nous avons mené un processus de modélisation approfondie des changements de voie sur autoroute dans le but d'une part de trouver des schémas typiques de comportements qui puissent correspondre à des schémas cognitifs, et d'autre part de trouver des prédicteurs de comportements qui puissent être exploitables pour l'évaluation ou la conception de systèmes d'assistance à la conduite. Par exemple, ces systèmes peuvent être des systèmes d'évitement des risques de collision dans les situations de dépassement ; ou des systèmes d'alerte en cas de changement de voie non désirés qu'il s'agit justement de ne pas activer lorsque le changement de voie est volontaire (LDW : Lane Departure Warning system).

Ces recherches de schémas typiques ou de prédicteurs de comportements sont en réalité liées et constituent simplement deux façons différentes de poser le problème. En effet, des prédicteurs de comportement ne peuvent être trouvés que par le fait même qu'il existe des schémas typiques de comportements.

### 6.3.2. Apport de la littérature

---

Nous avons présenté une revue de littérature sur les changements de voie au paragraphe 2.4.7. Cette revue nous propose un schéma typique de changement de voie constituée de la présence d'un motif de dépassement (par exemple un véhicule lent devant), la collecte d'information sur les conditions de trafic, la prise de décision, la mise en œuvre de la manœuvre de dépassement. De plus, elle nous apporte une indication sur les variables susceptibles d'être utiles pour notre analyse. En revanche, elle ne nous propose pas de prédicteur de changement de voie efficace en situation réelle. Seul le regard dans le rétroviseur gauche est proposé mais il donne lieu à beaucoup de fausses prédictions.

Malgré cet apport limité au niveau cognitif, il nous semble intéressant de témoigner ici d'un exemple d'apport de plus bas niveau. Cette revue nous a permis de voir dans nos traces une information pour laquelle nous étions totalement aveugles avant cela. Il s'agit des regards vers la voie de gauche qui anticipent la réalisation du changement de voie. Avant que notre attention ne soit attirée sur ce point, les observés correspondant étaient pour nous totalement noyés parmi de nombreux observés inintéressants. Nous avons finalement pu les mettre en évidence de manière significative. Pour cela, nous avons dû éliminer le bruit correspondant aux zones transitoires et aux durées trop courtes, et garder à la fois les observés correspondant aux zones "Left" et "Far\_Left", comme expliqué dans l' 8. Cela nous incite dans nos prochaines études à agrandir la zone "Left" en direction de la gauche et à écarter davantage la zone "Far\_Left". Cependant, ces regards à gauche ne constituent pas, à eux seuls, un bon prédicteur de changement de voie, car ils apparaissent trop fréquemment, ce qui conduirait à de nombreuses fausses prédictions.

### 6.3.3. Identification de comportements typiques

---

Nous donnons en 11 un compte rendu détaillé du processus d'analyse des changements de voie qui nous a conduits à produire les modèles que nous résumons ici. Ce processus se base sur une utilisation conjointe des vidéos et des traces. Les traces sont utilisées au

départ pour fournir une visualisation globale des sections de trajet sur autoroute. Cette visualisation met en évidence des épisodes intéressants qui doivent ensuite être visionnés à la vidéo pour être compris. Ces épisodes intéressants sont recherchés selon des critères construits au fur et à mesure de l'analyse. Au départ, nous nous basons sur les critères simples : le bouton actionné par l'expérimentateur, et le clignotant. Puis nous utilisons des observés qui sont progressivement affinés tels que les accélérations et les regards dans les rétroviseurs. Nous définissons ces observés avec l'objectif de modéliser les dépassements, mais parallèlement, ces observés attirent notre attention sur d'autres types de situations, telles que des situations où l'expérimentateur n'a pas signalé le motif de dépassement, des situations où le conducteur n'a pas mis son clignotant ou des situations où il a abandonné la manœuvre de changement de voie au dernier moment. Ce processus d'analyse a le mérite de nous faire prendre conscience de toute la variabilité des situations de conduite rencontrées pendant l'exercice de cette activité en condition naturelle.

Malgré cette variabilité nous avons pu mettre en évidence deux schémas typiques qui sont représentés Figure 81 et Figure 82. Pour pouvoir les comparer nous les avons centrés sur la première détection de mouvement du volant (Seuil de 4°). Nous avons ajouté dans les traces les informations issues de l'entretien d'auto-confrontation : le moment où le sujet commence à penser au dépassement ("Start thinking") (dans le cas de la Figure 81 il est situé 5s avant le début de la zone affichée). Nous avons aussi ajouté le moment où la roue avant franchi la ligne pointillée ("Lane crossing"). Cette information est obtenue par dépouillement manuel des vidéos. Les schémas représentés en haut de ces figures ont été dessinés manuellement. Ils constituent des "documentations" des observés "Lane\_change\_anticipated" et "Lane\_change\_delayed" définis dans ABSTRACT. Ils respectent le rapport d'échelle vertical/horizontal : environ 300m de long pour des voies de 4m de large.

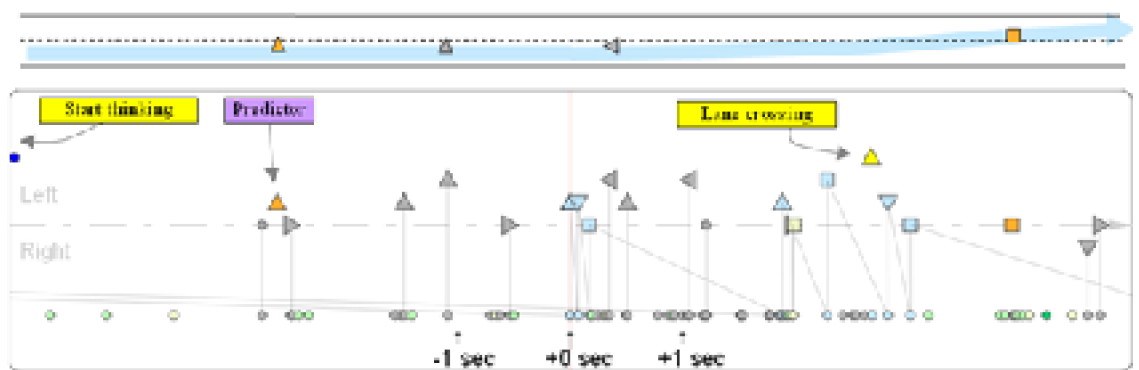


Figure 81 : Changement de voie anticipé et sans accélération (Lane\_change\_anticipated)

La trace ABSTRACT de la Figure 81 montre le dépassement réalisé par le sujet 15 au time code 2426. Ce dépassement est un prototype d'un schéma que nous résumons sur la partie haute de la figure. Ce dépassement est réalisé par anticipation, cela est possible en général quand il y a peu de trafic et une grande visibilité. Le véhicule lent peut être repéré longtemps à l'avance et le dépassement peut être engagé avant que le sujet n'ait à réduire sa vitesse. Dans ce cas, le meilleur prédicteur du dépassement est souvent l'allumage du clignotant qui est réalisé plusieurs secondes avant les premiers signes

comportementaux du début de la manœuvre. Ensuite, on observe des regards vers la voie de gauche qui anticipent le mouvement du volant, et des regards vers le rétroviseur pour confirmer que la voie est libre au moment de la manœuvre.

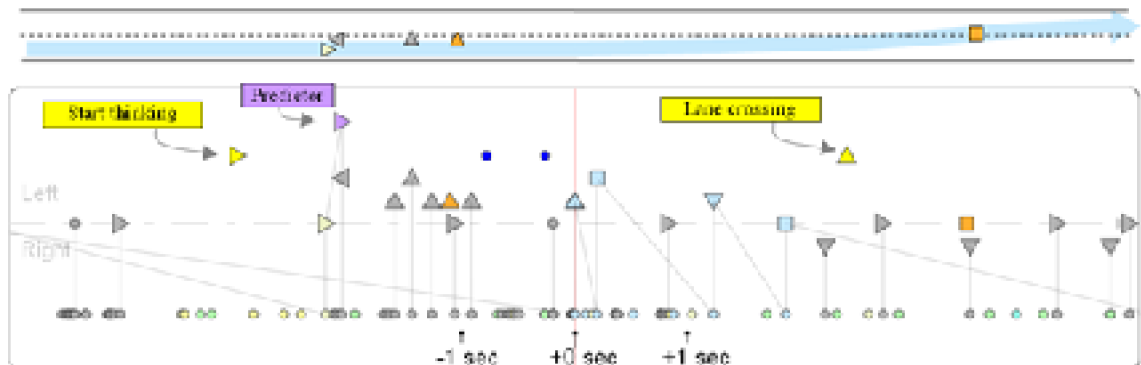


Figure 82 : Changement de voie non anticipé avec accélération (*Lane\_change\_delayed*)

La trace ABSTRACT de la Figure 82 montre le dépassement réalisé par le sujet 15 au time code 2289. Ce dépassement est un prototype du schéma représenté sur la partie haute de la figure. Le sujet est ralenti par un véhicule plus lent devant lui. Il n'a pas pu anticiper le dépassement, soit à cause du trafic, soit à cause des particularités de l'infrastructure. Dans ce cas, quand il décide de doubler, il accélère en vérifiant son rétroviseur, tout en conservant une marge de manœuvre, au cas où la voie de gauche ne serait pas libre. Si la voie est libre il allume son clignotant puis commence à tourner son volant. On observe comme dans l'autre schéma des regards vers la gauche qui anticipent le mouvement du volant. On constate dans ces situations que la conjonction de l'accélération et du regard vers le rétroviseur gauche constitue un bon prédicteur de la manœuvre. Cette conjonction survient environ une seconde avant l'allumage du clignotant.

Une fois définis, ces schémas peuvent être retrouvés dans l'ensemble des traces, la Figure 83 montre leurs occurrences sur le trajet Lyon-Saint Exupéry du sujet 15.

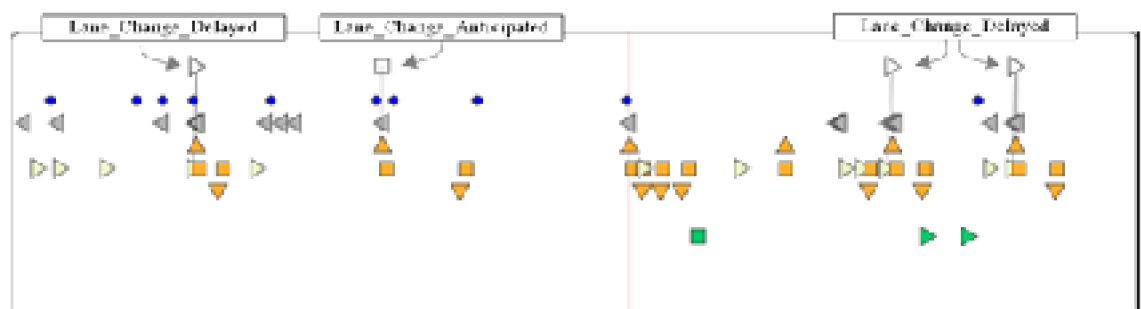


Figure 83 : Catégorisation des changements de voie sur trajet Lyon - St Ex. sujet 15

Dans le cas du sujet 15, cette typologie nous permet de catégoriser 7 des 11 dépassements effectués. 2 sont des "Lane\_Change\_Anticipated" et 5 des "Lane\_Change\_Delayed". Les 4 cas restant nécessitent une analyse plus poussée. Il s'agit souvent de cas où le sujet met son clignotant alors qu'il est en phase de décélération devant l'obstacle et réalise un dépassement rapide (clignotant court), pour n'accélérer que pendant qu'il effectue le dépassement. Dans ces cas de figure, on ne

dispose pas d'éléments permettant de prévoir le moment précis où il va réaliser le dépassement, s'il le réalise.

Il nous faut signaler que la méthode d'inférence du prédicteur de Lane\_Change\_Delayed que nous utilisons ne pourrait pas être appliquée telle qu'elle dans le véhicule. En effet, pour l'instant, nous inférons l'observé Shift\_Speed\_Up en ayant recours à d'autres observés de la trace collectée qui apparaissent plus tard. Pour une implémentation en temps réel il faudrait détecter une accélération presque instantanée, soit par un différentiel de la vitesse, soit à partir d'un accéléromètre ou à partir de la pédale d'accélérateur. Nous pensons qu'une étude plus approfondie avec ABSTRACT permettrait de démontrer la faisabilité de ces méthodes et permettrait de mesurer les taux de prédictions et d'erreur sur l'ensemble des données collectées. Il n'est pas non plus certain que tous les conducteurs adoptent cette tactique. Pour avoir une mesure de la proportion de conducteurs qui l'adoptent il faudrait approfondir cette étude, ce qui relève du projet de nos partenaires de l'université de Chemnitz qui continuent à analyser nos données.

### 6.3.4. Schémas cognitifs de changement de voie

---

#### 6.3.4.1. Des schémas de comportement aux schémas cognitifs

Nous venons de mettre en évidence deux schémas tactiques différents de changement de voie sur autoroute. Vu de notre point de vue d'observateur, ce sont d'abord deux façons de catégoriser les comportements observés. Mais notre positionnement en psychologie cognitive présenté en chapitre 2 nous conduit à faire l'hypothèse qu'ils correspondent à la mise en œuvre de schémas cognitifs mémorisés par le conducteur. Comme nous l'avons discuté sur le plan épistémologique au paragraphe 1.2.5.2, et sur le plan pratique au paragraphe 3.4.1, nous pouvons prendre ce cadre théorique comme un des cadres théoriques possibles pour expliquer l'activité.

Ce cadre théorique nous conduit à affirmer que le conducteur contrôle l'activité en mettant en œuvre des schémas cognitifs plus ou moins consciemment. Nous avons décrit ces "niveaux de contrôle" au paragraphe 2.2.7. Ces schémas cognitifs étant des connaissances du conducteur, nous ne pouvons pas les observer directement, mais nous les inférons en analysant ses comportements. C'est pourquoi les représentations que nous pouvons en donner proviennent de nos représentations des comportements.

Comme nous l'avons dit, ces représentations des schémas cognitifs du conducteur constituent des connaissances en ergonomie que nous construisons de manière pragmatique. Ces connaissances doivent être cohérentes avec nos autres sources d'information, notamment les propres explicitations proposées par le conducteur. C'est justement le fait de décrire les comportements dans un langage qui correspond au langage du conducteur, qui nous permet d'assurer cette cohérence. Ainsi nous pouvons nous appuyer sur les descriptions des comportements que nous venons de construire pour proposer des descriptions des schémas cognitifs du conducteur.

Les schémas cognitifs du conducteur se trouvent donc explicités par notre travail

d'ergonomie. Mais ils peuvent être mis en œuvre de manière plus ou moins implicite par le conducteur. Pour étudier à quel niveau de contrôle ces schémas sont mis en œuvre, nous devons étudier quels en sont les aspects qui sont exécutés de manière automatiques et à quels moments interviennent des prises de décision. Pour étudier ces prises de décisions nous devons aussi examiner des cas où le conducteur renonce au dépassement.

L'exemple des dépassements sur autoroute correspond à des activités routinières de conduite automobile. Cela nous conduit à penser que dans des situations typiques ils sont mis en œuvre de manière largement automatisée, avec un niveau de contrôle n'impliquant pas une grande prise de conscience de la part du conducteur. Mais lorsque la situation devient complexe, ou que les schémas sont pris en défaut, le conducteur passe dans un mode de contrôle qui est plus conscient. Pour étudier ces cas on s'intéresse aux erreurs.

#### 6.3.4.2. Prise de décision dans un schéma tactique

Dans le schéma tactique "avec accélération", nous avons vu que le conducteur anticipait la manœuvre en accélérant. Ensuite il vérifie dans son rétroviseur si la voie de gauche est libre. En fonction de cette information il prend la décision de doubler ou non. Si la voie est libre il met son clignotant et commence à tourner son volant à peu près simultanément. Si la voie n'est pas libre il renonce au dépassement et ralentit à nouveau.

La Figure 84 montre un exemple de ce deuxième cas. Le conducteur maintenait sa pédale d'accélérateur à environ 30% d'enfoncement, puis, à partir du minimum à 27%, il accélère jusqu'à un maximum à 58%. Parallèlement il vérifie son rétroviseur gauche et constate la présence d'un véhicule en train de le dépasser. Il renonce alors à sa manœuvre, ne met pas son clignotant, ne tourne pas son volant, et relâche sa pédale d'accélérateur à 32%.

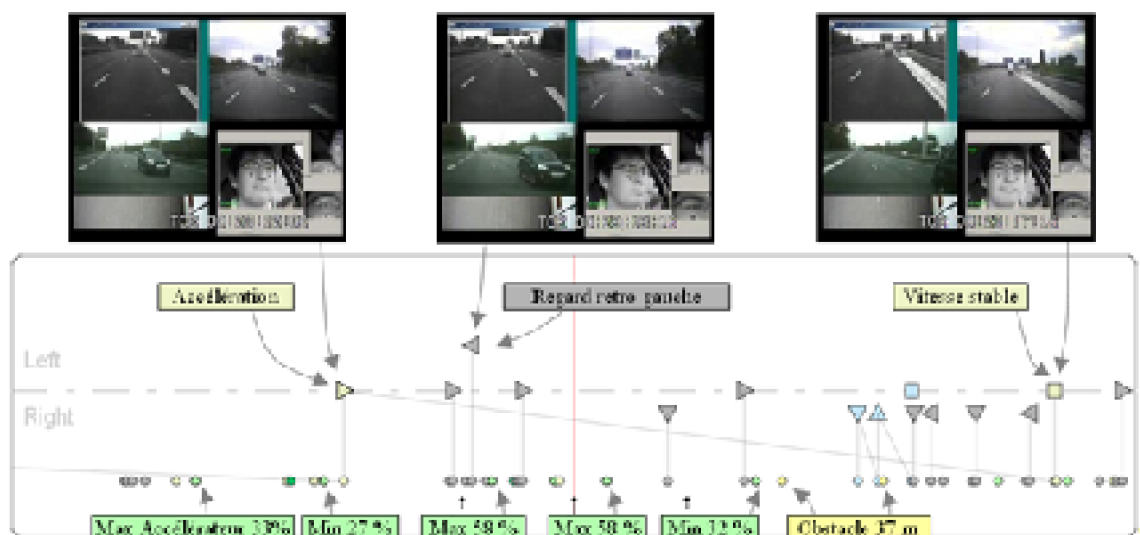


Figure 84 : Exemple de décision de ne pas doubler (Sujet 16, Time-code 1392)

Cet exemple illustre la mise en œuvre de différents niveaux de contrôle dans ce schéma tactique. Le fait que le début du schéma soit relativement routinier nous conduit à

penser qu'il s'agit d'un comportement automatisé dont le conducteur n'a pas nécessairement conscience. Le fait qu'il y ait ensuite deux variantes du schéma nous conduit à penser que ce schéma inclut un point de décision qui relève du niveau de contrôle "règle" au sens de Rasmussen . Cette règle peut s'exprimer par : "si la voie est libre, alors doubler, sinon renoncer". C'est une règle que le conducteur peut lui-même facilement expliciter. Dans le cas où la décision de doubler est prise, elle se traduit par l'envoi d'un message explicite aux autres usagers de la route : le clignotant. Nous dirons donc que ce niveau du schéma est explicite pour le conducteur.

Le fait que le conducteur ne manifeste aucune surprise et ne signale pas cette situation comme atypique nous pousse à dire qu'il s'agit bien d'une décision tactique attendue dans le schéma et non d'une mise en défaut du schéma. La mise en défaut du schéma serait un cas où le conducteur aurait validé à mauvais escient son choix tactique.

### **6.3.4.3. Mise en défaut d'un schéma tactique**

Nous présentons dans l' 10 comment nous pouvons avec ABSTRACT rechercher une situation de mise en défaut d'un schéma tactique et l'analyser. Nous avons ainsi retrouvé une erreur commise par le sujet 21 au time code 1661. Nous la présentons ici et renvoyons à cette annexe pour une description de l'analyse de la vidéo et les investigations en termes de traitement de données qui ont été réalisées avec ABSTRACT pour la comprendre. Il s'agit d'une tentative de dépassement d'un véhicule lent (véhicule A) sur le trajet d'autoroute A432 en direction de Saint Exupéry. Le sujet engage une manœuvre de dépassement alors qu'il n'a pas vu un véhicule rapide (Véhicule B) arrivant derrière lui sur la voie de gauche. Il voit ce véhicule dans son rétroviseur au dernier moment et se rabat brusquement vers la droite pour le laisser passer. Ensuite, il freine pour ne pas entrer en collision avec le véhicule A, avant de reprendre une nouvelle procédure de dépassement. D'un point de vue psychologique, on peut parler d'une erreur de conscience de la situation puisque le sujet a agi sur la base d'une mauvaise représentation de la situation.

Sur ce tronçon, la vitesse est limitée à 90 km/h, ce qui tend à raccourcir les distances entre les véhicules. Cela rend exploitables les informations de notre système de détection d'obstacles. Une autre particularité de cette situation est qu'elle est en léger virage vers la droite. Le volant est donc légèrement décalé ce qui rend les observés du volant liés aux seuils de 4° non significatifs. C'est pourquoi nous avons affiché la courbe de l'angle volant en bas de la Figure 85. Enfin cette situation a fait l'objet d'une évaluation subjective dans l'entretien d'auto-confrontation. Le sujet a déclaré avoir été surpris (90% de l'échelle), stressé (70%) mais n'a pas eu peur (0%). Il estime avoir convenablement maîtrisé (maîtrise : 60%, performance : 54%).

L'analyse de la trace de la Figure 85 montre que le sujet n'avait pas regardé dans son rétroviseur avant d'engager la procédure de dépassement. Au lieu de cela, il a adressé plusieurs regards en direction de son tableau de bord. Il semblait préoccupé par sa vitesse, il voulait probablement s'assurer qu'il n'allait pas commettre un excès de vitesse, car il roulait à la limite de la vitesse autorisée. Finalement, il commence à tourner son volant en même temps qu'il regarde dans son rétroviseur, et il actionne son clignotant une



demie seconde plus tard. C'est à peu près à ce moment qu'il donne un brusque coup de volant vers la droite pour se rabattre, ce qui montre qu'il a vu le véhicule B dans son rétroviseur. Ensuite, il éteint son clignotant et commence à freiner pour se synchroniser avec le véhicule A. Le fait qu'il n'ait pas eu peur peut sans doute s'expliquer par le fait qu'il dispose encore d'une distance de sécurité raisonnable de 24 m par rapport au véhicule A à la fin de cette manœuvre.

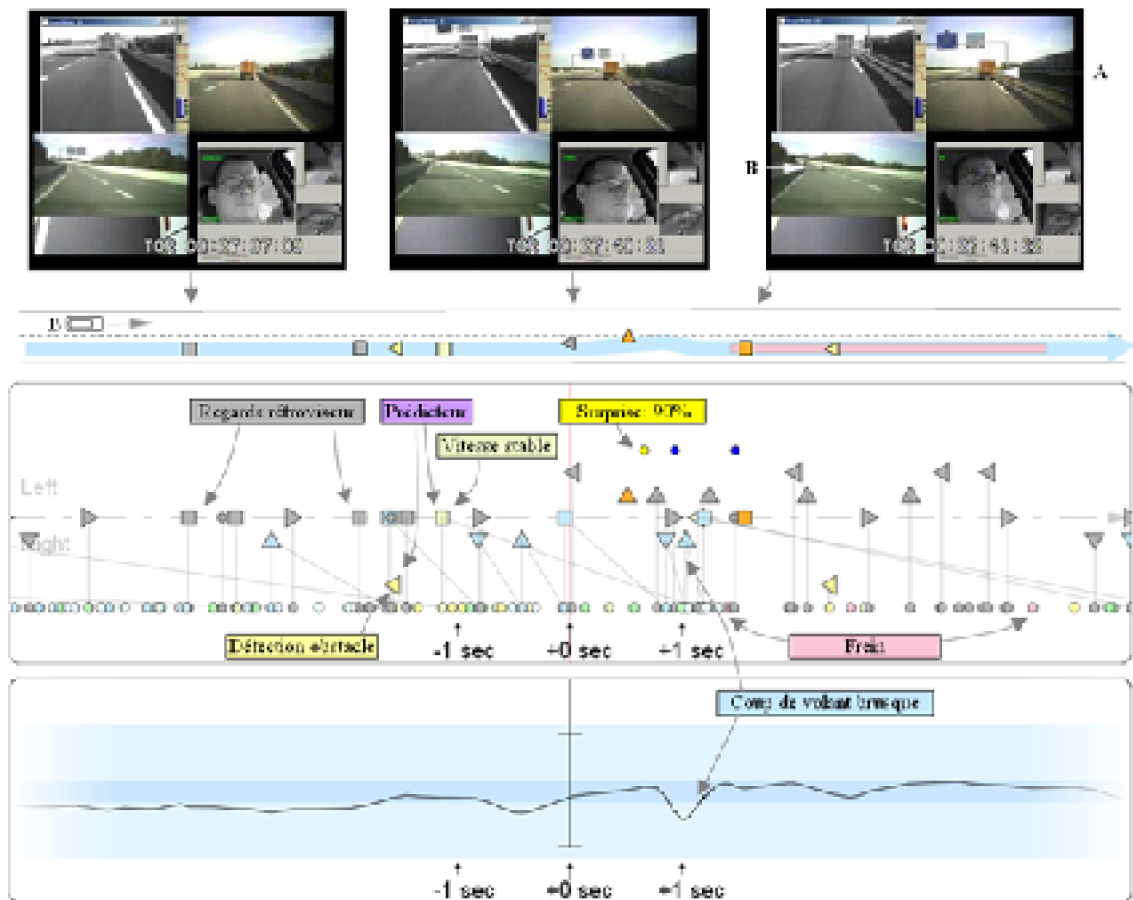


Figure 85 : Mise en défaut de schéma tactique (Sujet 21 Time-code 1661)

Dans cette trace, la détection du véhicule A est mise en évidence par les triangles jaune pâle en bas. Le premier indique une distance de suivi de 26m, une vitesse relative de 3.5 km/h (environ 1m/s) et un temps à la collision de 27s. A peu près au même moment, on observe une stabilisation de la vitesse (carré ocre sur l'axe longitudinal). Ces deux informations conjointes nous permettent de diagnostiquer que le conducteur s'apprête à doubler le véhicule A, puisqu'il se stabilise à une vitesse supérieure à la sienne. Pourtant, aucun regard vers le rétroviseur n'a été observé. A partir de ce moment là, soit plus d'une seconde avant l'erreur, nous sommes donc en mesure de diagnostiquer

une situation potentiellement dangereuse. Ce diagnostic se confirme finalement avec le brusque coup de volant vers la droite et l'abandon de la procédure de dépassement. Le deuxième triangle jaune pâle indique une détection du véhicule A, à une distance de 24 m. Les informations de freinage montrent que le coup de frein n'a pas été brusque, ce qui corrobore les déclarations du conducteur de bonne maîtrise et d'absence de peur. Les paramètres de ce coup de volant brusque peuvent quant à eux être retenus pour proposer un marqueur candidat d'indication de la surprise, à confronter à d'autres cas.

L'analyse de cette situation peut nous apporter des éléments utiles dans une perspective d'ergonomie plus globale pour la conception de systèmes intelligents d'assistance à la conduite. En effet, elle nous montre que des données suffisantes sont disponibles pour imaginer des systèmes capables de réduire les risques d'accident dans ce cas de figure. Par exemple, une première possibilité serait de prévenir le conducteur par un signal non intrusif : un signal sonore ou une vibration dans le siège ou le volant. Une autre possibilité serait d'avertir le véhicule B, par exemple par un allumage spécifique du clignotant, afin que celui-ci puisse être sur ses gardes et éventuellement ralentir ou signaler sa présence par un coup de klaxon. Enfin, si l'on disposait d'un radar capable de détecter le véhicule B, on pourrait imaginer une intervention plus intrusive telle qu'un signal d'alarme sonore ou une résistance mécanique sur le volant.

### **6.3.5. Conclusion sur la modélisation cognitive des changements de voie**

---

Nous avons résumé dans ce paragraphe ce que nous avons appris avec ABSTRACT sur les situations de changement de voie sur autoroute. Ce résumé ne doit pas masquer la variabilité des situations rencontrées dont nous donnons une idée dans l' 11. Cette annexe décrit l'analyse de tous les changements de voie du sujet 15 que nous avons réalisée en utilisant les traces et la vidéo en parallèle.

Le fait que nous puissions appuyer notre description sur les traces ne signifie pas qu'elles soient suffisantes en elles-mêmes pour comprendre ce qui s'est passé. En réalité, il n'est possible de recueillir dans les traces qu'une petite partie des informations qui décrivent une situation. L'expérience nous montre que les traces, bien qu'indispensables, ne constituent qu'une partie des informations nécessaires à un ergonome pour comprendre l'activité. Une autre partie peut être constituée de la vidéo enregistrée, de sa propre observation de l'activité pendant l'expérimentation, de ses connaissances d'expertise d'ergonome, et de l'opinion qu'explicitent les conducteurs. Nous avons montré comment cette expertise, issue d'une communauté scientifique, pouvait orienter son regard vers certains aspects pertinents de l'activité et comment les modèles finalement produits provenaient de la rencontre d'une approche ascendante à partir des données et d'une approche descendante à partir de connaissances préalables.

Malgré cette variabilité, nous avons pu faire apparaître des catégories de schémas tactiques. Nous avons montré comment des prédicteurs spécifiques de comportement pouvaient être mis en évidence dans chacune de ces catégories. Pour l'instant, notre argumentation principale de la validité de ces prédicteurs, n'est pas statistique, mais

logique ou psychologique. Cela n'exclut pas une validation statistique complémentaire. Le prédicteur du changement de voie avec accélération peut paraître évident une fois qu'on le connaît et chacun peut le vérifier lui-même en conduisant son propre véhicule. Le fait d'anticiper le changement de voie en accélérant pendant qu'on vérifie qu'il n'y a personne sur la voie de gauche, pour pouvoir ensuite mettre son clignotant et doubler si la voie est libre, ou renoncer si la voie n'est pas libre, constitue une tactique de conduite. Mais malgré son évidence nous ignorions ce schéma avant de l'avoir découvert avec ABSTRACT. Et bien que les changements de voie sur autoroute soient une situation souvent étudiée, nous n'avons pas trouvé ce schéma mentionné dans la littérature avant que nous ne le présentions dans une conférence sur l'évaluation de l'activité de conduite automobile. Il était peut-être inclus de manière implicite dans des algorithmes mathématiques prédictifs, mais sa signification au sein d'un schéma cognitif n'avait pas été montrée.

Nous avons montré comment ces schémas tactiques observés peuvent être expliqués dans le cadre de la psychologie cognitive comme résultant de la mise en œuvre de schémas cognitifs par l'opérateur. Ces schémas cognitifs font intervenir différents niveaux de contrôle. Avec ABSTRACT, nous avons pu produire une description abstraite de l'activité de changement de voie qui peut être vue dans ce cadre comme une représentation des schémas cognitifs du conducteur. Nous discuterons au paragraphe 7.2.1 comment ces schémas cognitifs pourraient être simulés dans le framework de simulation cognitive du conducteur automobile Cosmodrive.

### 6.4. Conclusion

Avec la description du processus de modélisation que nous avons donnée dans ce chapitre, nous pensons avoir démontré l'efficacité de notre approche d'analyse cognitive de l'activité. Nous avons montré comment elle permet d'aborder la complexité de notre champ d'étude qu'est la conduite automobile en situation réelle.

Les exemples du changement de voie sur autoroute ne constituent qu'une illustration de cette approche. Pour l'instant, seule une petite proportion des données recueillies a été exploitée. Mais nous avons mis en place des moyens permettant d'accélérer considérablement leur exploitation à venir.

Nous avons montré comment l'utilisation d'ABSTRACT dans le cas de la conduite automobile nous permet de réduire les volumes de données collectées lors des expérimentations. Cette réduction de données est dirigée par l'ergonome de façon à conserver les données pertinentes pour son analyse. En pratique, quatre niveaux d'abstraction ont été identifiés : les données brutes pré-traitées, la trace collectée, la modélisation de base, et les schémas tactiques. Ces niveaux restent toujours interconnectés, par exemple le clignotant se retrouve présent dans sa forme initiale dans les quatre niveaux. La définition de ces niveaux n'est pas rigide, mais peut évoluer en fonction du processus d'analyse. Des éléments qu'on considérerait comme appartenant au niveau 2 pour un point de vue donné peuvent être considérés comme appartenant au

niveau 3 selon un autre point de vue. Quand l'activité est analysée dans le cadre théorique de la psychologie cognitive, ABSTRACT permet d'étudier précisément la mise en œuvre par l'opérateur de schémas cognitifs à différents niveaux de contrôle.

Nous avons montré comment ABSTRACT permettait de construire un mode de visualisation des traces propre à chaque domaine. Cette visualisation est suffisamment souple pour permettre la recherche de motifs d'intérêt dans les traces. Cette recherche de motifs par un usage interactif d'ABSTRACT fait partie intégrante du processus de modélisation. Pour reprendre une image utilisée par Eco : on peut comparer la trace à une branche noueuse qu'il s'agit de sculpter tout en en respectant les veines du bois. La sculpture obtenue nous renseigne autant sur les intentions du sculpteur que sur la nature du bois.

Bien que ce processus de modélisation soit dirigé dans un but d'étude particulier, il permet une capitalisation au fil des études. Nos travaux ont contribué à la stabilisation du format de données brutes collectées. Nous discutons au paragraphe 7.1.1.2 les perspectives d'usage d'ABSTRACT actuellement envisagées pour d'autres projets.

## 7. Résultats et perspectives

### 7.1. Résultats et perspectives en ingénierie des connaissances

#### 7.1.1. L'outil ABSTRACT et son usage

---

Nous discutons ici de l'apport de notre travail à la communauté de recherche en informatique : l'architecture de notre système à base de trace, ses limites, la façon dont les utilisateurs du système ont pu se l'approprier.

##### 7.1.1.1. Performances d'AbstractXML

Les temps de réponses des différentes fonctionnalités d'AbstractXML sont donnés dans le Tableau 4. Ils sont obtenus sur un PC de bureau Pentium 4, 3.2 GHz avec 1.5 Go de RAM. Ces mesures sont réalisées avec des tronçons de traces d'environ 5000 observés, soit une quinzaine de minutes de conduite sur autoroute.

**Tableau 4 : Temps de réponse d'AbstractXML**

Etape	Description	Temps de réponse
P1	Affichage d'une portion de 10 secondes : Préparation de la trace	12s
P2	Affichage d'une portion de 10 secondes : Préparation d'un buffer de visualisation (20s)	4s
P3	Affichage d'une portion de 10 secondes : Affichage d'un tronçon bufferisé	Instantané
C1	Affichage trace complète : avec seulement les observés de niveau 3	4s
R	Application d'une requête SPARQL	20s à 60s

Les calculs d'affichage d'une portion de trace sous forme d'un graphique de 10 secondes centré autour d'un certain time code se font en trois étapes : la préparation de la trace complète (P1), le calcul d'un buffer de 20 secondes centré sur ce time code (P2), et l'affichage d'une portion de 10 secondes centrée sur ce time code (P3). Une fois que la portion de trace est affichée, le calcul des buffers des portions de traces adjacentes est lancé en arrière plan. De cette façon, le temps de calcul P2 est masqué en anticipant le fait que l'utilisateur se déplace dans la trace en la faisant glisser avec la souris.

L'affichage de la trace complète avec uniquement les observés de niveau 3 se fait en une seule étape (C1).

Les temps de calcul des requêtes (R) dépendent de la complexité de la requête. Les temps habituellement obtenus sont de 40 secondes. Ainsi, appliquer une requête pour générer des observés de niveau 3 et voir le résultat dans la trace complète prend  $R + C1 = 40 + 4 = 44$  secondes. Pour appliquer la requête et voir le résultat dans un graphe de 10 secondes centré sur un certain time code, cela prend  $R + P1 + P2 + P3 = 40 + 12 + 4 + 0 = 56$  secondes.

A l'usage, nous avons pris l'habitude de ce compromis entre la taille de la trace et le temps de réponse. Mais des temps d'affichage quasi instantanés sont obtenus avec des petites traces de seulement quelques centaines d'observés. En revanche, les temps de requête ne descendent pas en dessous de 20 secondes.

Ces temps de réponse font d'ABSTRACT un prototype d'outil parfaitement opérationnel pour nos analyses. Il permet de réalisation des modélisations qui n'étaient pas envisageables sans lui. Ces temps de réponses devraient toutefois être optimisés pour le transformer en un logiciel commercial.

### 7.1.1.2. Utilisation d'ABSTRACT pour d'autres projets

ABSTRACT a été développé conformément à l'esprit du logiciel libre. Son code source est distribué sous licence GPL (General Public License). A ce titre, il est libre d'utilisation et de modification. Il est téléchargeable sur le site <http://liris.cnrs.fr/abstract/>. A ce jour nous envisageons de l'utiliser dans deux autres projets :

Le projet SYNATEL au LESCOT. Ce projet concerne l'étude du traitement de l'information, de la prise de décision et des mécanismes d'anticipation du conducteur automobile. Cette étude se base sur l'analyse des comportements de conduite sur route

ouverte dans des situations de double tâche . Nous avons généré les traces collectées de 47 sujets et elles sont en cours d'analyse.

Le projet TELOS (Telelearning operation system) - LORNET (Learning Objects Repositories NETwork) qui fait partie du projet de télé-université du Québec à l'UQAM (Université du Québec à Montréal). Dans ce cadre nous sommes en contact avec le LICEF (Laboratoire en Informatique Cognitive et Environnements de Formation) pour utiliser ABSTRACT pour l'analyse des usages des systèmes d'enseignement à distance dans le but de faciliter leur mise au point .

Par ailleurs, ABSTRACT est toujours utilisé à l'université de Chemnitz. Matthias Henning l'utilise dans le cadre de sa thèse pour continuer l'exploitation des données que nous avons recueillies ensemble. Il est également envisagé de l'utiliser au Lescot dans de futurs projets pour l'exploitation des données recueillies sur simulateur.

Par ailleurs il est envisagé d'utiliser ABSTRACT pour l'analyse des données recueillies sur simulateur. Dans ce cadre, notre approche pourrait permettre d'identifier des situations intéressantes à provoquer sur simulateur par des scénarios appropriés.

### 7.1.1.3. Capitalisation de l'expertise d'analyse

Dans ABSTRACT, l'expertise d'analyse est capitalisée sous formes de mécanismes qui permettent de générer et de définir l'ensemble des observés permettant de décrire l'activité. Ces mécanismes prennent trois formes :

- Les programmes du système de collecte : pour générer la trace collectée
- Les transformations SPARQL : pour générer les observés de niveau supérieur
- L'ontologie, pour expliquer les observés et définir leur sémantique

Nous avons montré au long du chapitre 5 que le processus d'analyse était orienté vers un objectif de recherche spécifique. Par exemple, nos observés de début de rotation volant "Start\_steering" sont calculés spécifiquement pour l'étude des changements de voie sur autoroute. Pour réaliser une autre analyse, par exemple une analyse portant sur les virages en zone urbaine, il faudrait probablement définir d'autres observés avec des seuils plus élevés. Dans ce cas nous serions amenés à spécialiser nos "Start\_steering" en deux sous catégories : "Start\_steering\_motorway" et "Start\_steering\_urban" qui seraient générés en tenant compte d'information de cartographie liées aux données GPS. Pour cela, il faudrait effectuer des modifications à tous les niveaux du processus d'analyse : au niveau de la collecte pour générer des franchissements de seuils différents, au niveau des requêtes SPARQL pour générer d'autres observés de niveau supérieur, et au niveau de l'ontologie pour définir leur sémantique.

D'une manière générale, cela montre qu'il n'existe pas d'ontologie valant pour toutes les analyses possibles. Les ontologies sont définies de manière pragmatique pour des analyses données. En revanche, une fois les objectifs d'analyse fixés, il est possible de construire une ontologie adaptée à ces objectifs. Il ressort, qu'il est toujours possible d'adapter une ontologie, sans qu'il soit possible de la réutiliser telle quelle. Ainsi, une ontologie construite pour une expérimentation de conduite automobile particulière ne

pourra probablement pas être entièrement réutilisée pour une autre. En revanche, il est probable qu'elle puisse être réutilisée en partie, comme point de départ pour la nouvelle analyse. La construction d'une ontologie ne constitue donc pas une étape réalisée une fois pour toute, mais permet une capitalisation progressive de l'expertise de modélisation.

Ainsi, la capitalisation par ABSTRACT ne réside pas dans le fait que nous serions capables de traiter immédiatement les données de toute nouvelle expérimentation, mais dans le fait qu'ABSTRACT permet d'organiser des bibliothèques de transformations, qui peuvent s'enrichir au fur et à mesure des nouvelles expérimentations.

### 7.1.1.4. Effets cognitifs liés à l'usage de l'outil

Il est intéressant de constater à quel point les symboles générés peuvent rapidement être compris par l'utilisateur comme un langage de description de l'activité. Cela suggère peut-être que cet apprentissage s'appuie sur des facultés de langage pour lesquelles l'être humain possède des prédispositions. Mais l'ergonome doit garder une attitude critique face à sa compréhension spontanée des symboles. Un décalage entre cette compréhension spontanée et la signification formelle exacte est inévitable. Par exemple dans l'analyse de cas du paragraphe 6.3.4, les symboles "Start\_Steering" perdent leur signification du fait que la route est en léger virage. Dans ce cas, ils n'indiquent pas le moment où le conducteur engage la manœuvre de dépassement.

D'une manière générale, l'ergonome doit chercher à confirmer ses interprétations par d'autres moyens, tels que l'observation des vidéos, le dialogue avec le sujet, une confrontation à la littérature, ou sa propre expertise de l'activité. De plus, lorsqu'il rencontre un contexte d'apparition des symboles qui le surprend, il est important que l'ergonome puisse consulter leur sens formel. Pour cela, il peut accéder à la documentation des symboles qui lui indiquera dans cet exemple que le symbole "Start\_steering" ne signifie formellement rien d'autre que le franchissement de seuil du volant de 4 degrés.

D'autre part, dans notre situation d'ergonome qui analyse la conduite automobile, il est intéressant de constater que l'analyse des traces peut favoriser notre propre apprentissage de la conduite automobile. Par exemple, nous pratiquons sans doute sans le savoir le schéma tactique de dépassement "avec anticipation", mais le fait de l'avoir vu dans les traces nous en a fait prendre conscience et nous pouvons maintenant l'appliquer avec plus de discernement, ou tout du moins en connaissance de cause.

### 7.1.1.5. L'ESDA avec ABSTRACT

Les différentes problématiques liées à l'analyse exploratoire des données séquentielles (ESDA) ont été très bien exprimées par Sanderson & Fisher . Nous les avons présentées au paragraphe 3.4.2 et nous ne pouvons globalement que les confirmer par notre propre expérience. Parmi les transformations qu'elle énonce (Figure 36), ABSTRACT répond directement à celles qu'elle nomme "Codes", "Connections", "Constraints", "Conversion", "Comment" :

- "Codes" en permettant de rattacher des descripteurs symboliques à la trace.



- "Connections" en permettant de rendre explicite des relations entre observés.
- "Constraints" en prenant en charge des propriétés logiques et numériques des observés pour leur appliquer des calculs ou des filtrages.
- "Conversions" en permettant différents modes de visualisation des traces.
- "Comment" en permettant d'ajouter des annotations dans les traces et des liens vers un système de documentation.

ABSTRACT répond implicitement à la transformation "Chunks" en permettant de regrouper des observés consécutifs de la même manière que s'ils n'étaient pas consécutifs. Pour nous cette transformation n'est donc qu'un cas particulier de la transformation "Code". Il ne répond pas directement aux transformations de "Computation", car il n'intègre pas de fonctions statistiques, mais il permet un export facile des traces vers les outils de traitement statistiques existants. Parmi les 8 transformations identifiées par Sanderson, il n'y a donc que la transformation "comparaison" à laquelle ABSTRACT ne répond pas. Nous n'avons jusqu'à présent pas éprouvé le besoin de l'implémenter. Elle est surtout utile pour comparer des traces obtenues avec des sujets humains et des traces obtenues par simulation, ce qui n'est pas notre sujet d'étude. Par ailleurs nous n'avons pas identifié de transformations supplémentaires par rapport à celles listées par Sanderson.

Nous considérons donc que les fonctionnalités d'ABSTRACT répondent bien au cahier des charges d'un outil d'ESDA. En comparaison des autres outils existants, il apporte deux évolutions décisives par le fait de sa conception basée sur une approche d'ingénierie des connaissances. La première est la capacité de capitaliser l'expertise d'analyse. La seconde est un support pour l'investigation de la sémantique des observés.

### 7.1.1.6. Usage réflexif pour les systèmes d'assistance des logiciels

Dans le cadre des interfaces hommes/ordinateur, notre approche peut avoir un intérêt purement réflexif. Dans ce cas elle ne serait pas destinée à une analyse par un tiers mais simplement à permettre à l'opérateur de mieux maîtriser son activité. La plupart des outils informatiques actuels offrent déjà des traces d'activité à leurs utilisateurs, ce sont les historiques de commandes et les possibilités d'annulation ou de répétition de commandes. Mais il serait imaginable d'offrir aux utilisateurs la possibilité de rattacher à ces traces des explications et de les manipuler à un plus haut niveau d'abstraction. Cela reviendrait à proposer des fonctionnalités de manipulation évoluées des « historiques » dans les logiciels, qui permettraient à l'utilisateur de se construire pour lui-même une meilleure connaissance de son interaction avec le système. Nous pourrions par exemple imaginer tracer l'activité de l'ergonome quand il utilise ABSTRACT. Ces "traces d'usage d'ABSTRACT" permettraient à l'ergonome de mieux connaître son activité de modélisation.

### 7.1.2. Vers un outil professionnel d'analyse des traces d'activité

---

Dans son état actuel, ABSTRACT peut être considéré comme un prototype de recherche opérationnel mais non comme un programme diffusable dans un contexte commercial. En tant que prototype, il fait la démonstration du bien fondé des principes mis en œuvre. Mais

les technologies informatiques, utilisées pour son implémentation ont des limites :

- Elles ne permettent pas de réaliser une intégration optimale entre les différents modules (éditeur d'ontologie, moteur de requête, outil de documentation, outil de visualisation).
- Elles ne permettent pas d'optimiser les temps de calcul.
- Ces deux limites techniques entraînent une limite sur les fonctionnalités d'interaction homme/machine qui peuvent être explorées et implémentées.

Les utilisateurs d'ABSTRACT peuvent accepter ses limitations parce qu'ils sont partie prenante du processus de recherche. Mais elles restent incompatibles avec le niveau d'exigence que pourrait avoir un utilisateur commercial. Pour dépasser ces limites il faudrait développer une application entière dans un langage de bas niveau tel que java ou C, en utilisant ABSTRACT comme une maquette de conception. Nous discutons ici des pistes que nous imaginons dans cette perspective.

- La création interactive de requêtes. Cette évolution peut encore être explorée avec ABSTRACT.
- Le paramétrage sémantique des observés au niveau de l'ontologie. Cette évolution nécessiterait en parallèle le développement d'un système de visualisation des traces approprié.
- Une meilleure intégration des différents modules : transformation, indexation, documentation, édition d'ontologie et visualisation.

Le but général de ces évolutions serait d'offrir une interface plus intuitive et plus réactive de modélisation des traces. Pour être intuitive, cette interface devrait faire appel aux facultés humaines naturelles de reconnaissance de motifs graphiques ou de séquences temporelles. L'ergonome devrait pouvoir, par des actions avec la souris ou des paramétrages simples, spécifier les motifs ou séquences auxquels il souhaite rattacher de nouveaux observés.

### 7.1.2.1. Création interactive de requête

Au paragraphe 5.4.2 nous avons présenté les mécanismes d'assistance à la création de requêtes actuellement implémentés dans AbstractXML. Ces mécanismes reposent sur des éléments de requêtes que nous avons listés dans le Tableau 2. Son principe est de permettre à l'utilisateur d'assembler ces éléments de requêtes génériques, puis de personnaliser manuellement la requête obtenue par cet assemblage. Ce principe nécessite que l'utilisateur connaisse le langage SPARQL, ce qui constitue un frein à l'utilisation d'ABSTRACT par des ergonomes.

L'idée générale de la création interactive de requête serait de permettre de sélectionner avec la souris les aspects intéressants qui apparaissent dans la visualisation graphique des traces. Il faudrait qu'un tel dispositif, soit d'une part, plus simple que l'édition manuelle de la requête, et d'autre part qu'il offre une souplesse suffisante. Par exemple, la création d'une nouvelle relation entre deux observés pourrait se faire en

cliquant sur le premier et en le faisant glisser sur le second. La difficulté est de spécifier quels sont les aspects de ces observés qui conditionnent la création de cette relation. Est-ce leur type ? Est-ce la valeur de certaines de leurs propriétés ? Est-ce leur ordre chronologique ? Etc. En effet, on cherche à ce que cette relation ne soit pas seulement créée sur une seule occurrence du motif mais sur chaque occurrence d'un motif analogue dans la trace. C'est cette fonction d'analogie qui doit pouvoir être définie librement par l'ergonome.

On ne voit pas comment la définir de manière graphique aussi librement qu'on peut le faire avec un langage informatique. Toute tentative conduirait à une réduction de la liberté offerte par ce langage. L'approche que nous proposons consiste plutôt à implémenter les fonctions qui reviennent le plus souvent, en commençant par les plus simples.

La requête la plus simple que nous utilisons est la requête d'annotation sans clause WHERE, du type :

```
CONSTRUCT
a1, rdf:type, annotation
a1, date, 1222
a1, label, "ceci est une annotation"
```

Cet exemple ajoute un observé "a1" de type annotation au time code 1222 avec le libellé "ceci est une annotation".

Une proposition d'interface graphique pour la générer est donnée Figure 86. L'ergonome cliquerait dans une zone spécifique réservée à l'ajout d'annotation (bande jaune en haut de la figure) ce qui ouvrirait une petite fenêtre pré remplie avec le type d'annotation et le time code correspondant à l'endroit où il a cliqué. Il ne lui resterait plus qu'à saisir son libellé.



Figure 86 : Interface graphique de création d'une requête d'annotation

Les requêtes liées à un type d'observé pourraient être construites de manière analogue en cliquant sur un observé de ce type. Les requêtes liées à deux ou trois types observés impliqueraient de cliquer successivement sur des observés de ces types et d'établir des liens entre eux.

Ces mécanismes ne pourraient pas se substituer complètement à la création de requêtes SPARQL. La création de requête en mode texte devrait toujours être conservée pour permettre à des utilisateurs "avancés" de réaliser des requêtes complexes en attendant qu'elles puissent être standardisées. Ce n'est qu'une fois qu'elles seraient standardisées qu'une interface graphique pourrait être imaginée pour faciliter leur

construction.

### 7.1.2.2. Le paramétrage sémantique au niveau de l'ontologie

Au paragraphe 5.4.1.1 nous avons montré un exemple d'implémentation de liens virtuels "précède" et "suit" entre les observés. Cet exemple illustre comment nous pouvons implémenter des règles sémantiques propres aux traces. Cette implémentation se fait par un mécanisme désigné par le terme "raisonneur". Ce mécanisme permet de créer des observés et des relations virtuelles dans le graphe RDF, c'est à dire des ressources qui ne sont pas stockées comme des données mais calculées au moment où le graphe est interrogé.

Dans ABSTRACT, ces règles sont exploitées par le moteur SPARQL et peuvent donc être utilisées par l'ergonome pour écrire ses requêtes. En revanche elles ne sont pas exploitées par le système de visualisation. Les ressources virtuelles n'apparaissent donc pas dans nos visualisations graphiques des traces. Les faire apparaître nécessiterait de développer une application spécifique de visualisation de traces RDF, à la place de notre solution simplifiée basée sur des transformations XSL. La réalisation d'un tel outil constitue un projet informatique assez lourd qui n'a pas vocation à être réalisé dans un institut de recherche sur les transports. Nous souhaitons simplement présenter ici notre vision de ce que pourrait être un tel système, à la lumière de notre expérience d'utilisation d'ABSTRACT.

Les différents éléments de requêtes présentés au paragraphe 5.4.2 pourraient être implémentés sous forme de règles du raisonneur. L'enjeu serait de permettre à l'ergonome de spécifier leur mise en oeuvre grâce à des propriétés des observés définies dans l'ontologie. Par exemple, au moment où il définit le type d'observé "Min\_Speed" (minimum local de vitesse) l'ergonome pourrait indiquer qu'il est susceptible de se relier à un observé "Max\_Speed" par un lien de type "Link\_Shift\_Speed\_Up". Cette indication se ferait par paramétrage et définition dans l'ontologie du lien Link\_Shift\_Speed\_Up comme une sorte de lien "R1\_R2\_R3" défini au Tableau 2. De cette façon, les observés "Shift\_Speed\_Up" que nous avons présentés au paragraphe 6.2.2.2 ne seraient pas définis par des requêtes SPARQL comme nous le faisons actuellement, mais seraient définis à partir de l'ontologie. L'ergonome n'aurait donc pas besoin d'apprendre le langage SPARQL et pourrait se contenter de modéliser les traces en paramétrant l'ontologie. L'ontologie centraliserait donc la définition des règles de construction et les propriétés de visualisation des observés.

Ce système ne requerrait donc pas de connaissance en informatique de la part de l'utilisateur mais simplement une compétence en ingénierie des connaissances. Cette compétence serait raisonnablement accessible à un ergonome désireux de conduire un processus de modélisation d'activité.

L'implémentation de ces règles dans le raisonneur reviendrait alors à créer une sémantique propre aux traces. Au niveau informatique cette sémantique devrait être implémentée en langage de bas niveau de façon à optimiser les calculs. Les règles liées à la comparaison de time codes pourraient être particulièrement optimisées pour nos graphes RDF qu'on peut qualifier de "graphes fortement séquentiels".

Pour l'instant nous n'avons défini de cette sémantique que les éléments listés dans le Tableau 2. Ils ont été suffisants pour notre travail. Mais il est probable que d'autres éléments apparaissent au fil de l'utilisation d'ABSTRACT. Pour cette raison il est encore nécessaire qu'ABSTRACT soit utilisé par des utilisateurs ayant des compétences en informatique. Ces utilisateurs pourront peu à peu stabiliser cette sémantique et faire en sorte qu'elle puisse être exploitée par les ergonomes, par simple paramétrage.

### 7.1.2.3. Une meilleure intégration des différents modules logiciels

Du point de vue de l'utilisateur, ABSTRACT apparaît comme l'association de trois outils distincts : l'outil de visualisation et de transformation des traces : AbstractXML, l'outil d'édition d'ontologie : PROTÉGÉ, et l'outil de documentation et d'indexation des traces : Tiddlywiki.

Dans le cadre d'une application professionnelle d'analyse des traces il serait souhaitable que ces trois outils soient mieux intégrés. Il faudrait :

- Pouvoir cliquer sur un observé visualisé dans la trace pour accéder directement à son paramétrage dans l'ontologie.
- Accéder à des épisodes de trace indexés par un type d'observé directement à partir de l'ontologie.
- Optimiser le paramétrage de propriétés de visualisation des observés dans l'ontologie pour obtenir un effet immédiat dans l'affichage des traces.
- Accéder à des éléments de documentation du Wiki depuis l'ontologie et inversement.

Le wiki et l'ontologie apparaissent comme deux moyens complémentaires de documenter la trace. Le wiki part d'une approche de documentation textuelle mais peut être enrichi d'annotations sémantiques. A l'inverse l'ontologie part d'une configuration sémantique et permet d'intégrer des informations textuelles. Ces deux approches pourraient se rejoindre en un outil unique.

## 7.2. Résultats et perspectives en ergonomie cognitive

Nous faisons dans ce paragraphe le bilan des résultats que nous avons obtenus dans le domaine de l'ergonomie cognitive.

Tout d'abord ces résultats sont constitués des modèles de schémas tactiques de changement de voie sur autoroute que nous avons produits. Nous les présentons ici en montrant comment ils s'inscrivent dans la perspective de simulation cognitive du conducteur automobile menée au LESCOT.

Ensuite nous proposons des possibilités des systèmes d'assistance à la conduite qui peuvent être imaginés avec notre approche.

Puis nous faisons un bilan de notre méthodologie de découverte des connaissances

à partir des traces d'activité. Ce bilan soulève la question, sur un plan épistémologique, d'une éventuelle possibilité d'automatisation du processus de découverte de connaissances.

Enfin nous présentons les contributions de notre travail pour l'étude de la "prise de conscience" d'un opérateur à propos de son activité. Cela nous conduit à rediscuter les modèles de conscience de la situation et de simulation cognitive desquels nous étions partis. Nous sommes alors amenés, en guise de synthèse de notre travail, à proposer ce que nous appelons un "modèle constructiviste de la conscience de la situation".

### 7.2.1. Des modèles permettant une simulation cognitive du conducteur

Les schémas cognitifs que nous avons obtenus au paragraphe 6.3.4 peuvent être représentés conformément au formalisme de modélisation utilisé dans COSMODRIVE, tel qu'il est décrit au paragraphe 2.4.5.1. Cette représentation est donnée aux Figure 87 et Figure 88.

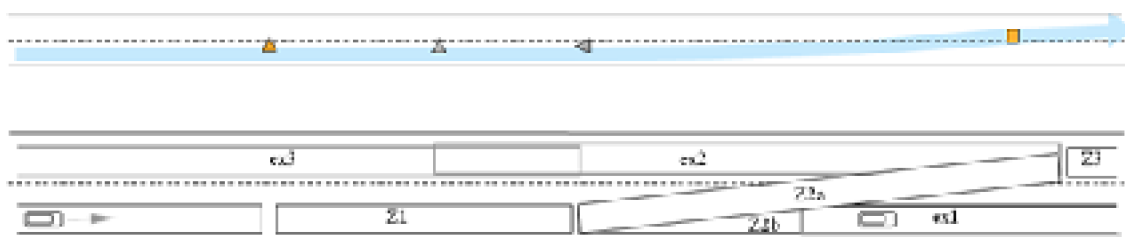


Figure 87 : Schéma tactique de dépassement avec anticipation

**But local : Doubler.**

**Zones de déplacements : Z1 : Approche, Z2a : Manœuvre, Z2b : Abandon, Z3 : Dégagement.**

**Zones d'exploration perceptive : ex1 : Devant, ex2 : Destination, ex3 : Derrière.**

**Séquence d'actions : mettre clignotant, vérifier destination, tourner volant, vérifier rétroviseur, éteindre le clignotant.**

**Décision en fin de zone Z1.**



Figure 88 : Schéma tactique de dépassement avec accélération

**But local : Doubler.**

**Zones de déplacements : Z1 : Approche, Z2 : Accélération-Vérification, Z3a : Manœuvre, Z3b : Abandon, Z4 : Dégagement.**

**Zones d'exploration perceptive : ex1 : Devant, ex2 : Derrière, ex3 : Destination.**

**Séquence d'actions : Accélérer, vérifier rétroviseur, vérifier destination, mettre clignotant, tourner volant, éteindre le clignotant.**

**Décision en fin de zone Z2.**

Ainsi formalisés, ces modèles pourront faire l'objet d'une simulation dans COSMODRIVE une fois celui-ci finalisé. Ils peuvent aussi servir à modéliser le comportement de chauffeurs tiers dans des simulateurs de conduite ou dans des micro-modèles de trafic. Ces exemples répondent donc à nos objectifs concrets de modélisation cognitive.

Contrairement au schéma du "tourne à gauche" représenté à la , dans nos modèles, les zones des schémas ne correspondent pas à des zones d'infrastructure routière. En effet, d'une part, les zones de déplacements du schéma sont relatives au véhicule obstacle qui est mobile ; d'autre part, les zones d'exploration perceptive sont des zones dynamiques qui sont relatives à l'emplacement courant du véhicule, un peu comme les zones enveloppe représentée à la . Nos schémas sont donc des schémas que nous pouvons qualifier de "mobiles" contrairement aux schémas "fixes" qui sont liés à une infrastructure.

Nous voulons souligner qu'ABSTRACT est d'un apport décisif pour étudier ces schémas mobiles, car ceux-ci ne peuvent pas être étudiés à partir d'une observation effectuée depuis le bord de la route. Ils nécessitent de pouvoir adopter un référentiel relatif par rapport à un événement particulier de la conduite.

Les schémas fixes peuvent être étudiés par rapport à un point donné d'une infrastructure routière. Pour l'étude du "tourne à gauche", s'était basé en partie sur une observation des comportements du conducteur depuis le bord de la route. Dans ABSTRACT, pour faciliter leur étude, nous avons développé un couplage avec Google Earth qui permet de visualiser sur une carte la position géographique de chaque point de la trace, grâce aux informations de positionnement GPS qui lui sont associées (voir 7).

### **7.2.2. Vers une application aux systèmes d'assistance à la conduite**

---

Au-delà des situations typiques que nous avons pu modéliser, notre travail nous a permis de nous familiariser avec la grande variabilité de l'activité de conduite. Cette familiarisation nous conduit à penser que la catégorisation automatique des situations de conduite constitue un enjeu difficile. En effet, dans nos analyses, nous voyons souvent que la trace ne contient pas assez d'information pour nous permettre de bien comprendre ce qui s'est passé. Si les actions du conducteur sont relativement faciles à mesurer par des capteurs, en revanche l'environnement routier reste difficile à encoder automatiquement par les technologies actuelles. Les traitements basés sur les images vidéo que nous avons testés, c'est-à-dire l'oculomètre et le télémètre, même s'ils constituent une prouesse technologique remarquable, ne permettent pas d'encoder automatiquement toutes les informations pertinentes d'une situation. En pratique, nous sommes souvent obligés de revenir à la vidéo pour comprendre la scène routière.

L'objectif des systèmes d'assistance à la conduite "intelligents" est pourtant d'exploiter ces technologies de façon à fournir au conducteur une assistance adaptée à la situation. Ils reposent, par nature, sur la possibilité d'évaluer et de catégoriser automatiquement la situation courante à partir de ces technologies. Si ces technologies ne permettent qu'une catégorisation grossière, alors les systèmes d'assistance doivent être compatibles avec ce niveau de catégorisation. De plus, ils ne doivent pas être néfastes en cas d'erreur de catégorisation.

Notre approche permet justement de rechercher des possibilités de catégorisation des situations à partir des données collectées, et d'analyser comment elles se comportent face à la variabilité des situations réelles. Elle nous offre donc un moyen d'imaginer des systèmes d'assistance qui sont compatibles avec les possibilités de la technologie.

En pratique, les limitations des technologies que nous avons constatées nous conduisent à n'imaginer que des systèmes d'assistance non intrusifs qui laissent une marge d'interprétation variable au conducteur en fonction de la situation. Par exemple dans le cas de messages transmis au conducteur ou aux autres usagers de la route, ils doivent avoir des conditions de production facilement compréhensibles pour permettre une contextualisation de leur interprétation.

Typiquement, nous avons vu que l'action de doubler pouvait, dans certains cas, être prédite de manière évidente par les regards dans le rétroviseur gauche, la vitesse, et le télémètre. Il serait facile que cette prédiction déclenche un signal spécifique tel qu'un bref coup de clignotant ou un signal lumineux d'un type nouveau à l'intention des autres usagers de la route. Ce signal pourrait être compris par eux pour ce qu'il est, c'est-à-dire comme le fait que le véhicule a détecté que son conducteur regardait dans son rétroviseur et se rapprochait du véhicule devant lui. En fonction de la situation, les autres usagers pourraient décider de leur comportement : soit ne rien changer, soit signaler leur présence par un appel de phare ou un coup de klaxon, soit s'écarter, soit ralentir, soit simplement augmenter leur vigilance. Mais il nous semble important que ce signal ne déclenche pas automatiquement le clignotant, en effet la variabilité inévitable des situations entraînerait toujours des non détections qui pourraient être dangereuses. Dans cette approche le clignotant doit rester ce qu'il est, c'est-à-dire le signalement volontaire de la décision finale de doubler de la part du conducteur.

En termes de conception de systèmes d'assistance à la conduite, il nous semble que c'est pour ce genre de suggestion que notre approche prend tout son intérêt. C'est-à-dire des suggestions de dispositifs contextualisés, non intrusifs, et permettant une interprétation variable de la part des usagers de la route. Grâce à notre approche nous pouvons appréhender des situations multiples et mieux imaginer les possibilités d'usage des systèmes d'aide dans les différents contextes susceptibles de se produire.

### **7.2.3. Une méthodologie de construction de connaissances à partir des traces**

---

#### **7.2.3.1. Bilan méthodologique**



Au paragraphe 1.2 nous nous sommes référés aux épistémologies constructivistes. Nous avons trouvé dans ce cadre épistémologique une inspiration initiale pour notre approche, puis après coup, une façon d'en rendre compte qui nous semble bien adaptée. Nous la résumons par les termes : évolutionniste, pragmatique et téléologique.

Notre approche est évolutionniste. D'une part, elle débute par une observation qui est conditionnée par un savoir-faire initial amené à évoluer au fur et à mesure de nos connaissances. Par exemple, notre analyse nous amène à revoir la configuration de notre oculomètre pour nos prochaines expérimentations. Mais surtout, chaque étape élémentaire de la modélisation repose sur un mécanisme de production de micro-hypothèses qui doivent être immédiatement confirmées ou réfutées. Le choix de chaque paramètre intervenant dans la production de chaque observé doit être affiné par essais successifs, par exemple le seuil significatif de l'angle volant, des valeurs d'accélération, et finalement chaque règle d'inférence définie dans ABSTRACT.

Notre approche est pragmatique. Aucun des choix élémentaires qui interviennent dans le processus de modélisation ne peut être démontré de manière absolue. Sont donc retenus les choix qui produisent les observés les plus utiles pour permettre à l'ergonome de comprendre l'activité en regardant la trace, et de répondre aux questions qu'il se pose. De plus, ces observés deviennent compréhensibles par le fait qu'ils symbolisent un aspect de l'activité qu'ils contribuent eux-mêmes à définir. A ce titre, ils deviennent les mots d'un langage qui permet de produire un discours sur l'activité de l'opérateur. Ce langage relève d'une théorie du langage pragmatique, dans laquelle chaque mot prend son sens dans le contexte ou il est employé et par rapport à une possibilité d'usage pour celui qui l'emploie. Dans notre cas cet usage se réfère à la production de modèles cognitifs ou à la conception de systèmes d'assistance à la conduite. De plus, le choix de ces symboles ne peut pas échapper à l'influence d'une communauté d'usage, la communauté des ergonomes de la conduite automobile et la communauté des conducteurs automobiles. Ce langage rejoint donc ce que Falzon nomme un langage opératif, c'est-à-dire un langage spécialisé, utilisé par les opérateurs pour communiquer entre eux pendant la pratique de leur activité ou pour la décrire. Selon Falzon, l'ergonome doit impérativement découvrir ce langage opératif pour pouvoir réaliser son travail d'analyse de l'activité, et il ne peut le découvrir qu'en accord avec l'opérateur.

Enfin, notre approche est téléologique. Elle est dirigée par un sujet conscient, l'ergonome, et est orientée par ses intentions et projets. A chaque étape élémentaire de construction d'un observé, il surgit une infinité de choix possibles. La simple méthode évolutionniste et pragmatique demanderait un temps infini pour tester et évaluer chaque possibilité si elle n'était pas orientée par la compréhension de l'ergonome. De plus, les résultats produits n'auraient aucun sens pour cet ergonome.

### **7.2.3.2. Vers une automatisation du processus de découverte de connaissances**

Il nous semble, malgré tout, intéressant d'imaginer comment un système autonome pourrait découvrir par lui-même des connaissances à partir de ses propres traces d'activité. Pour l'instant, cela ne nous semblerait guère possible à un niveau élevé

d'abstraction que nous avons discuté jusqu'à présent. Néanmoins il nous semble que la question mérite d'être posée à un niveau beaucoup plus rudimentaire.

Dans notre approche, la découverte de connaissance doit être dirigée par un sujet connaissant, l'ergonome. Ce processus conduit à produire des symboles et des schémas d'activité qui ont un sens pour ce sujet, mais aucun sens pour le système informatique. Nous pouvons nous demander à l'inverse s'il serait possible de concevoir un système autonome, disons un robot, capable de mener par lui-même ce processus à partir de ses expériences dans son environnement. La question est de savoir si un tel robot pourrait identifier des motifs intéressants pour lui dans ses propres traces d'activité à des niveaux successifs d'abstraction. Il devrait pouvoir les identifier de lui-même, même si on n'exclut pas la possibilité d'une aide "sociale". Finalement il devrait pouvoir utiliser ces motifs intéressants comme des symboles utilisables par lui, de telle sorte que pour un observateur extérieur, il pourrait apparaître comme un sujet connaissant.

Les caractères évolutionniste et pragmatique de la connaissance ne nous sembleraient pas impossibles à reproduire. Il faudrait que le robot soit capable d'investiguer systématiquement toutes ses expériences passées et de retenir celles qui répondraient à une condition de renforcement prédéfinie. Cette condition de renforcement serait une sorte de mécanisme de valuation de ses expériences, comparable aux émotions. On retrouve cette idée que des représentations peuvent se construire à partir de traces d'activités dans les travaux sur l'émergence des représentations chez les robots de Steels . Mais est-ce que ces conditions seraient suffisantes pour que le robot devienne finalement un être intentionnel, capable de mettre en œuvre sa propre investigation de la connaissance ?

Cette question sort de notre champ d'étude, mais nous voulons souligner ici que la notion de système à base de trace nous semble une façon intéressante de l'aborder. Les outils d'ingénierie de la connaissance appliqués à la notion de traces d'activité que nous avons présenté apporteraient un moyen, sinon d'y répondre, du moins de l'explorer. Dans ce contexte, les fonctionnalités de visualisation interactives des traces ne seraient pas utilisées pour permettre à l'utilisateur de diriger le processus de construction de connaissance, mais pour le suivre. Elles pourraient aider à la conception du robot.

### **7.2.4. Contribution à l'étude de la prise de conscience**

---

L'étude des différents niveaux de contrôle qu'un opérateur met en œuvre dans une activité renvoie directement à la question de savoir comment cet opérateur "prend conscience" de certains aspects de son activité. L'étude de cette prise de conscience est donc une question importante en ergonomie cognitive. Pour comprendre cette prise de conscience, l'ergonome doit reconstituer les mécanismes d'explicitation que l'opérateur met lui-même en œuvre pendant son activité. L'ergonome cherche donc à mener un travail d'explicitation de l'activité qui est parallèle au travail que l'opérateur lui-même pourrait faire. Nous proposons ici l'idée que notre formalisation des mécanismes d'explicitation de l'activité par l'ergonome puisse nous éclairer sur la façon dont l'opérateur lui-même peut prendre conscience de sa propre activité.

### 7.2.4.1. Etudier et assister le processus d'explicitation

Au paragraphe 1.2.2.2 nous avons introduit la théorie de la psychologie constructiviste de Piaget et présenté comment elle pouvait s'appliquer à l'acquisition de nouvelles connaissances chez l'adulte. Jusqu'à présent, nous avons appliqué cette théorie à l'ergonome, pour expliquer comment celui-ci pouvait construire des connaissances en ergonomie cognitive, à propos de l'opérateur.

Nous pouvons maintenant examiner comment cette théorie s'applique également à l'opérateur. Cela correspond à un usage plus classique de cette théorie. Dans ce cadre, elle explique comment l'opérateur peut lui-même expliciter ou "prendre conscience" de sa propre activité. Il nous semble que notre travail peut contribuer à expliquer ce mécanisme constructiviste de la part de l'opérateur lui-même. Nous proposons de le voir comme une formalisation de la théorie constructiviste de l'explicitation et de la prise de conscience.

Pour cela, il peut s'appliquer à différentes échelles de temporalité.

Dans une temporalité courte, il peut expliquer comment l'opérateur construit, pratiquement immédiatement, une explicitation de la situation courante dans laquelle il est plongé. Cette explicitation correspond à sa "Conscience de la Situation", car ce processus d'explicitation fait émerger des aspects de l'activité compris par l'opérateur, au moment où il réalise l'activité. Avec le vocabulaire que nous avons employé jusqu'à présent, nous pouvons dire que des "points d'intérêt" de l'activité deviennent saillants et prennent un sens pour l'opérateur. Ces "points d'intérêt" constituent une explicitation de l'activité immédiate à la conscience de l'opérateur, à un niveau qui peut être non verbal, que Piaget a appelé "symboles privés". Cette prise de conscience peut, en retour, entraîner une action volontaire sur l'activité. Elle permet également de rattacher ces points d'intérêt à un discours verbal et d'effectuer des raisonnements explicites.

Dans une temporalité longue, notre travail peut expliquer que l'opérateur apprend petit à petit à reconnaître les points intéressants de son activité. Puis, par un processus réflexif, sur la base de ces points, il peut apprendre de nouveaux schémas d'activité. Ces nouveaux schémas peuvent relever de différents niveaux de contrôle, plus ou moins explicite. Il peut inversement exister des mécanismes descendants, par lesquels des schémas appris de manière explicite sont peu à peu transformés en un savoir-faire implicite.

Nous illustrons à la Figure 89 ce parallélisme qui peut être fait entre le processus constructiviste de l'ergonome et le processus constructiviste de l'opérateur. Cette figure reprend la méthodologie ABSTRACT telle qu'elle est résumée au paragraphe 5.5 et les rattache aux étapes de la construction de connaissance de Piaget.

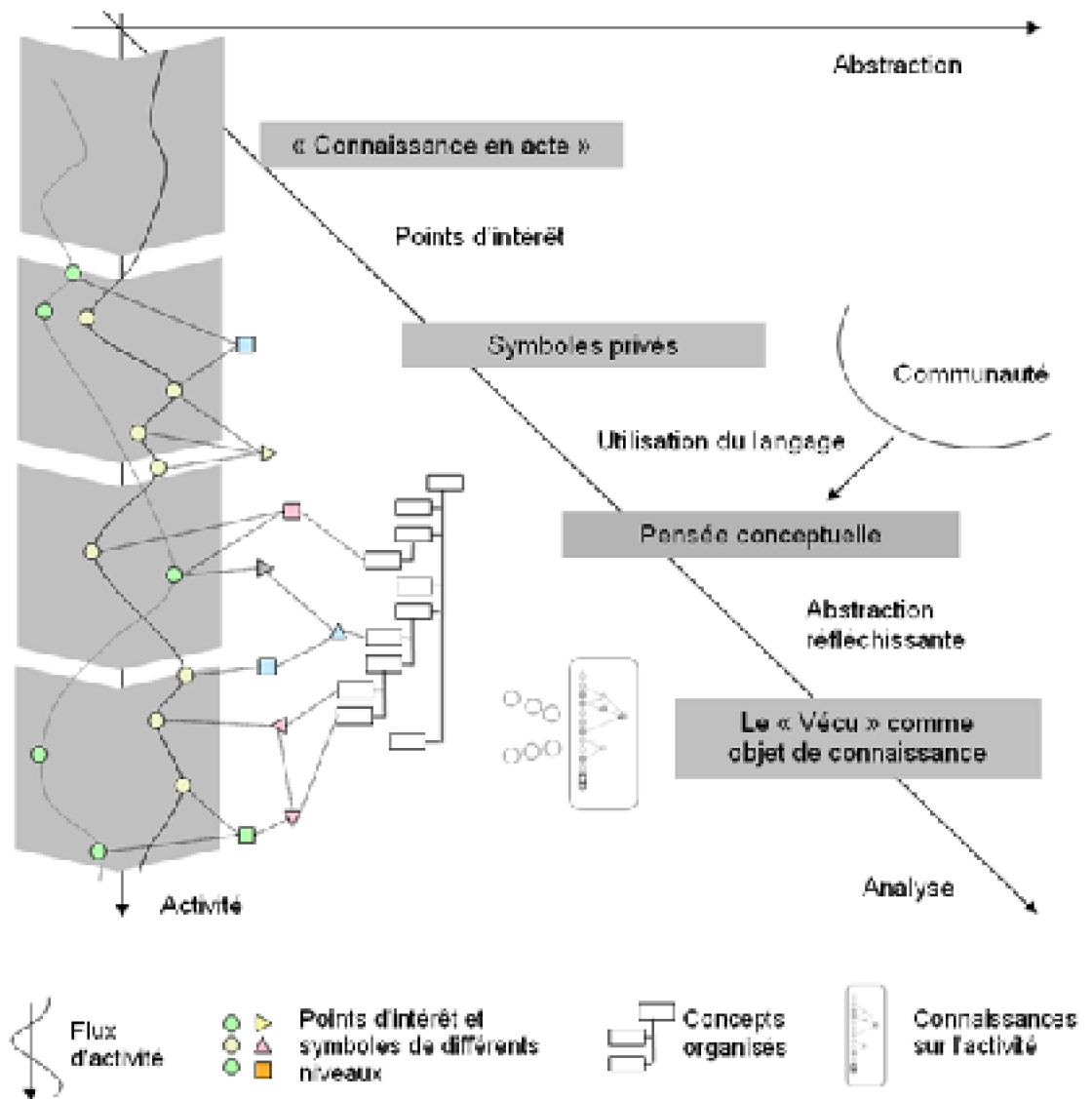


Figure 89 : Explicitation de l'expérience vécue ou observée

Cette figure est issue d'une fusion de la Figure 69 avec la Figure 3. L'axe de temps de l'activité est représenté verticalement à gauche, et les niveaux d'abstraction sont représentés par l'axe horizontal en haut. Le processus de construction de connaissances est représenté par la flèche en diagonale. Cette figure superpose donc deux temporalités : la temporalité de l'activité et la temporalité de la construction de connaissances. Dans la temporalité de l'activité, tous les niveaux de contrôle sont simultanément présents, mais nous les incluons dans la figure en suivant la temporalité de découverte de connaissances. L'activité est donc représentée avec tous ses niveaux de contrôle à la quatrième étape. Cette figure peut autant se lire du point de vue de l'ergonome, qui cherche à découvrir des connaissances à propos de l'activité de l'opérateur, que du point de vue de l'opérateur, qui prend conscience de sa propre activité.

La première étape représente le "flux de l'activité". Pour l'ergonome, c'est la trace collectée. Ces données contiennent implicitement les connaissances qu'il cherche à expliciter. Elles sont aussi une manifestation implicite des connaissances du conducteur,

bien que ce dernier ait pu les mettre en œuvre à différents niveaux de contrôle, plus ou moins explicitement pour lui. Pour le conducteur, cette étape correspond à son activité implicite, la manifestation de son savoir-faire, ce que Piaget a appelé sa "connaissance en acte". Dans les deux cas, ce niveau est centré sur l'activité. Il ne fait pas la distinction entre ce qui relève de l'environnement et ce qui relève du sujet. Par exemple, du point de vue de l'ergonome, l'angle du volant est enregistré sans décider s'il doit être considéré comme une action du conducteur ou comme un paramètre du véhicule. Du point de vue du conducteur, ce niveau peut être désigné sous le terme de "vécu phénoménologique", au sens où, pour la phénoménologie, l'idée même de dissociation entre le monde physique et le monde mental est construite dans un deuxième temps .

Dans la deuxième étape, des "points d'intérêt" sont identifiés dans le flux d'activité. Pour l'ergonome, ils peuvent constituer des symboles de bas niveau qui décrivent l'activité. Par exemple : un dépassement de seuil de l'angle du volant, qu'il entrevoit comme intéressant, du fait de ses connaissances préalables. Pour le conducteur, il faut lui présupposer une intentionnalité, qui lui permet de sélectionner peu à peu les points intéressants. Ces points sont significatifs pour lui, du fait qu'ils se rattachent à son intentionnalité, ils peuvent donc correspondre à ce que Piaget appelle des "symboles privés".

Dans la troisième étape, des symboles plus abstraits sont progressivement rattachés aux "points d'intérêt", dans le but d'atteindre un niveau de description de l'activité qui soit partageable au sein d'une communauté. C'est à ce niveau que l'ergonome et le conducteur peuvent établir un dialogue. Nous rapprochons ce niveau de ce que Piaget appelle l'étape de la "pensée conceptuelle". Le conducteur, ou l'ergonome créent des concepts et les organisent, à partir de théories préalables et sous l'influence de leurs communautés respectives. Par exemple, l'ergonome crée la catégorie de ce qui relève du conducteur et celle de ce qui relève de l'environnement, puis il décide de placer les franchissements de seuil du volant dans la catégorie "action du conducteur". Du point de vue du conducteur, au cours de son développement en tant que sujet humain, on peut proposer qu'à la base de ce niveau soient construites deux grandes classes ontologiques : la classe des objets "réels" et la classe des objets "mentaux".

Dans la quatrième étape, des modèles de l'activité peuvent être construits avec ces symboles. Nous l'avons rapprochée de ce que Piaget appelle l'approche réflexive, qui prend le vécu comme objet de connaissance. Par exemple l'ergonome construit les schémas tactiques "Lane\_Change\_anticipated" et "Lane\_Change\_delayed". Le schéma tactique qui est explicité par l'ergonome au cours de ce processus n'est pas forcément explicite pour le conducteur au moment où celui-ci le met en œuvre. Il ne se dit pas forcément mentalement : "Ha, je suis ralenti par un véhicule lent, je vais contrôler mon rétroviseur et anticiper l'accélération pour prendre de l'élan, et je ne mettrai mon clignotant que si la voie est libre". Ce schéma tactique est sans doute en grande partie automatisé. Cependant, Piaget nous suggère, d'une part, que ce peut être par un mécanisme analogue que le conducteur l'a appris, et d'autre part, qu'il pourrait lui-même l'explicitier par un mécanisme analogue.

Nous avons donc mis en évidence un parallélisme entre le processus de construction de connaissances par le conducteur à partir de sa propre expérience, et le processus de

construction de connaissances par l'ergonome à partir de l'expérience du conducteur. Ce parallélisme fonctionne si l'ergonome a la possibilité de trouver dans la trace des points d'intérêt qui correspondent à ceux que le conducteur retrouve dans sa propre activité de conduite. Sur cette base, il pourra y avoir une correspondance entre les schémas tactiques que découvre l'ergonome à partir de la trace d'activité et les schémas tactiques que fait émerger le conducteur à partir de son activité. De plus, sur la base de ce parallélisme, il peut être intéressant de mener de manière conjointe le processus d'explicitation, entre l'ergonome et le conducteur.

### **7.2.4.2. Vers un usage d'ABSTRACT en entretien d'auto-confrontation**

Au paragraphe 3.3.3 nous avons présenté la technique d'auto-confrontation comme un moyen pour l'ergonome d'obtenir une évaluation subjective de l'activité par l'opérateur. Cette évaluation subjective peut porter sur des critères facilement définissables et accessibles à l'opérateur, comme l'évaluation de la peur, de la surprise, de la difficulté de la tâche. C'est ce que nous avons utilisé dans notre approche. Mais elle pourrait conduire à une verbalisation et à une explicitation plus approfondie. Pour cela l'idée d'utiliser ABSTRACT en entretien d'auto-confrontation se présente tout naturellement. Elle consiste simplement à appliquer à l'opérateur les arguments que nous avons développés tout au long de notre travail pour l'ergonome.

Il ne s'agirait pourtant pas de demander à l'opérateur de réaliser lui-même une analyse de sa propre activité. En effet le travail d'analyse de l'activité est fait par l'ergonome sur la base de concepts et modèles issus d'une connaissance scientifique, et en profitant de son savoir-faire professionnel. L'opérateur, lui, s'appuie sur une "psychologie naïve" et a recours à des méthodes de la vie de tous les jours, pour réaliser ce que nous désignons par une explicitation. L'apport d'ABSTRACT serait donc plutôt de constituer un support de dialogue entre l'ergonome et l'opérateur. Le fait de disposer de ce terrain commun à ces deux activités, l'analyse par l'ergonome et l'explicitation par l'opérateur, permettrait d'instaurer le dialogue entre les deux. Ainsi, l'ergonome pourrait confronter l'opérateur à son interprétation et bénéficier ainsi d'éléments d'analyse supplémentaires tout en faisant bénéficier à l'opérateur, d'éléments de compréhension complémentaires.

L'explicitation passe par un processus réflexif lié à la "prise de conscience". La consultation des traces par l'opérateur peut faciliter cette prise de conscience en lui permettant de porter un regard sur son activité. Ainsi, il serait possible d'étudier le niveau de contrôle du sujet dans certaines situations en comparant son explicitation spontanée et son explicitation faite en auto-confrontation avec ABSTRACT. S'il n'y a pas de différence, cela peut signifier qu'il appliquait un contrôle explicite de son activité. En cas de différences, cela permettrait de faire des comparaisons entre ses schémas explicites et implicites.

### **7.2.4.3. Vers une analyse de la prise de conscience**

Par les possibilités qu'il offre de mettre en évidence des schémas cognitifs, et également d'analyser les cas où ces schémas sont pris en défaut, ABSTRACT nous semble un outil

très adapté pour étudier les mécanismes de prise de conscience. En effet la prise de conscience est largement reconnue comme une rupture d'un ensemble de mécanismes automatisés. L'exemple d'erreur de conscience de la situation que nous avons présenté au paragraphe 6.3.4 illustre cette possibilité. Dans ce cas nous avons recueillis un indicateur subjectif de la prise de conscience constitué par le rappel spontané par l'opérateur de cette situation au moment de l'entretien. Grâce à ABSTRACT nous avons été en mesure de mettre en évidence que cette prise de conscience était liée à la rupture du schéma tactique de dépassement.

Nous avons, dans notre expérimentation, collecté un ensemble de données qui se prêteraient à une analyse dans ce sens. Il s'agirait de mettre en évidence des dichotomies entre les cas typiques et les cas atypiques ou étudier la variabilité de certains schémas de conduite en fonction des situations et montrer comment elle peut s'expliquer, s'il y a lieu. Cela consisterait à reproduire la démarche que nous avons adoptée pour analyser les changements de voie. C'est-à-dire identifier des schémas cognitifs à partir des cas typiques et observer leur prise en défaut dans les cas atypiques. Nous avons à titre exploratoire appliqué cette démarche dans le cas d'un virage présentant un caractère surprenant qui poussait certains sujets à freiner au milieu du virage. Nous avons en entretien demandé aux sujets s'ils se souvenaient avoir freiné et comparé leur réponse avec leur trace. Il arrivait fréquemment que le sujet ait freiné alors qu'il déclarait ne pas l'avoir fait.

La question du passage entre ces niveaux de contrôles implicite et explicite est une question qui n'a pas beaucoup été étudiée, mais qui présente des enjeux importants notamment en ce qui concerne les processus d'apprentissage. Dans la direction descendante, elle rejoint la question de savoir comment des informations qui seraient explicitement fournies au conducteur, par exemple par des systèmes d'assistance à la conduite, pourraient être intégrées par lui, dans son activité.

### **7.2.4.4. Vers un modèle constructiviste de la conscience de la situation**

Au paragraphe 7.2.4.1, nous avons présenté comment notre approche constructiviste permettait de décrire la prise de conscience et les mécanismes d'explicitation, qu'un sujet humain peut mener par lui-même, à partir de sa propre activité. Nous avons présenté cette description à la Figure 89. Cette figure mettait en évidence la construction progressive de connaissances à plusieurs niveaux d'abstractions ; mais en réalité, ces différents niveaux sont tous présents pendant l'activité et correspondent à des niveaux de contrôle parallèles. Nous voudrions maintenant proposer un modèle cognitif de l'opérateur, qui rende compte de ce parallélisme des niveaux de contrôle et de ce double processus d'émergence : l'émergence de connaissances au fil de l'activité et l'émergence d'une conscience de la situation en parallèle de l'activité.

Pour cela nous nous proposons de partir du modèle de la conscience de la situation d'Endsley, présenté au paragraphe 2.2.6, Figure 11. Ce modèle, comme la plupart des modèles cognitifs, découpe la boucle d'interaction de l'opérateur avec son environnement en trois étapes principales : perception, puis compréhension, puis action, avant de reboucler sur la perception. On retrouve également ce découpage dans les modèles de simulation cognitive, par exemple le modèle d'ACT-R, présenté Figure 14 ; puisque, par

principe, ces modèles isolent la partie compréhension, pour la simuler par un traitement d'information sur ordinateur.

La plupart des auteurs font pourtant remarquer qu'en réalité, la perception, la compréhension et l'action sont intimement liées. Endsley, dans les explications qu'elle donne de ses modèles, précise que la compréhension guide la perception, et que la connaissance est codée et comprise au sein de schémas qui permettent l'anticipation et qui guident les actes. Nous proposons donc d'appliquer au modèle d'Endsley notre symbolisme de la Figure 89, afin de représenter l'activité non pas comme une boucle, mais sous sa forme déployée au cours du temps. De cette façon, la perception et l'action restent liées au sein de schémas, la compréhension provient alors du fait que ces schémas sont inscrits dans un usage.

Nous devons cependant garder dans notre modèle, au dessus de l'activité, un niveau de description qui rende compte de l'émergence de la conscience de la situation. La conscience de la situation ne sera alors plus vue comme une étape du cycle perception, compréhension, action, mais comme une explicitation qui émerge, en continu, de l'activité. Ce niveau de description devra aussi rendre compte des capacités humaines de traitement de l'information explicite, ou, pour le poser comme Anderson à propos d'ACT-R : devra permettre de décrire la cognition humaine en ce qu'elle se différencie de celle des autres animaux.

Ces différentes attentes nous mènent à proposer le modèle présenté à la Figure 90.

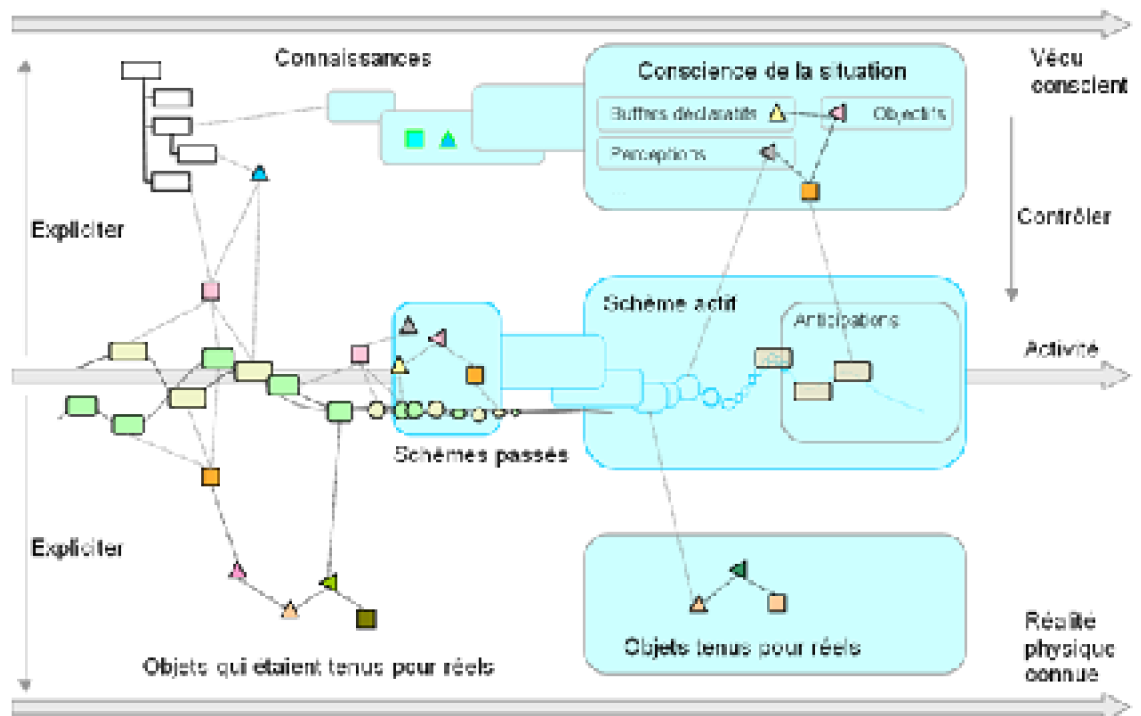


Figure 90 : Modèle constructiviste de la conscience de la situation

Dans cette figure, l'activité, telle qu'elle est vécue par le sujet, est placée au centre. Elle est représentée de gauche à droite, dans son déploiement au cours du temps. Ce primat accordé à l'activité vécue rejoint la position philosophique de la phénoménologie, selon laquelle le sujet construit, dans un deuxième temps, à la fois son vécu conscient et



sa réalité physique connue. Nous désignons ce mécanisme de construction par le terme "expliciter". En retour, du point de vue du sujet, son vécu conscient exerce un contrôle sur son activité. Ce contrôle s'exerce à différents niveaux, plus ou moins explicites, que nous n'avons pas différenciés sur la figure. En ce sens, ce modèle rejoint le modèle d'interaction ECOM présenté au paragraphe 1.1.3, Figure 2 ; mais, au lieu de présenter l'interaction sous forme de boucles superposées, il la présente sous forme déployée, avec des schèmes imbriqués, de différentes portées temporelles.

Pour représenter l'activité, nous avons utilisé le graphisme que nous avons utilisé pour représenter les traces. Cette représentation vise à rendre compte du fait qu'au fil de l'activité, des "unités d'activité" utiles sont identifiées et retenues. Nous désignons ces "unités d'activité" par le terme de "schèmes" de Piaget, mais elles nous semblent également correspondre assez bien aux notions de "dispositions à répondre" ou "d'anticipations" telles qu'elles sont présentées par Berthoz & Petit . Au fur et à mesure de leur sélection, ces schèmes organisent l'activité à venir. L'activité présente est structurée sur la base des schèmes passés. De plus, ces schèmes jouent le rôle de points d'appui pour une activité cognitive réflexive du sujet. Ils acquièrent un rôle symbolique en étant inclus dans des schèmes de plus haut niveau. En tant que symboles, ils sont rattachés à d'autres symboles de plus en plus abstraits et organisés. Dans ce modèle, les activités mentales ou sociales, la pensée réflexive, la communication verbale, sont à situer dans la partie "activité", au même titre que les activités physiques. Ainsi, nous nous rattachons à l'idée, proposée notamment par Vygotski , selon laquelle la construction de concepts abstraits passe en grande partie par des activités d'interaction avec d'autres êtres humains.

Cette organisation progressive, sous la contrainte de l'activité, fait apparaître les deux grandes classes ontologiques du dualisme cartésien : l'univers mental et l'univers physique. Le sujet construit son univers mental qui évolue en parallèle à son activité et qui contient, à chaque instant, sa conscience de la situation. Certains aspects de l'activité deviennent alors vécus comme des perceptions, d'autres comme des représentations, d'autres comme des actes volontaires. Parallèlement, le sujet construit son environnement physique connu, c'est-à-dire qu'il considère progressivement certains aspects de son activité comme concernant des objets d'un monde physique environnant. Cette "réalité physique connue" correspond à ce qui est désigné dans les modèles cognitifs classiques sous le terme "d'environnement" ; mais dans notre modèle, l'environnement est compris par le sujet du fait que ses éléments sont, par construction, rattachés à un usage. De plus, cet environnement physique connu évolue, parallèlement à l'activité.

Du fait que la conscience de la situation contient un niveau explicite, nous pouvons représenter à son niveau, les différents buffers déclaratifs proposés par les modèles de simulation cognitive. Nous nous basons sur le modèle d'ACT-R présenté à la Figure 14, pour inclure les buffers "objectif" ("goal"), perception visuelle ("visual"), etc. En revanche le "moteur" qui réalise les traitements mentaux est représenté dans notre modèle par le schème actif. Nous pouvons garder l'idée de principe d'activation par similarité ("matching") proposé par ACT-R pour expliquer la sélection du schème actif ; mais dans notre cas, ce schème n'est pas figé. Il ne se résume donc pas à une "règle de production"

comme dans ACT-R, c'est un mécanisme plus complexe, qui a été construit progressivement au fil de l'activité antérieure. La simulation informatique de la mise en œuvre de ce schème reste donc un problème ouvert, dans lequel le champ de recherche du "raisonnement à partir d'expérience tracée" a toute sa place.

Contrairement au modèle d'Endsley, notre modèle n'inclut pas de boîte nommée "compréhension". Contrairement aux modèles de simulation cognitive, il ne décrit pas des manipulations de symboles vus du point de vue du modélisateur qui les regarde. Notre modèle vise à décrire comment les symboles prennent sens pour le sujet lui-même. Ils acquièrent ce sens, non pas parce qu'ils sont "vus" par une conscience, mais parce qu'ils sont inscrits dans des usages. Ce modèle doit donc être vu comme la description d'un système qui peut être compris dans son ensemble comme un système conscient. Il superpose une vision "de l'intérieur" selon laquelle le Sujet construit une conscience de la situation à partir de son activité, et une vision "de l'extérieur", selon laquelle le psychologue affirme que le sujet construit une conscience de la situation. Vu de l'extérieur, nous pouvons nous demander jusqu'à quel point il serait compatible avec une implémentation d'un robot qui paraîtrait conscient. En effet, contrairement au modèle d'Endsley par exemple, il ne contient pas de module "compréhension", qu'on ne saurait pas implémenter informatiquement. Vu de l'intérieur, c'est-à-dire appliqué à nous-mêmes, ce modèle laisse subsister le mystère de notre "activité telle que nous la vivons". Il prend acte de son existence et il est bâti autour d'elle.

## Conclusion

Ce travail est le fruit d'une rencontre entre des psychologues travaillant en ergonomie cognitive et des informaticiens travaillant en ingénierie des connaissances. Cette rencontre a été l'occasion de nombreux débats sur la façon d'appréhender la cognition humaine. Chacun apportait son point de vue sur la cognition, liés à ses propres pratiques de recherche.

Les psychologues ont apporté une grande exigence d'objectivité dans la démarche scientifique d'observation et de modélisation d'un opérateur en train de mener une activité. Cette exigence passe par la mise en place d'une méthodologie d'expérimentation et d'analyse des données recueillies, qui vise notamment à se préserver des biais liés à la subjectivité de l'ergonome. Pour eux, l'informatique peut constituer une source de concepts théoriques pour se représenter la cognition humaine comme un mécanisme de traitement de l'information, ainsi qu'une source de moyens pratiques pour la simuler.

Pour les informaticiens, le "sujet humain" est avant tout le destinataire de leur travail, puisque toute réalisation informatique est destinée à un utilisateur ou à un groupe d'utilisateurs. Les informaticiens observent ce sujet humain non pas d'une manière extérieure qui chercherait à s'affranchir des biais liés à leur pratique d'informaticiens ; mais ils l'observent au contraire par l'intermédiaire des systèmes qu'ils conçoivent, en accordant un intérêt tout particulier à l'impact de ces systèmes sur les utilisateurs et inversement des utilisateurs sur ces systèmes. En particulier, l'ingénierie des connaissances les amène à s'interroger sur la nature même de la notion d'information et de son rapport avec une connaissance à laquelle un "sujet connaissant", qui est

l'utilisateur du système, peut attribuer un sens.

Ainsi, même si cela peut sembler surprenant, ce ne sont pas toujours les psychologues qui témoignent de la position la plus critique vis-à-vis de la métaphore de l'ordinateur pour comprendre la cognition humaine.

Pour trouver un dénominateur commun entre ces deux points de vue, nous avons été obligés de remonter à un niveau de discussion relevant de la définition même de la connaissance : le niveau épistémologique. A ce niveau, nous avons trouvé un terrain d'entente offert par le cadre habituellement désigné sous le terme "d'épistémologies constructivistes". Ce cadre épistémologique reconnaît à la connaissance sa nature fondamentalement subjective, au sens où elle est toujours liée à un "sujet connaissant", et en même temps propose une démarche de recherche scientifique visant à produire des connaissances recevables par une communauté scientifique.

Une fois posé ce cadre épistémologique, nous avons pu le décliner pour les deux "sujets connaissant" impliqués dans notre travail : l'opérateur et l'ergonome. Concernant l'opérateur, nous l'avons étudié "de l'extérieur" avec une démarche scientifique d'ergonome visant à se dégager du biais de sa propre subjectivité. Pour cela nous avons appliqué une méthodologie évolutionniste et pragmatique. Concernant l'ergonome, nous nous sommes intéressés à lui "de l'intérieur" pour décrire comment il pouvait construire des connaissances justement par le biais de l'outil informatique que nous avons pu ainsi mettre au point.

En prenant le rôle de l'ergonome, nous avons pu construire des connaissances en ergonomie cognitive. Ces connaissances ont pris la forme de modèles de schémas tactiques de conduite. Ce sont les schémas de changement de voie sur autoroute que nous avons présentés. Nous avons ainsi contribué au projet de simulation cognitive du conducteur automobile du Lescot.

Plus généralement cette démarche nous a permis de concevoir et de mettre en place une méthodologie pour étudier la cognition telle qu'elle se déploie dans une activité. Cette méthodologie nous permet de rechercher les éléments d'information qui sont pertinents pour un opérateur. L'ergonome ne peut jamais prouver de manière absolue que les éléments qu'il identifie sont effectivement les éléments pertinents pour l'opérateur, mais il peut construire une argumentation raisonnable de cette affirmation. Cette argumentation se base à la fois sur une observation de l'activité et sur un cadre théorique qui oriente son analyse. Sur le plan théorique nous nous sommes appuyés sur la notion de "schémas cognitifs", de "conscience de la situation" et de "niveaux de contrôle" de l'activité. Nous avons appliqué notre méthode pour analyser des comportements portant sur une échelle de temps de l'ordre de quelques secondes, c'est-à-dire qui concerne la mise en œuvre de schémas tactiques. Notre méthode pourrait être employée sur d'autres échelles de temps.

Les connaissances que nous avons produites en ergonomie nous ont conduit à proposer des pistes de conception de systèmes d'assistance à la conduite. Le fait de disposer de moyens pour comprendre l'activité d'une manière contextualisée, nous permet d'imaginer des systèmes d'assistance à la conduite qui ne sont pas habituellement proposés dans la littérature. Par exemple, émettre des messages vers les autres usagers de la route, qui puissent être interprétés de manière adaptée au contexte. Plus

généralement, il nous semble qu'un des grands intérêts de notre approche est de donner un moyen aux professionnels de la sécurité routière ou de la conception de véhicules, d'acquérir une connaissance plus précise de ce qu'est la conduite. Notre approche offre également les moyens d'évaluer l'évolution des comportements, liée à l'introduction de nouveaux systèmes embarqués dans le véhicule. Les connaissances produites permettraient de concevoir, tester, améliorer ces nouveaux systèmes.

Nous avons appuyé notre méthodologie sur un outil informatique que nous avons appelé un "Système à Base de Traces". C'est un système d'ingénierie des connaissances dédié aux traces d'activité. Nous avons ainsi produit des résultats dans le domaine de la recherche en ingénierie des connaissances. Ces résultats consistent en la conception de ce système, en la définition de son usage et en la réalisation de son prototype. C'est un logiciel libre qui est destiné à évoluer, il est prévu qu'il soit prochainement utilisé dans d'autres travaux à l'Inrets et ailleurs. Cet outil offre un lieu de rencontre entre les ingénieurs, les informaticiens et les psychologues. Ce lieu de rencontre facilite leur dialogue, il constitue un support au travail collaboratif entre ces personnes issues de cultures différentes. De cette façon nous pensons qu'il peut avoir un impact sociologique bénéfique dans les organisations qui l'utilisent. Par ailleurs nous avons montré que cet outil permettait une capitalisation de l'expertise d'analyse au fil des expérimentations.

Au terme de ce travail, nous pensons que les deux points de vue sur la cognition que nous avons adoptés, sont complémentaires. L'approche centrée sur l'opérateur permet de décrire ses mécanismes de traitement des informations, ses objectifs, ses décisions, ses représentations mentales. L'approche centrée sur l'interaction permet de rendre compte de l'émergence de l'information signifiante à partir de l'activité. Elle nous rappelle que toute cognition est une cognition située, qui n'a de sens que dans le contexte ou elle est mise en œuvre. En ce sens, il nous semble que la tendance actuelle de "conception centrée sur l'humain" (Human Centered Design) doit être comprise comme une "conception centrée sur l'humain agissant dans un contexte". Nous avons proposé une synthèse de ces deux approches. Cette synthèse offre un moyen de rendre compte des mécanismes que l'opérateur met en œuvre pour expliciter sa propre activité. A ce titre elle pourrait permettre à l'avenir d'étudier ses mécanismes de "prise de conscience".

Ce rapprochement pourrait se traduire, sur le plan méthodologique, par la possibilité d'utiliser un "Système à Base de Traces" pour faciliter l'explicitation de sa propre activité par l'opérateur. Cette perspective nous semble prometteuse à la fois dans le domaine de l'ergonomie cognitive, en l'utilisant dans des entretiens d'explicitation, et à la fois en informatique pour aider un utilisateur à mieux maîtriser son usage d'un logiciel. Globalement, elle permet d'étudier l'activité à un niveau où s'entremêlent des comportements de contrôle mis en œuvre implicitement et des comportements de contrôle volontaires et conscients avec une idée de continuum entre les deux.



---

# Bibliographie

## Références Bibliographiques

- Aamodt, A. & Plaza, E. (1994). Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches. *AI Communications*, 7(1), 39-59.
- Algers, S., Bernauer, E., Boero, M., Breheret, L., Di Taranto, C., Dougherty, M., Fox, K. & Gabard, J.-F. (1997). *Review of Micro-Simulation Models*. (Report N°. SMARTEST/D3), Institute for Transport Studies, University of Leeds.
- Allen, T. M., Lunenfeld, H. & Alexander, G. J. (1971). Driver information needs. *Highway Research Record*, 366, 102-115.
- Anderson, J. R. (2007). *How can the human mind occur in the physical Universe?* New York: Oxford University Press.
- Anderson, J. R. & Lebière, C. (1998). *The Atomic Components of Thought*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Anolli, L., Duncan, S., Magnusson, M. S. & Riva, G. (2005). *The Hidden Structure of Interaction: From Neurons to Culture Patterns*. Amsterdam: IOS Press.
- Atkinson, R. C. & Shiffring, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its

- control processes. In K. W. Spence (Ed), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (pp. 89-195). New York: Academic Press.
- Avouris, N., Komis, V., Fiotakis, G., Margaritis, M. & Voyiatzaki, E. (2005). Logging of fingertip actions is not enough for analysis of learning activities. *Usage analysis in learning system AIED'05 Workshop*.
- Bachimont, B. (1996). *Herméneutique matérielle et Artéfacture : des machines qui pensent aux machines qui donnent à penser ; Critique du formalisme en intelligence artificielle*. Thèse de doctorat d'épistémologie, Ecole Polytechnique, Paris.
- Bachimont, B. (2000). Engagement sémantique et engagement ontologique : conception et réalisation d'ontologies en Ingénierie des connaissances. In J. Charlet, M. Zacklad, G. Kassel and D. Bourigault (Ed), *Ingénierie des connaissances, évolutions récentes et nouveaux défis* (pp. 16). Paris: Eyrolles.
- Bachimont, B. (2004). Pourquoi n'y-a-t-il pas d'expérience en ingénierie des connaissances? *Proceedings of IC2004*. Lyon.
- Baddeley, A. D. & Hitch, G. (1974). Working Memory. In G. Bower (Ed), *Recent advances in learning and motivation* (pp. 47-90). New York: Academic Press.
- Badre, A. & Santos, P. (1991). *Chime: A knowledge based Computer Human interaction Monitoring Engine*. Georgia Institute of Technology.
- Bailly, B. (2004). *Conscience de la situation des conducteurs: Aspects fondamentaux, méthodes et application pour la formation des conducteurs*. Thèse de doctorat, Université Lumière Lyon 2, Lyon.
- Baker, M. & Carter, M. (1997). *Development of a Lane Changing Algorithm for Evaluating the Impact of ICC*. Volpe National Transportation Systems Center.
- Bartlett, F. C. (1932). *Remembering: An experimental and social study*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Baumann, M. & Krems, J. (2005). Situation awareness and driving: a cognitive model of memory update-processes. *Proceedings of the International Workshop on Modelling Driver Behaviour in Automotive Environments*. Ispra, Italy.
- Bellet, T. (1998). *Modélisation et simulation cognitive de l'opérateur humain: une application à la conduite automobile*. Thèse de doctorat, Université Paris V, Paris.
- Bellet, T. (2006). Driving activity analysis and modelling for adaptive collision avoidance systems design. *Proceedings of the 16th World Congress on Ergonomics, Maastricht, the Netherlands, 10-14 July 2006*. Maastricht.
- Bellet, T. & Tattegrain-Veste, H. (1999). A framework for representing driving knowledge. *International journal of cognitive ergonomics*, 3(1), 37-49.
- Bernard, M. L., Forsythe, J. C., Allender, L., Cohn, J., Radvansky, G. & Ritter, F. E. (2007). The next generation of cognitive modeling tools: Opportunities, challenges and basic needs. *Human Factors and Ergonomics Society*. Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Berthoz, A. & Petit, J.-L. (2006). *Phénoménologie et Physiologie de l'Action*. Paris: Odile Jacob.
- Bertin, J. (1999). *Sémiologie graphique*: Editions de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences.



- 
- Bisseret, A. (1970). Mémoire opérationnelle et structure de travail. *Bulletin de Psychologie*, XXIV(5/6), 280-294.
- Bisseret, A. (1995). *Représentation et décision experte, psychologie cognitive de la décision chez les aiguilleurs du ciel*. Toulouse: Octarès.
- Boer, E. R. (1996). Tangent point oriented curve negotiation. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium* (pp. 7-12).
- Boer, E. R. (2000). Behavioral Entropy as an Index for Workload. *Proceedings of the 44th annual meeting of the human factors and ergonomic society*. San Diego, CA.
- Bouaud, J. (1989). *K un Langage pour l'Implémentation d'Outils de Représentation des Connaissances*. Thèse de doctorat, Université Paris 7, Paris.
- Boy, G. (2005). Maturité, Automation et Experience des Utilisateurs. *Actes du Colloque National d'Interaction Homme-Machine*. Toulouse, France: ACM-Press.
- Brassac, C. (2003). Lev, Ignace, Jerome et les autres... Vers une perspective constructiviste en psychologie interactionniste. *Technologies, Idéologies et Pratiques: revue d'anthropologie des connaissances*, 15(1), 195-214.
- Bruner, J. S. (1957). On perceptual Readiness. *Psychological Review*, 64, 123-152.
- Cacciabue, P. C. & Re, C. (2004). *Synthesis of models and approaches for cognitive representation of Joint cognitive models of DVE*. (7ERT-050301-E1-DA), Human Center Design for Information Society Technologies.
- Card, S. K., Moran, T. P. & Newell, A. (1986). The model human processor- An engineering model of human performance. *Handbook of perception and human performance*, 2(45), 1-35.
- Cardon, A. (2004). *Modéliser et concevoir une machine pensante : Approche de la conscience artificielle*. Paris: Vuibert.
- Carsten, O. (2002). *Development of experimental protocol*. (Deliverable 1), HASTE (Human Machine Interface And the Safety of Traffic in Europe).
- Chalmers, D. (1996). *The Conscious Mind: In Search of a Fundamental Theory*. Oxford University Press.
- Champin, P.-A. (2003). *Modéliser l'expérience pour en assister la réutilisation: de la Conception Assistée par Ordinateur au Web Sémantique*. Thèse de doctorat, Université Lyon 1, Lyon.
- Champin, P.-A., Prié, Y. & Mille, A. (2004). Musette: a framework for Knowledge Capture from Experience. *Proceedings of EGC04*. Clermont-Ferrand.
- Charlet, J. (2002). *L'ingénierie des connaissances. Développements, résultats et perspectives pour la gestion des connaissances médicales*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, l'Université Pierre et Marie Curie, Paris.
- Charlet, J. & Bachimont, B. (1998). De l'acquisition à l'ingénierie des connaissances : applications et perspectives. *Assises nationales du PRC-13*.
- Clancey, W. (1993). Situated action: A neuropsychological interpretation response to Vera and Simon. *Cognitive Science*, 17, 87-116.
- Clancey, W. (2007). Scientific Antecedents of Situated Cognition. In P. Robbins and M. Aydede (Ed), *Cambridge Handbook of Situated Cognition*. Cambridge: Cambridge

University Press.

Clot, Y. (1999). *La fonction psychologique du travail*. Paris: PUF.

Cohen, M. A., Ritter, F. E. & Haynes, S. R. (2005). Herbal: A high-level language and development environment for developing cognitive models in Soar. *14th Conference on Behavior Representation in Modeling and Simulation* (pp. 177-182). Orlando, FL: U. of Central Florida.

Coombs, C. H. (1964). *A theory of data*. New York: Wiley.

Cooper, R. & Fox, J. (1998). A visual design environment for cognitive modelling. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 30, 553-564.

Cowan, N. (1988). Evolving conceptions of memory storage, selective attention, and their mutual constraints within the human information processing system. *Psychological Bulletin*, 104(2), 163-191.

Cram, D. (2007). *Visualisation de Traces: Application aux Traces Réflexives d'eLycée*. Mémoire de Master, Université Claude Bernard Lyon 1, Lyon.

Cuntoor, N., Yegnanarayana, B. & Chellappa, R. (2005). Interpretation of State Sequences in HMM for Activity Representation. *International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*. Philadelphia.

Damasio, A. (1994). *Descartes' Error*. NY: Grosset/Putnam.

Dapzol, N. (2003). *Méthodologie d'analyse des situations de conduite*. Mémoire de DEA, Inrets, Bron.

Dapzol, N. (2006). *Analyse de l'activité de conduite par les chaînes de Markov cachées et les modèles de ruptures multiphasiques: méthodologie et applications*. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard Lyon 1, Lyon.

Delacour, J. (1989). *Biologie de la conscience*: Presses Universitaires de France.

Dennett, D. C. (1987). *The intentional stance*. Cambridge, MA: MIT Press.

Dreyfus, H. (2004). A Phenomenology of Skill Acquisition as the basis for a Merleau-Pontian Non-representationalist Cognitive Science.

Durand, G. (2007). *Des événements aux objets La méthode d'abstraction extensive chez A.N. Whitehead*. Frankfurt / Paris / Lancaster: Ontols Verlag.

Eco, U. (1997). *Kant et l'ornithorynque*. Paris: Grasset.

Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37(1), 32-64.

Ericsson, K. A. & Simon, H. A. (1993). *Protocol analysis: Verbal reports as data*. Cambridge, MA: MIT Press.

Ey, H. (1999). Conscience. *Encyclopaedia Universalis*.

Falzon, P. (1989). *Ergonomie Cognitive du Dialogue*. Grenoble: Presses Universitaires de Grenoble.

Fayyad, U. (1996). From Data Mining to Knowledge Discovery in Database. *AI Magazine*, 17(3), 37-54.

Fuller, R. A. (1984). Conceptualization of driving behaviour as threat avoidance. *Ergonomics*, 27(11), 1139-1155.

- 
- Gennari, J. H., Musen, M. A., Ferguson, R. W., Grosso, W. E., Crubezy, M., Erikson, H., Noy, N. F. & Tu, S. W. (2003). The Evolution of Protégé: An Environment for Knowledge-Based Systems Development. *International Journal of Human-Computer Studies*, 58(1), 89-123.
- Georgeon, O. (2004). *Capter l'expérience de conduite en situation réelle en vue de la modélisation cognitive du conducteur*. Mémoire de DEA, Université Lumière Lyon 2, Bron.
- Greeno (1976). The structure of memory and the process of solving problems. In R. L. Solso (Ed), *Contemporary issues in cognitive psychology*. Washington, DC: Winston.
- Groeger, J. (2000). *Understanding driving*. Hove, UK: Psychology Press.
- Guérin, F., Daniellou, F., Duraffourg, J. & Kerguelen, A. (1997). *Comprendre le travail pour le transformer, La pratique de l'ergonomie*. Lyon-Montrouge: ANACT.
- Guzdial, M., Santos, P. & Badre, A. (1994). Analyzing and visualizing log files: A computational science of usability. *HCI Consortium Workshop*.
- Haué, J.-B. (2005). Comparing distributed cognition and course of action: An application to car driving. *EACE 2005*. Chania, Cretes.
- Henning, M. J., Georgeon, O. & Krems, J. (2007). The quality of behavioral and environmental indicators used to infer the intention to change lanes. *4th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment*. Stevenson, Washington USA.
- Henning, M. J., Schweigert., M., Baumann, M. & Krems, J. F. (2006). Eye-glance patterns during lane change manoeuvres. *11th conference on Vision in Vehicles*. Dublin, Ireland.
- Henri, F. & Maina, M. (2007). Pour une meilleure intégration de l'utilisateur dans le processus de conception et d'évaluation des outils TELOS. *Quatrième conférence annuelle du réseau de chercheurs LORNET - I2LOR 2007*.
- Hilbert, D. M. & Redmiles, D. F. (2000). Extracting Usability Information from User Interface Events. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 32(4), 384–421.
- Hoc, J.-M. (2004). *Psychologie ergonomique: tendances actuelles*. Paris: Presses universitaires de France.
- Hollnagel, E. & Woods, D. D. (1983). Cognitive systems engineering: New wine in new bottles. *International journal of Man-Machine Studies*, 18, 583-600.
- Hollnagel, E. & Woods, D. D. (2005). *Joint cognitive systems: Foundations of cognitive systems engineering*. Boca Raton: Taylor & Francis/CRC Press.
- Hongeng, S., Brémond, F. & Nevatia, R. (2000). Representation and Optimal Recognition of Human Activities. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*.
- James, W. (1890). *The Principles of Psychology*.
- Janssen, W. (2004). *Inventory of available tools and methodologies for driver behaviour analysis*. (Report N°. 2TNO-040914-M1-DA), HUMANIST.
- John, B. E. & Kieras, D. E. (1996). The GOMS Family of User Interface Analysis Techniques: Comparison and Contrast. *ACM Transactions on Computer-Human*

- Interaction (TOCHI)*, 3, pp320-351.
- Kerguelen, A. (1997). The Kronos Software : a tool for work activity analysis. *13th Triennial Congress of International Ergonomics Association* (pp. 240-247). Tampere, Finlande.
- Kerguelen, A. (1998). Quels outils concevoir pour aider au relevé d'observation sur le terrain ? *XXXIIIème Congrès de la SELF, "Temps de travail"* (pp. 870-813). Paris.
- Kokar, M. M., Matheus, C. J. & Baclawski, K. (2007). Ontology-based situation awareness. *Information Fusion*.
- Krajzewicz, D., Kühne, R. & Wagner, P. (2004). A Car Driver's Cognition Model. *ITS Safety&Security*. Miami Beach, Florida, USA.
- Krajzewicz, D. & Wagner, P. (2002). ACME (A Common Mental Environment) - Driver A Cognitive Car Driver Model. *16th Simulation Multiconference "Modelling and Simulation 2002", SCS Europe 2002* (pp. 689-693). Darmstadt / Germany.
- Labayrade, R. & Aubert, D. (2003). A single framework for vehicle roll, pitch, yaw estimation and obstacles detection by stereovision. *IEEE Intelligent Vehicle Symposium* (pp. 9-11). Columbus, USA.
- Ladrière, J. (1999). Représentation et connaissance. *Encyclopédie universalis*.
- Laird, J. E., Gongdon, C. B. & Coulter, K. J. (1999). *The Soar User's Manual Version 8.2*: University of Michigan.
- Lalande, A. (1985). *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Land, M. & Lee, D. N. (1995). Which part of the road guide steering? *Nature*, 377, 339-340.
- Lassègue, J. & Visetti, Y.-M. (2002). Que reste-t-il de la représentation ? *Intellectica*, 2(35), 7-25.
- Le Moigne, J.-L. (1995). *Les épistémologies constructivistes*: PUF.
- Le Ny, J.-F. (1985). Comment se représenter les représentations? *Psychologie Française*, 30(3/4), 231-237.
- Lee, D. N. (1976). A theory of visual control of braking based on information about time-to-collision. *Perception*, 5, 437-459.
- Leontiev, A. N. (1984). *Activité, conscience, personnalité*. Moscou: Edition du progrès.
- Leplat, J. (1980). *La psychologie ergonomique*. Paris: PUF.
- Leplat, J. (1985). *Erreur humaine, fiabilité humaine dans le travail*: Collection Universitaire.
- Leplat, J. (2002). De l'étude de cas à l'analyse de l'activité. *Pistes*, 4(2), 1-31.
- Likert, R. (1932). A Technique for the Measurement of Attitudes. *Archives of Psychology*, 140(55).
- Liu, A. & Pentland, A. P. (1997). Towards Real-Time Recognition of Driver Intention. *IEEE Intelligent Transportation Systems Conference*. Boston, MA.
- Lohse, G., Biolsi, K., Walkers, N. & Rueter, H. (1994). A classification of visual representations. *Communication of the ACM* (pp. 36-49).

- 
- MacAdam, C. (2003). Understanding and Modeling the Human Driver. *Vehicle Systems Dynamics*, 40, pp 101-134.
- Magnusson, M. S. (2000). Discovering Hidden Time Patterns in Behavior: T-Patterns and their Detection. *Behavior Research Methods, Instruments and Computers*, 32(1), pp. 93-110.
- Maincent, A. & Fornengo, S. (2003). *Manuel de l'utilisateur du DB3*. (Contrat Renault Trucks 1326).
- Malec, J. & Per, S. (1996). Driver Support System for Traffic Manoeuvres. In M. B. G. Ambrosino, M. Boero (Ed), *Artificial Intelligence Applications to Traffic Engineering* (pp. 283-318). VSP International Science Publishers.
- Marmaras, N. & Nathanael, D. (2005). Cognitive engineering practice: melting theory into reality. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 6(2), 109-127.
- Mars, F. (2006). Driving in curves with constrained gaze orientation in the vicinity of the tangent point. *11th International Conference on Vision In Vehicles*. Dublin (Irlande).
- Mathern, B. (2006). *Analyser l'activité de conduite automobile: méthodologie et atelier logiciel associé*. Mémoire de Master, Université Claude Bernard, Lyon1, Lyon.
- Mayenobe, P. (2004). *Perception de l'environnement pour une gestion contextualisée de la coopération homme-machine*. Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.
- McCall, J., Wipf, D., Trivedi, M. & Rao, B. D. (2004). *Lane Change Intent Analysis Using Robust Operators and Sparse Bayesian Learning*. University of California.
- McKnight, A. J. & Adams, B. B. (1970). *Driver education and task analysis volume 1: Task descriptions*. Department of Transportation, National Highway Safety Bureau.
- Merleau-Ponty, M. (1976). *Phénoménologie de la perception*. Paris: Gallimard.
- Meyer, D. E. & Kieras, D. E. (1997a). A Computational Theory of Executive Cognitive Processes and Multiple-Task Performance: Part 1. Basic mechanisms. *Psychological Review*, 104, pp 3-65.
- Michon, J.-A. (1985). A Critical View of Driver Behaviour Models: What Do We Know, What Should We Do? In L. Evans and R. C. Schwing (Ed), *Human Behaviour and Traffic Safety*. New York: Plenum Press.
- Miles, M. B. & Huberman, A. M. (2003). *Analyse des données qualitatives*. Bruxelles Paris: De Boeck.
- Mille, A. (2006). Raisonner à Partir de l'Expérience Tracée. In S. Eddie (Ed), *Le storytelling : concepts, outils et applications*. Hermes Science.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minor two; some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81-97.
- Milner, B. (1966). Amnesia following operation on the temporal lobes. In C. W. M. Whitty and O. L. Zangwill (Ed), *Amnesia* (pp. 109-133). London, UK: Butterworths.
- Minsky, M. (1975). A Framework for Representing Knowledge. In P. H. Winston (Ed), *The Psychology of Computer Vision* (pp. 211-277). New York: Mc Graw-Hill.
- Montmollin, M. d. (1990). *L'ergonomie*. Paris: La Découverte.
- Näätänen, R. & Summala, H. (1976). A model for the role of motivational factors in

- driver's decision-making. *Accident analysis and prevention*, 6, 243-621.
- Newell, A. (1982). The knowledge level. *Artificial Intelligence*, 18, pp 87-127.
- Nicolas, S. (2003). *La psychologie de W. Wundt*. L'Harmattan.
- Norman, D. A. (1976). *Memory and Attention*. New York: Wiley.
- Norman, D. A. & Shallice, T. (1986). Attention to Action: Willed and Automatic Control of Behavior. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz and D. Shapiro (Ed), *Consciousness and Self-Regulation* (pp. 1-18). New York: Plenum Press.
- Novick, L. R. & Hurley, S. M. (2001). To matrix, Network, or Hierarchy : That is the Question,. *Cognitive Psychology*, 42, pp. 158-216.
- Ochanine, V. A. (1977). Concept of operative image in engineering and general psychology. In B. F. Lomov, V. F. Rubakhin and V. F. Venda (Ed), *Engineering Psychology*. Moscow: Science Publisher.
- Oliver, N., Horvitz, E. & Garg, A. (2002). Layered Representations for Human Activity Recognition. *Fourth IEEE International Conference on Multimodal Interfaces* (pp. 3-8).
- Oliver, N. & Pentland, A. P. (2000). Graphical Models for Driver Behavior Recognition in a SmartCar. *IEEE Intl. Conference on Intelligent Vehicles*. Detroit. Michigan.
- Ollanier-Beldame, M. (2006). *Traces d'interactions et processus cognitifs en activité conjointe :Le cas d'une co-rédaction médiée par un artefact numérique*. Thèse de doctorat, Université Lumière Lyon 2, Lyon.
- Olsen, E. C. B. (2003). *Modeling Slow Lead Vehicle Lane Changing*.Thèse de doctorat, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg VA.
- Ombredane, A. & Faverge, J.-M. (1955). *L'analyse du travail*. Paris: PUF.
- Pereira, M., Hamama, H., Bruyas, M.-P. & Simoes, A. (2008). Effect of additional tasks in driving performance: Comparison between three groups of drivers. *European Conference on Human Centered Design for Intelligent Transport Systems*. Lyon.
- Perterson, L. R. & Peterson, M. J. (1959). Short-term retention of individual verbal items. *Journal of Experimental Psychology*, 58, 193-198.
- Pettitt, M., Burnett, G. & Karbassioun, D. (2006). Applying the Keystroke Level Model in a Driving Context. *Ergonomics Society Annual meeting*. Cambridge.
- Piaget, J. (1937-1977). *La construction du réel chez l'enfant*. Delachaux: Nestlé.
- Piaget, J. (1967). *Logique et connaissance scientifique*: Gallimard.
- Plaisant, C., Milash, B., Rose, A., Widoff, S. & Schneiderman, B. (1996). Life Lines: Visualizing personal histories. *ACM CHI '96*. Vancouver, BC, Canada.
- Popper, K. (1979). *La connaissance objective, une approche évolutionniste*: Flammarion.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies: Approche cognitive des instruments contemporains*. Paris: Armand Colin.
- Rabardel, P., Carlin, N., Chesnais, M., Lang, N., Le Joliff, G. & Pascal, M. (1998). *Ergonomie concepts et méthodes*. Toulouse, France: Octares Editions.
- Raskin, J. (2000). *The Human Interface*. New York: Addison-Wesley.
- Rasmussen, J. (1983). Skills, Rules and knowledge; Signals, Signs and Symbols and

- other Distinctions in Human Performance Models. *IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics*, 13(3), 257-266.
- Rennard, J.-P. (2002). *Introduction à la vie artificielle*: Vuibert.
- Richard, J.-F. (1990). *Les activités mentales. Comprendre, raisonner, trouver des solutions*. Paris: Armand Colin.
- Richard, J.-F., Bonnet, C. & Ghiglione, R. (1990). *Le traitement de l'information symbolique*.
- Ricoeur, P. (1999). Ontologie. *Encyclopaedia Universalis*.
- Ritter, F. E., Haynes, S. R., Cohen, M. A., Howes, A., John, B. E., Best, B., Lebière, C., Jones, R. M., Crossman, J., Lewis, R. L., Saint Amant, R., McBride, S. P., Urbas, L., Leuchter, S. & Vera, A. (2006). High-level Behavior Representation Languages Revisited. *Seventh International Conference on Cognitive Modeling (ICCM)* (pp. 404-407). Trieste, Italy: Edizioni Goliardiche.
- Ritter, F. E., Kukreja, U. & Saint Amant, R. (2006). Including a model of Visual Processing with a Cognitive Architecture to Model a Simple Teleoperation Task. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*.
- Ritter, F. E. & Larkin, J. H. (1994). Using process models to summarize sequences of human actions. *Human-Computer Interaction*, 9, 345-383.
- Ritter, F. E., Van Rooy, D., Saint Amant, R. & Simpson, K. (2006). Providing user models direct access to interfaces: An exploratory study of a simple interface with implications for HRI and HCI. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, part a: Systems and Humans*, 36(3), 592-601.
- Rumelhart, D. E. (1975). Notes on schemas for stories. In D. G. Bobrow and A. Collins (Ed), *Representation and understanding: studies in cognitive sciences*. New York: Academic Press.
- Saint Amant, R., McBride, S. P. & Ritter, F. E. (2007). AI support for building cognitive models. *Proceedings of the Twenty-First National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-06)* (pp. 1663-1666). Menlo Park, CA: AAAI Press.
- Salvucci, D. D. (2004). Inferring driver intent: A case study in lane-change detection. *Human Factors Ergonomics Society 48th Annual Meeting*.
- Salvucci, D. D., Boer, E. R. & Liu, A. (2001). Toward an integrated model of driver behavior in a cognitive architecture. *Transportation Research Record*, 1779, 9-16.
- Salvucci, D. D. & Gray, R. (2004). A Two-Point Visual Control Model of Steering. *Perception*, 33(10), 1233-1248.
- Salvucci, D. D. & Lee, F. J. (2003). Simple Cognitive Modeling in a Complex Cognitive Architecture. *Human Factors in Computing Systems*. New York: ACM Press.
- Salvucci, D. D. & Liu, A. (2002). The time course of a lane change: Driver control and eye-movement behavior. *Transportation Research*, F(5), 123-132.
- Sanderson, P. M. & Fisher, C. A. (1994). Exploratory sequential data analysis: Foundations. *Human -Computer Interaction*, 9, 251-317.
- Sanderson, P. M., McNeese, M. D. & Zaff, B. S. (1994). Handling complex real-word data with two cognitive engineering tools: COGENT and MacSHAPA. *Behavior*

- Research Methods, Instruments, and Computers*, 26, 117-124.
- Sawaragi, T. & Murasawa, K. (2001). Simulating behaviors of human situation awareness under high workloads. *Artificial Intelligence in Engineering*, 15, 365-381.
- Schank, R. C. (1982). *Dynamic memory : a theory of reminding and learning in computers and people*: Cambridge University Press.
- Schank, R. C. & Abelson, R. P. (1977). *Scripts, plans, goals and understanding*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Schneider, W. & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search and attention. *Psychological Review*, 84, pp 1-66.
- Settouti, L. S., Prié, Y., Mille, A. & Marty, J.-C. (2006). Systèmes à base de trace pour l'apprentissage humain. *colloque international TICE 2006 «Technologies de l'Information et de la Communication dans l'Enseignement Supérieur et l'Entreprise»* (pp. 1-15). Toulouse.
- Sime, M. E., Fitter, M. J. & Green, T. R. G. (1975). Why is programming computers so hard? *New Behaviour*, 1, 378-381.
- Simon, H. (1981). *The sciences of the artificial*. Cambridge: MIT Press.
- Sperandio, J.-C. (1980). *La psychologie en ergonomie*. Paris: PUF.
- Sperandio, J.-C. & Wolff, M. (2003). *Formalisme de modélisation pour l'analyse du travail et l'ergonomie*. Paris: PUF.
- Steels, L. (2003). Intelligence with representation. *Philosophical Transactions of the Royal Society, A* 361(1811), 2381-2395.
- Suchman, L. A. (1987). *Plans and situated actions*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sukthankar, R., Ed. (1997). *Situation Awareness for Tactical Driving*. Robotics Institute. Pittsburgh, PA 15213, Carnegie Mellon University.
- Sutherland, S. (1989). *Consciousness*.
- Tango, F. & Montanari, R. (2004). Modelling Traffic and Real Situations. *Workshop of HUMANIST*. Ispra.
- Tattegrain-Veste, H., Bellet, T., Chanut, O. & Legorrec, G. (2002). UML et génération de code: application à la modélisation cognitive du conducteur automobile. *Génie Logiciel*, 60(23-31).
- Tattegrain-Veste, H., Bruyas, M.-P., Bellet, T., Forzy, J., Simoes, A., Carvalhais, J., Lockwood, P., Boudy, J., Baligant, B., Damiani, S. & Opitz, M. (2004). Vers une gestion centralisée des informations vocales en fonction du contexte de conduite : le projet cemvocas. *Recherche Transports Sécurité*, 82.
- Tiberghien, G. (1990). Contraintes Structurales et Fonctionnelles des systèmes de traitement. In J.-F. Richard, C. Bonnet and R. Ghiglione (Ed), *Le traitement de l'information symbolique* (pp. 3-32). Paris: Dunod.
- Torkkola, K., Venkatesan, S. & Liu, H. (2004). Sensor Selection for Maneuver Classification. *The 7th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC2004)*. Washington DC.
- Trémeaux, J.-M. (2005). Atelier d'analyse de l'activité de conduite à partir de données



descriptives.

- Tukey, J. W. (1977). *Exploratory data analysis*. MA: Addison-Wesley.
- Van der Molen, H. H. & Bötticher, M. T. (1988). A hierarchical risk model for traffic participants. *Ergonomics*, 31(4), 537-555.
- Van Elslande, P. (2001). Erreurs de conduite et besoin d'aide: une approche accidentologique. *Journées d'étude en Psychologie ergonomique*. Nantes.
- Vermersch, P. (1978). Une problématique théorique en psychologie du travail: essais d'application des théories de J. Piaget à l'analyse du fonctionnement cognitif de l'adulte. *Le travail humain*, 41(2), 265-278.
- Vermersch, P. (1996). L'explicitation de l'action. *Les cahiers de linguistique sociale*, 113-120.
- Vygotski, L. (1978). *Mind in society. The development of higher psychological process*. Cambridge & London: Harvard University Press.
- Weill-Fassina, A., Rabardel, P. & Dubois, D. (1993). *Représentations pour l'action*. Toulouse: Octares.
- Weir, D. & Chao, K. (2005). Review of control theory models for directional and speed control. *International Workshop On Modelling Driver Behaviour In Automotive Environments* (pp. 25-37). Ispra, Italy.
- Wexelblat, A. (1999). History-Rich Tools for Social Navigation. *Hawaii International Conference On System Sciences*. Hawaii.
- Whitehead, A. N. (1920). *The concept of nature*: Cambridge University Press.
- Wickens, C. D. & Hollands, J. G. (1984). *Engineering Psychology and Human Performance*: Prentice Hall.
- Wilson, J. R. & Corlett, E. N. (2005). *Evaluation of Human Work*: CRC Press.
- Wittgenstein, L. (1953). *Investigations philosophiques*.
- Woods, D. D. & Roth, E. M. (1988). Cognitive systems engineering. In M. Helander (Ed), *Handbook of human-computer interaction* (pp. 3-43). Amsterdam: North-Holland.
- Wynn, T., Georgeon, O., Henning, M. J., Richardson, J. H., Bellet, T. & Krems, J. (2008). Cognitive activity modelling: a case study of lane change schemas and sensation seeking. *European Conference on Human Centered Design for Intelligent Transport Systems*. Lyon, France.
- Zuckerman, M. (1971). Dimensions of sensation seeking. *J Consult. Clin. Psychol.*, 36, 45-52.

## Publications

## Conférences

---

- Wynn, T., Georgeon, O., Henning, M. J., Richardson, J. H., Bellet, T. & Krems, J. (2008). Cognitive activity modelling: a case study of lane change schemas and sensation seeking. European Conference on Human Centered Design for Intelligent Transport Systems. Lyon, France. April 4th 2008.
- Georgeon, O., Henning, M. J., Bellet, T. & Mille, A. (2007). Creating Cognitive Models from Activity Analysis: A Knowledge Engineering Approach to Car Driver Modeling. International Conference on Cognitive Modeling (pp. 43–48). Ann Arbor, MI.
- Henning, M. J., Georgeon, O. & Krems, J. (2007). The quality of behavioral and environmental indicators used to infer the intention to change lanes. 4th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment. Stevenson, Washington USA.
- Georgeon, O., Bellet, T. & Mille, A. (2007). Construction de représentations mentales à partir de traces d'activité. Colloque des jeunes chercheurs en sciences cognitives. Lyon, France.
- Georgeon, O., Mille, A. & Bellet, T. (2006). Analyzing behavioral data for refining cognitive models of operator. Philosophies and Methodologies for Knowledge Discovery, Seventeenth international Workshop on Database and Expert Systems Applications (pp. 588-592). Krakow, Poland: IEEE Computer Society Press.
- Georgeon, O., Mille, A. & Bellet, T. (2006). Abstract: un outil et une méthodologie pour analyser une activité humaine médiée par un artefact technique complexe. Ingénierie des connaissances. Semaine de la connaissance. Nantes, France.
- Georgeon, O., Bellet, T., Mille, A., Letisserand, D. & Martin, R. (2005). Driver behaviour modelling and cognitive tools development in order to assess driver situation awareness. International Workshop on Modelling Driver Behaviour in Automotive Environments (pp. 236-241). Ispra, Italy: Office for Official Publication of the European Communities.
- Bellet, T., Bailly, B., Mayenobe, P., Georgeon, O., Tattègrain-Veste, H., Martin, R., Mille, A. & Trassoudaine, L. (2005). Cognitive modelling and simulation of drivers mental model. Humanist workshop on Modelling Driver Behaviour in Automotive Environments. Ispra, Italy.
- Georgeon, O., Bellet, T., Mille, A. & Martin, R. (2005). Traçage de l'activité de conduite automobile pour la modélisation cognitive du conducteur. Colloque des jeunes chercheurs en sciences cognitives. Bordeaux, France.

## Chapitre de livre

---

- Bellet, T., Bailly, B., Mayenobe, P. & Georgeon, O. (2007). Cognitive modelling and computational simulation of drivers mental activities. Critical Issues in Advanced Automotive Systems and Human-Centred Design. P. C. Cacciabue and C. Re. London: Springer Verlag.

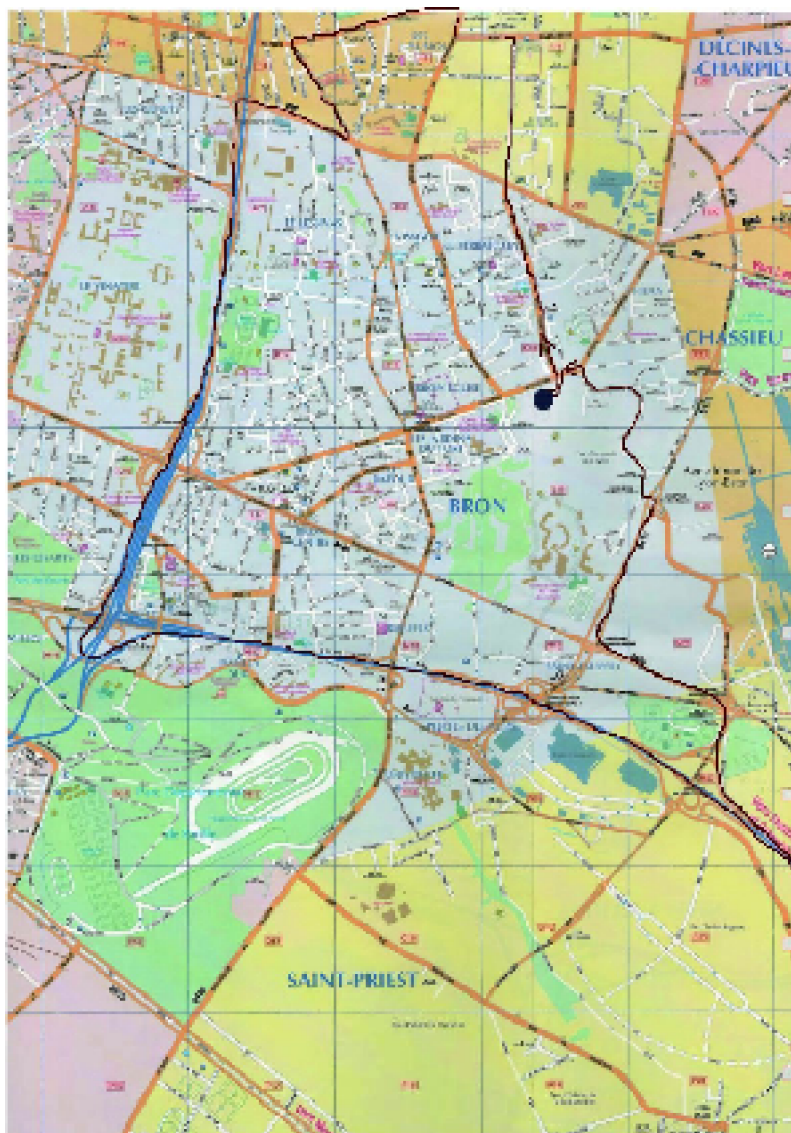
# Annexes

## Annexe 1. Parcours de l'expérimentation

Le parcours de l'expérimentation est donné à la figure 1 dans son intégralité et à la figure 2 pour la partie urbaine et péri-urbaine. Il est représenté en noir sur la carte. Il part de l'INRETS représenté par un point noir.



*Annexe 1 - Figure 1 : Trajet complet de l'expérimentation*



*Annexe 1 - Figure 2 : Trajet de l'expérimentation, partie urbaine.*

## **Annexe 2. Questionnaire de profil du conducteur**

**Questionnaire**  
Contexte:

**Caractéristiques des sujets**

1. Sexe:     Féminin     Masculin    2. Niveau de formation: \_\_\_\_\_

3. Diplôme le plus élevé obtenu: \_\_\_\_\_

4. Prof. de la: \_\_\_\_\_

5. Année d'intégration à l'entreprise: \_\_\_\_\_

6. Ancienneté dans le service: \_\_\_\_\_

7. Statut de l'entreprise: \_\_\_\_\_

8. Possédez-vous une voiture?     Oui     Non     Autre

9. Niveau de maîtrise informatique des outils utilisés le plus souvent: \_\_\_\_\_

10. Êtes-vous un utilisateur "habitué" d'Internet? (si oui, par quel moyen accédez-vous?)  
 Non     Oui: \_\_\_\_\_

11. Utilisez-vous pourcentage d'adoption des différents véhicules

<input type="checkbox"/> Véhicule	____%
<input type="checkbox"/> Véhicule	____%
<input type="checkbox"/> Véhicule	____%
<input type="checkbox"/> Véhicule	____%

12. Quels médias utilisez-vous pour accéder à Internet?

- Réseau de l'entreprise
- Réseau sans fil
- Réseau de l'entreprise via le Wi-Fi
- Réseau de l'entreprise affecté au logement (pour les personnes)

13. Êtes-vous un utilisateur "habitué" de la technologie? (si oui, comment?)

Non     Oui: \_\_\_\_\_

14. Pour quelles raisons utilisez-vous :

les horaires  
 des feuilles de présence  
 Pour la partie de diffusion des notes

15. Êtes-vous des temps plein (à temps plein) ?  Oui  Non

16. À quelle fréquence utilisez-vous votre ordinateur personnel ?

Tous les jours  Souvent  Parfois  Jamais

Pour :

à des fins scolaires  
 pour la recherche  
 pour les loisirs

17. À quelle fréquence utilisez-vous votre ordinateur personnel ?

Tous les jours  Souvent  Parfois  Jamais

Pour :

à des fins scolaires  
 pour la recherche  
 pour les loisirs

18. À quelle fréquence utilisez-vous votre ordinateur personnel ?

Tous les jours  Souvent  Parfois  Jamais

Pour :

à des fins scolaires  
 pour la recherche  
 pour les loisirs

19. À quelle fréquence utilisez-vous votre ordinateur personnel ?

Tous les jours  Souvent  Parfois  Jamais

Pour :

à des fins scolaires  
 pour la recherche  
 pour les loisirs

Les données recueillies sont présentées dans le tableau suivant. Les codes de questions et de réponses correspondent à leur ordre d'apparition dans le questionnaire.









31	15	1212	700	0	0	00	0	0	2'	01	100	100	0	3	0	50	01	rand point valée	RAS
32	15	1231	1000	25	25	25	01	0	0	00	21	21	21	21	21	21	21	Planche péloché A43	imp. de l'école de park dans le village avec une
33	15	3335	1710	09	28	28	09	00	09	28	27	27	27	27	27	27	27	A432	un peu qu'il ne commet pas
34	15	3333	1620	25	25	25	26	07	17	20	20	20	20	20	20	20	20	rand point et ac	RAS
35	15	3113	1612	09	18	22	22	17	23	26	26	26	26	26	26	26	26	virage et ac	un peu de banc le village
36	15	3153	1910	09	00	25	09	00	09	04	00	07	04	01	00	00	00	sauc	un peu de banc le village
37	15	3254	1914	0 <td>0 <td>25 <td>0 <td>0 <td>0 <td>03 <td>22 <td>26 <td>0 <td>3 <td>0 <td>0 <td>0 <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td>	0 <td>25 <td>0 <td>0 <td>0 <td>03 <td>22 <td>26 <td>0 <td>3 <td>0 <td>0 <td>0 <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td>	25 <td>0 <td>0 <td>0 <td>03 <td>22 <td>26 <td>0 <td>3 <td>0 <td>0 <td>0 <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td>	0 <td>0 <td>0 <td>03 <td>22 <td>26 <td>0 <td>3 <td>0 <td>0 <td>0 <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td></td></td></td></td></td></td>	0 <td>0 <td>03 <td>22 <td>26 <td>0 <td>3 <td>0 <td>0 <td>0 <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td></td></td></td></td></td>	0 <td>03 <td>22 <td>26 <td>0 <td>3 <td>0 <td>0 <td>0 <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td></td></td></td></td>	03 <td>22 <td>26 <td>0 <td>3 <td>0 <td>0 <td>0 <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td></td></td></td>	22 <td>26 <td>0 <td>3 <td>0 <td>0 <td>0 <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td></td></td>	26 <td>0 <td>3 <td>0 <td>0 <td>0 <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td></td>	0 <td>3 <td>0 <td>0 <td>0 <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td>	3 <td>0 <td>0 <td>0 <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td>	0 <td>0 <td>0 <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td>	0 <td>0 <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td>	0 <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td>	rand point ac et ac	RAS
38	15	3220	2000	07	27	20	03	01	25	32	00	03	01	05	24	0	00	RAS	à l'ouest de rupture
39	15	4755	2815	05	02	12	01	05	25	29	41	30	00	23	01	0	00	RAS	au-delà de l'école de l'école
40	15	1433	0910	0 <td>0 <td>00</td> <td>0 <td>0 <td>0 <td>00</td> <td>24</td> <td>00</td> <td>04</td> <td>3</td> <td>00</td> <td>0</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>système par infrastructure</td> </td></td></td></td>	0 <td>00</td> <td>0 <td>0 <td>0 <td>00</td> <td>24</td> <td>00</td> <td>04</td> <td>3</td> <td>00</td> <td>0</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>système par infrastructure</td> </td></td></td>	00	0 <td>0 <td>0 <td>00</td> <td>24</td> <td>00</td> <td>04</td> <td>3</td> <td>00</td> <td>0</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>système par infrastructure</td> </td></td>	0 <td>0 <td>00</td> <td>24</td> <td>00</td> <td>04</td> <td>3</td> <td>00</td> <td>0</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>système par infrastructure</td> </td>	0 <td>00</td> <td>24</td> <td>00</td> <td>04</td> <td>3</td> <td>00</td> <td>0</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>système par infrastructure</td>	00	24	00	04	3	00	0	00	rand point ac et ac	système par infrastructure
41	15	1553	1010	0 <td>0 <td>100</td> <td>0 <td>0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>00</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>00</td> <td>100</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td></td></td></td></td>	0 <td>100</td> <td>0 <td>0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>00</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>00</td> <td>100</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td></td></td></td>	100	0 <td>0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>00</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>00</td> <td>100</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td></td></td>	0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>00</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>00</td> <td>100</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td></td>	0 <td>100</td> <td>100</td> <td>00</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>00</td> <td>100</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td>	100	100	00	0 <td>3 <td>0</td> <td>00</td> <td>100</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>un peu de banc le village</td> </td>	3 <td>0</td> <td>00</td> <td>100</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>un peu de banc le village</td>	0	00	100	rand point ac et ac	un peu de banc le village
42	15	1431	0910	0 <td>0 <td>00</td> <td>0 <td>0 <td>0 <td>00</td> <td>23</td> <td>00</td> <td>07</td> <td>21</td> <td>0</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td></td></td>	0 <td>00</td> <td>0 <td>0 <td>0 <td>00</td> <td>23</td> <td>00</td> <td>07</td> <td>21</td> <td>0</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td></td>	00	0 <td>0 <td>0 <td>00</td> <td>23</td> <td>00</td> <td>07</td> <td>21</td> <td>0</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td>	0 <td>0 <td>00</td> <td>23</td> <td>00</td> <td>07</td> <td>21</td> <td>0</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>un peu de banc le village</td> </td>	0 <td>00</td> <td>23</td> <td>00</td> <td>07</td> <td>21</td> <td>0</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>un peu de banc le village</td>	00	23	00	07	21	0	00	00	rand point ac et ac	un peu de banc le village
43	15	2125	1310	18	20	21	01	07	24	20	07	00	0	1	00	00	00	rand point ac et ac	un peu de banc le village
44	15	3210	1907	27	24	07	04	02	08	28	24	01	00	21	0	00	28	A432	un peu de banc le village
45	15	2425	2025	09	00	00	05	00	25	09	01	100	01	17	0	00	00	rand point et ac	RAS
46	15	3540	2110	0 <td>0 <td>100</td> <td>0 <td>0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>00</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>00</td> <td>100</td> <td>virage et ac</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td></td></td></td></td>	0 <td>100</td> <td>0 <td>0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>00</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>00</td> <td>100</td> <td>virage et ac</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td></td></td></td>	100	0 <td>0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>00</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>00</td> <td>100</td> <td>virage et ac</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td></td></td>	0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>00</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>00</td> <td>100</td> <td>virage et ac</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td></td>	0 <td>100</td> <td>100</td> <td>00</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>00</td> <td>100</td> <td>virage et ac</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td>	100	100	00	0 <td>3 <td>0</td> <td>00</td> <td>100</td> <td>virage et ac</td> <td>un peu de banc le village</td> </td>	3 <td>0</td> <td>00</td> <td>100</td> <td>virage et ac</td> <td>un peu de banc le village</td>	0	00	100	virage et ac	un peu de banc le village
47	15	3723	2242	0 <td>0 <td>100</td> <td>0 <td>0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td></td></td></td></td>	0 <td>100</td> <td>0 <td>0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td></td></td></td>	100	0 <td>0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td></td></td>	0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td></td>	0 <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td>	100	100	100	0 <td>3 <td>0</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>un peu de banc le village</td> </td>	3 <td>0</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>un peu de banc le village</td>	0	00	00	rand point ac et ac	un peu de banc le village
48	15	3225	2025	07	100	10	07	05	04	20	00	00	07	23	0	00	23	au-delà de l'école de l'école	un peu de banc le village
49	17	1035	085	0 <td>0 <td>100</td> <td>0 <td>0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>00</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td></td></td>	0 <td>100</td> <td>0 <td>0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>00</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td></td>	100	0 <td>0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>00</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td>	0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>00</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td>	0 <td>100</td> <td>100</td> <td>00</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td>	100	100	00	0 <td>3 <td>0</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td>	3 <td>0</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td>	0	00	00	rand point ac et ac	RAS
50	17	1045	085	0 <td>0 <td>00</td> <td>0 <td>0 <td>0 <td>00</td> <td>05</td> <td>00</td> <td>0 <td>17</td> <td>17</td> <td>20</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td></td>	0 <td>00</td> <td>0 <td>0 <td>0 <td>00</td> <td>05</td> <td>00</td> <td>0 <td>17</td> <td>17</td> <td>20</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td>	00	0 <td>0 <td>0 <td>00</td> <td>05</td> <td>00</td> <td>0 <td>17</td> <td>17</td> <td>20</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td>	0 <td>0 <td>00</td> <td>05</td> <td>00</td> <td>0 <td>17</td> <td>17</td> <td>20</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td>	0 <td>00</td> <td>05</td> <td>00</td> <td>0 <td>17</td> <td>17</td> <td>20</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td>	00	05	00	0 <td>17</td> <td>17</td> <td>20</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td>	17	17	20	00	rand point ac et ac	RAS
51	17	1310	700	0 <td>0 <td>00</td> <td>00</td> <td>0 <td>0 <td>00</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>3 <td>0 <td>0</td> <td>00</td> <td>rand point valée</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td></td></td></td>	0 <td>00</td> <td>00</td> <td>0 <td>0 <td>00</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>3 <td>0 <td>0</td> <td>00</td> <td>rand point valée</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td></td></td>	00	00	0 <td>0 <td>00</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>3 <td>0 <td>0</td> <td>00</td> <td>rand point valée</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td></td>	0 <td>00</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>3 <td>0 <td>0</td> <td>00</td> <td>rand point valée</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td>	00	00	00	00	3 <td>0 <td>0</td> <td>00</td> <td>rand point valée</td> <td>un peu de banc le village</td> </td>	0 <td>0</td> <td>00</td> <td>rand point valée</td> <td>un peu de banc le village</td>	0	00	rand point valée	un peu de banc le village
52	17	1345	1125	08	07	1	07	00	07	40	22	01	14	02	07	22	11	RAS	au-delà de l'école de l'école
53	17	1222	1760	09	00	10	09	10	09	10	00	00	10	12	00	20	10	rand point ac et ac	un peu de banc le village
54	17	2109	1310	09	100	1	00	00	09	10	00	00	00	07	00	20	00	RAS	un peu de banc le village
55	17	3230	1900	0 <td>0 <td>100</td> <td>0 <td>0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>24</td> <td>28</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td></td></td>	0 <td>100</td> <td>0 <td>0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>24</td> <td>28</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td></td>	100	0 <td>0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>24</td> <td>28</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td>	0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>24</td> <td>28</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td>	0 <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>24</td> <td>28</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td>	100	100	100	0 <td>3 <td>0</td> <td>24</td> <td>28</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td>	3 <td>0</td> <td>24</td> <td>28</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td>	0	24	28	rand point ac et ac	RAS
56	17	2310	1900	0 <td>0 <td>00</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>0 <td>00</td> <td>20</td> <td>20</td> <td>00</td> <td>01</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>20</td> <td>virage et ac</td> <td>RAS</td> </td></td>	0 <td>00</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>0 <td>00</td> <td>20</td> <td>20</td> <td>00</td> <td>01</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>20</td> <td>virage et ac</td> <td>RAS</td> </td>	00	00	00	0 <td>00</td> <td>20</td> <td>20</td> <td>00</td> <td>01</td> <td>00</td> <td>00</td> <td>20</td> <td>virage et ac</td> <td>RAS</td>	00	20	20	00	01	00	00	20	virage et ac	RAS
57	17	3440	2000	19	00	00	20	00	09	20	00	30	10	23	00	20	00	rand point ac et ac	un peu de banc le village
58	17	4225	2045	29	20	00	20	00	29	30	00	00	00	23	20	20	00	Planche péloché	un peu de banc le village
59	17	4244	2045	29	20	00	00	00	29	30	00	00	00	23	20	00	00	rand point ac et ac	un peu de banc le village
60	18	315	085	0 <td>0 <td>22</td> <td>0 <td>0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>22</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>22</td> <td>00</td> <td>rand point</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td></td></td></td></td>	0 <td>22</td> <td>0 <td>0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>22</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>22</td> <td>00</td> <td>rand point</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td></td></td></td>	22	0 <td>0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>22</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>22</td> <td>00</td> <td>rand point</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td></td></td>	0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>22</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>22</td> <td>00</td> <td>rand point</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td></td>	0 <td>100</td> <td>100</td> <td>22</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>22</td> <td>00</td> <td>rand point</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td>	100	100	22	0 <td>3 <td>0</td> <td>22</td> <td>00</td> <td>rand point</td> <td>un peu de banc le village</td> </td>	3 <td>0</td> <td>22</td> <td>00</td> <td>rand point</td> <td>un peu de banc le village</td>	0	22	00	rand point	un peu de banc le village
61	18	344	024	0 <td>0 <td>100</td> <td>0 <td>0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>02</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>100</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td></td></td>	0 <td>100</td> <td>0 <td>0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>02</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>100</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td></td>	100	0 <td>0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>02</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>100</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td>	0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>02</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>100</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td>	0 <td>100</td> <td>100</td> <td>02</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>100</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td>	100	100	02	0 <td>3 <td>0</td> <td>100</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td>	3 <td>0</td> <td>100</td> <td>00</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td>	0	100	00	rand point ac et ac	RAS
62	18	322	020	0 <td>0 <td>24</td> <td>0 <td>0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>04</td> <td>0 <td>1 <td>0</td> <td>22</td> <td>04</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td></td></td>	0 <td>24</td> <td>0 <td>0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>04</td> <td>0 <td>1 <td>0</td> <td>22</td> <td>04</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td></td>	24	0 <td>0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>04</td> <td>0 <td>1 <td>0</td> <td>22</td> <td>04</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td>	0 <td>0 <td>100</td> <td>100</td> <td>04</td> <td>0 <td>1 <td>0</td> <td>22</td> <td>04</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td>	0 <td>100</td> <td>100</td> <td>04</td> <td>0 <td>1 <td>0</td> <td>22</td> <td>04</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td>	100	100	04	0 <td>1 <td>0</td> <td>22</td> <td>04</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td>	1 <td>0</td> <td>22</td> <td>04</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td>	0	22	04	rand point ac et ac	RAS
63	18	1225	020	0 <td>0 <td>05</td> <td>0 <td>0 <td>0 <td>100</td> <td>05</td> <td>20</td> <td>0 <td>1 <td>0</td> <td>22</td> <td>04</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td></td></td>	0 <td>05</td> <td>0 <td>0 <td>0 <td>100</td> <td>05</td> <td>20</td> <td>0 <td>1 <td>0</td> <td>22</td> <td>04</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td></td>	05	0 <td>0 <td>0 <td>100</td> <td>05</td> <td>20</td> <td>0 <td>1 <td>0</td> <td>22</td> <td>04</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td>	0 <td>0 <td>100</td> <td>05</td> <td>20</td> <td>0 <td>1 <td>0</td> <td>22</td> <td>04</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td>	0 <td>100</td> <td>05</td> <td>20</td> <td>0 <td>1 <td>0</td> <td>22</td> <td>04</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td>	100	05	20	0 <td>1 <td>0</td> <td>22</td> <td>04</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td>	1 <td>0</td> <td>22</td> <td>04</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td>	0	22	04	rand point ac et ac	RAS
64	18	1221	021	25	27	25	0 <td>1 <td>00</td> <td>28</td> <td>100</td> <td>26</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>22</td> <td>100</td> <td>route de garage</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td></td>	1 <td>00</td> <td>28</td> <td>100</td> <td>26</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>22</td> <td>100</td> <td>route de garage</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td>	00	28	100	26	0 <td>3 <td>0</td> <td>22</td> <td>100</td> <td>route de garage</td> <td>un peu de banc le village</td> </td>	3 <td>0</td> <td>22</td> <td>100</td> <td>route de garage</td> <td>un peu de banc le village</td>	0	22	100	route de garage	un peu de banc le village
65	18	3440	1402	0 <td>0 <td>20</td> <td>0 <td>0 <td>25</td> <td>2</td> <td>00</td> <td>28</td> <td>0 <td>3</td> <td>0</td> <td>22</td> <td>100</td> <td>planche A43</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td></td></td>	0 <td>20</td> <td>0 <td>0 <td>25</td> <td>2</td> <td>00</td> <td>28</td> <td>0 <td>3</td> <td>0</td> <td>22</td> <td>100</td> <td>planche A43</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td></td>	20	0 <td>0 <td>25</td> <td>2</td> <td>00</td> <td>28</td> <td>0 <td>3</td> <td>0</td> <td>22</td> <td>100</td> <td>planche A43</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td>	0 <td>25</td> <td>2</td> <td>00</td> <td>28</td> <td>0 <td>3</td> <td>0</td> <td>22</td> <td>100</td> <td>planche A43</td> <td>un peu de banc le village</td> </td>	25	2	00	28	0 <td>3</td> <td>0</td> <td>22</td> <td>100</td> <td>planche A43</td> <td>un peu de banc le village</td>	3	0	22	100	planche A43	un peu de banc le village
66	18	3415	1405	0 <td>0 <td>05</td> <td>0 <td>0 <td>0 <td>00</td> <td>100</td> <td>02</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>25</td> <td>100</td> <td>A432</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td></td></td></td></td>	0 <td>05</td> <td>0 <td>0 <td>0 <td>00</td> <td>100</td> <td>02</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>25</td> <td>100</td> <td>A432</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td></td></td></td>	05	0 <td>0 <td>0 <td>00</td> <td>100</td> <td>02</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>25</td> <td>100</td> <td>A432</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td></td></td>	0 <td>0 <td>00</td> <td>100</td> <td>02</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>25</td> <td>100</td> <td>A432</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td></td>	0 <td>00</td> <td>100</td> <td>02</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>25</td> <td>100</td> <td>A432</td> <td>un peu de banc le village</td> </td></td>	00	100	02	0 <td>3 <td>0</td> <td>25</td> <td>100</td> <td>A432</td> <td>un peu de banc le village</td> </td>	3 <td>0</td> <td>25</td> <td>100</td> <td>A432</td> <td>un peu de banc le village</td>	0	25	100	A432	un peu de banc le village
67	18	3221	1760	0 <td>0 <td>00</td> <td>0 <td>0 <td>0 <td>100</td> <td>00</td> <td>21</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>20</td> <td>100</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td></td></td>	0 <td>00</td> <td>0 <td>0 <td>0 <td>100</td> <td>00</td> <td>21</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>20</td> <td>100</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td></td>	00	0 <td>0 <td>0 <td>100</td> <td>00</td> <td>21</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>20</td> <td>100</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td>	0 <td>0 <td>100</td> <td>00</td> <td>21</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>20</td> <td>100</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td>	0 <td>100</td> <td>00</td> <td>21</td> <td>0 <td>3 <td>0</td> <td>20</td> <td>100</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td></td>	100	00	21	0 <td>3 <td>0</td> <td>20</td> <td>100</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td> </td>	3 <td>0</td> <td>20</td> <td>100</td> <td>rand point ac et ac</td> <td>RAS</td>	0	20	100	rand point ac et ac	RAS
68	18	3035	1905	0 <td>12</td> <td>05</td> <td>2 <td>0 <td>2'</td> <td>2</td> <td>05</td> <td>22</td> <td>0 <td>3 <td>1</td> <td>01</td> <td>100</td> <td>virage et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td></td>	12	05	2 <td>0 <td>2'</td> <td>2</td> <td>05</td> <td>22</td> <td>0 <td>3 <td>1</td> <td>01</td> <td>100</td> <td>virage et ac</td> <td>RAS</td> </td></td></td>	0 <td>2'</td> <td>2</td> <td>05</td> <td>22</td> <td>0 <td>3 <td>1</td> <td>01</td> <td>100</td> <td>virage et ac</td> <td>RAS</td> </td></td>	2'	2	05	22	0 <td>3 <td>1</td> <td>01</td> <td>100</td> <td>virage et ac</td> <td>RAS</td> </td>	3 <td>1</td> <td>01</td> <td>100</td> <td>virage et ac</td> <td>RAS</td>	1	01	100	virage et ac	RAS

068	16	-1026	2788	62	0	70	29	68	79	00	62	08	26	0	4	8	84	entrée dans le crâne	RAS
069	16	2740	1081	22	50	0	50	10	48	22	84	01	1	50	1	0	00	A41	Commentaire: un changement de voie
070	16	-1008	2403	0	73	72	47	47	0	86	81	86	84	68	100	-18	00	R5	A42 retour
071	20	1100	881	21	50	26	0	12	18	04	00	71	1	0	1	50	87		Prise du 14 devant
072	20	10340	0721	40	64	2	62	28	20	21	81	72	20	14	13	50	72		
073	20	1080	893	0	0	0	0	0	0	100	100	100	1	0	1	60	50		carrefour possible
074	20	1040	843	0	14	100	80	0	0	100	86	86	1	0	1	50	57		carrefour possible
075	20	1210	793	0	18	47	0	0	0	10	100	100	71	0	1	60	50		Seul dans l'axe
076	20	1840	1001	0	15	50	0	0	0	10	100	100	1	0	1	70	50		tempo contre péph
077	20	1730	1055	10	8	68	10	0	0	100	100	100	1	0	1	80	50		tempo péph A-03
078	20	2690	1891	20	75	21	70	10	10	13	80	82	14	0	1	7	54		A41
079	20	3070	1824	0	0	87	0	0	0	88	83	83	1	0	1	50	57		Remarque: double carrefour à voie de droite
080	20	8117	877	1	0	40	0	0	0	72	89	100	11	0	1	60	50		tempo contre
081	20	3274	1444	0	22	20	20	0	0	12	80	74	1	0	1	50	50		véhicule lent sur bords de gauche
082	20	3238	878	0	0	88	0	0	0	86	81	80	1	0	1	60	50		tempo contre droite
083	20	4078	2448	10	20	21	10	0	0	10	10	0	0	0	85	26	28		entrée dans du chéneau
084	20	-1820	2893	4	22	30	0	0	0	28	83	88	24	0	1	62	50		Evite la soléreuse
085	22	1080	893	0	0	81	0	0	0	100	89	88	1	0	1	60	50		Carrefour possible
086	22	1084	854	0	0	100	0	0	0	100	100	100	1	0	1	50	54		carrefour possible
087	22	1040	845	0	13	28	0	0	10	100	87	88	21	0	1	60	50		carrefour possible
088	22	1715	214	0	0	100	0	0	0	100	100	100	21	0	1	50	50		tempo contre
089	22	1402	842	14	30	0	60	0	30	48	85	80	51	1	18	60	51		tempo contre
090	22	1748	1088	20	32	08	13	0	0	100	10	100	11	8	1	60	51		véhicule péph A42
091	22	3420	401	80	68	0	76	50	130	0	86	74	100	76	1	0	87	R5	A41
092	22	3125	1892	0	0	100	0	0	0	100	100	100	1	0	1	50	54		tempo contre
093	22	3380	1434	18	21	12	22	50	0	18	20	50	1	7	85	26	50		passage par passage interdit (bleu)
094	22	3960	2030	0	0	100	0	50	0	100	100	100	1	0	1	60	100		tempo contre St Et
095	22	4810	2454	0	8	88	10	0	0	100	11	81	1	0	1	50	53		entrée dans du chéneau
096	22	1192	845	0	0	0	0	0	0	100	100	84	1	0	1	100	100		carrefour possible
097	22	1158	745	0	0	0	0	0	0	100	100	100	1	0	1	100	100		carrefour possible
098	22	1200	811	0	0	0	0	0	0	100	100	100	1	0	1	100	100		tempo contre
099	22	1728	1048	2	2	58	0	2	9	100	88	98	1	0	1	92	100		véhicule à vitesse supérieure
100	22	1828	1184	0	0	58	0	0	0	100	100	100	1	0	1	100	100		véhicule péph A42
101	22	8808	1884	0	0	100	0	0	0	100	100	100	1	0	1	100	100		carrefour possible
102	22	3480	2040	0	0	98	0	0	0	100	100	100	1	0	1	88	100		tempo contre
103	22	2630	2131	0	0	100	0	0	0	100	100	100	1	0	1	100	100		carrefour possible
104	22	3882	2332	0	0	50	0	0	9	100	100	100	1	0	1	100	100		A423
105	22	5100	3181	0	0	87	0	0	0	81	72	100	1	0	20	100	50		entrée dans du chéneau
106	24	990	573	0	0	100	0	0	0	100	100	98	1	0	1	50	100		carrefour possible
107	24	882	583	0	0	100	0	0	0	100	100	100	1	0	1	50	88		carrefour possible

108	24	1040	640	0	7	31	0	0	0	100	100	100	0	0	0	88	100	vue gamier	hésitation à se faulter		
110	24	1215	735	0	0	103	0	0	0	100	100	100	0	0	0	50	100	fond antim-viel	RAS		
111	24	1542	1182	0	0	52	0	0	0	0	100	100	80	0	0	50	100	à côté le périphérique A43	quelqu'un de l'aut devant passer sur la terre pour aller dans une voiture double vitrage		
112	24	2753	1820	0	0	102	0	0	0	0	0	100	0	0	0	81	100	A43	RAS		
113	24	3253	1910	0	0	122	14	0	0	100	100	100	0	0	0	51	100	fond antim-viel	RAS		
114	24	3223	2010	0	0	87	0	0	12	0	0	100	100	82	0	18	50	58	viage abas	il n'y a rien rappelle pas	
115	24	3525	2105	0	0	102	0	0	0	0	100	100	0	0	0	50	100	fond antim-viel et as	hésitation sur la direction		
116	24	4028	2408	0	0	92	0	0	0	0	0	100	0	0	0	68	100	A43	sur la première route dans un grand lot à droite par la gauche avant de prendre la file d'attente		
117	24	4024	2404	0	0	34	17	18	0	75	0	100	0	0	0	4	50	17	as	syn	
118	26	1154	714	0	0	75	0	0	0	0	0	80	80	0	0	0	20	74	Carrefour poudrette	RAS	
118	26	1214	704	12	58	0	20	15	0	0	0	72	72	5	5	4	30	74	Carrefour gamier	RAS	
120	26	1518	788	40	60	14	20	17	0	0	0	68	68	68	15	0	20	88	vue gamier	abaisser la file	
121	26	1442	882	7	5	25	15	1	0	0	0	76	76	0	0	0	50	78	fond antim-viel	RAS	
122	26	1452	880	25	24	28	85	24	100	72	71	71	81	71	25	83	71	100	vue habit	C'est qu'on dit c'est juste devant nous. C'est toujours plein	
123	26	1523	888	32	68	28	60	28	28	80	74	74	17	8	19	85	17	100	route de jonas	C'est qu'on dit c'est juste devant nous	
124	26	2124	1204	88	54	122	88	28	30	100	88	87	78	17	17	80	85	100	à côté le périphérique A43	RAS	
125	26	3331	2011	0	10	32	10	0	0	100	0	76	0	0	0	54	74	100	fond antim-viel et as	RAS	
126	26	3415	2085	15	13	21	22	23	20	0	0	85	85	8	2	0	24	88	viage abas	à l'arrêt dans le virage. Se souvient pas avoir freiné	
127	26	3513	2180	0	0	23	88	23	88	28	81	85	97	45	79	57	50	28	28	Carrefour Gamier St Et	Carrefour Gamier et on le base pour un peu plus vite que pour passer
128	26	3743	2100	48	58	57	85	27	10	0	18	80	40	17	0	0	21	100	Carrefour Gamier	RAS	
128	26	1445	885	0	0	122	0	0	0	100	100	100	0	0	0	100	50	100	Carrefour poudrette	RAS	
130	26	1323	880	0	0	102	0	0	0	100	0	100	100	0	0	0	0	0	100	Carrefour gamier	RAS
131	26	1815	875	0	0	0	80	0	0	0	0	80	80	0	0	0	50	58	vue gamier	quelqu'un de la droite mais on n'a pas la priorité	
132	26	1545	1005	0	0	0	0	0	0	0	0	78	45	0	0	0	50	58	fond antim-viel	RAS	
132	26	2423	1440	0	0	122	0	0	0	0	0	76	80	80	0	0	50	58	as	RAS	
134	26	3571	2200	0	0	25	18	0	0	0	0	80	80	0	0	0	1	50	58	fond antim-viel et St Et	RAS
136	26	3247	2007	0	0	24	0	28	10	14	20	14	1	0	0	10	18	100	viage abas	il n'y a hésitation sur la direction. Sinon ça va être	
136	26	4123	2488	82	0	15	0	0	0	0	14	80	70	10	0	0	11	58	fond antim-viel et St Et	RAS	
137	26	3707	2207	0	0	10	80	0	0	0	10	80	80	0	0	2	48	14	Carrefour poudrette	il n'y a pas de circulation	
138	27	1215	1145	0	0	122	0	0	0	100	100	100	0	0	0	100	100	100	Carrefour poudrette	RAS	
138	27	1523	1100	0	0	122	0	0	0	100	100	100	0	0	0	100	100	100	Carrefour gamier	RAS	
140	27	2123	1208	0	0	122	0	0	0	100	100	100	0	0	0	100	100	100	vue Gamier	abaisser la file entre deux véhicules	
141	27	2123	1208	0	0	122	0	0	0	100	100	100	0	0	0	100	100	100	fond antim-viel	RAS	
142	27	2553	1610	0	0	0	0	0	0	74	87	100	0	0	0	100	68	100	Carrefour périphérique A43	RAS	

142	27	4174	2424	0	0	100	0	0	0	100	100	100	0	0	0	100	100	Rond point vers St-Es	RAS			
144	27	4108	2405	0	0	100	0	0	0	100	100	100	0	0	0	100	100	Virage St-Es	partir			
145	27	4308	2555	0	0	100	0	0	0	100	100	100	0	0	0	100	100	Rond point vers St-Es	RAS			
146	27	5718	2425	0	0	100	100	0	0	100	100	100	0	0	0	100	100	Bande part du chéne	parfaitement bien réglé			
147	28	714	424	0	0	100	0	0	0	100	00	100	00	0	100	00	Rue Boucher	Piston et valve à droite Coup de helm 51%				
148	28	314	554	0	0	100	0	0	0	100	100	100	0	0	0	100	100	Carrefour vers poudrette	RAS			
149	28	480	570	0	0	100	0	0	0	100	100	100	0	0	0	100	100	Carrefour vers garnier	RAS			
150	28	1358	755	50	50	0	0	50	50	0	0	100	100	50	0	0	50	100	Rue Garnier	Départ par un pédalier et stop par une voiture part		
151	28	1105	555	0	0	100	0	0	0	100	100	100	0	0	0	100	100	Rond point vers vallet	RAS			
152	28	1312	575	0	0	23	84	11	0	0	88	100	100	100	10	0	0	22	18	Buclle pépinière ou vers A43	Quadrant en panne	
153	28	2365	1725	0	0	100	0	0	0	100	100	100	0	0	0	100	100	Rond point vers St-Es	RAS			
154	28	2368	1735	00	00	0	0	00	00	00	00	100	00	0	00	00	00	Virage St-Es	de soulèvement de terre			
155	28	2110	1675	50	50	50	50	50	0	0	50	75	100	0	0	0	50	50/55	Rond point vers St-Es	Une camionnette hésitation sur la droite en		
156	28	4254	2024	68	50	100	0	0	0	50	50	50	52	00	0	100	0	50	0	Bande part du chéne	RAS	
157	28	1110	570	7	8	92	8	7	8	91	91	91	0	0	8	14	30	80	Carrefour arrive poudrette	RAS		
158	28	1124	504	7	0	100	10	8	0	100	64	62	0	0	0	0	0	0	Carrefour arrive garnier	RAS		
159	28	1300	700	0	0	90	0	0	0	100	00	85	0	0	0	0	0	0	Rond point vers vallet	RAS		
160	28	1440	555	17	39	28	55	28	02	89	00	11	80	14	100	14	00/RS	Feu orange route de Genes périphérique	Grille feu rouge			
161	28	1728	1045	0	0	39	60	55	22	65	5	60	0	0	0	0	0	0	0	46 sur la rimpente qu'on devine		
162	28	1698	1075	0	0	90	0	0	0	100	00	0	0	0	0	0	0	0	0	Jusqu'à l'impasse et d'avec l'avenue la route du		
163	28	1301	1141	20	33	12	12	20	10	15	29	72	30	70	24	7	0	0	0	la route		
164	28	2488	1625	0	0	100	0	0	0	100	00	38	0	0	0	0	0	0	0	Un camion se trouve juste devant nous		
165	28	2124	1030	0	0	100	0	0	0	100	00	0	0	0	0	0	0	0	0	RAS		
166	28	2088	1655	0	0	10	71	71	7	0	38	28	00	0	0	0	0	0	0	Il y a un cycliste sur la route. Je suis devant un		
167	28	5311	1551	18	9	80	18	0	0	82	73	98	15	8	7	98	88	Rond point vers St-Es	Hésitation sur la direction			
168	28	4300	2550	0	0	91	53	0	0	88	24	73	85	0	0	0	0	0	0	Je me gare dans le carré qui me sert de station		
169	30	300	527	8	20	30	4	0	0	81	78	0	0	0	0	0	0	0	0	Dépose une valise qui se part		
170	30	1328	525	0	0	81	15	0	0	03	83	87	78	11	0	7	50	20	Carrefour vers poudrette	RAS		
171	30	1341	541	17	0	0	0	0	0	0	94	03	0	14	0	0	0	0	0	Carrefour vers garnier	RAS	
172	30	1310	721	20	25	38	12	18	15	50	28	40	18	24	22	57	88	Rond point vers vallet	RAS			
173	30	1218	518	06	31	10	51	70	19	79	15	70	80	72	75	0	18/RS	Feu rouge route de Genes	problème sur le TORP freinage			
174	30	1314	1124	58	38	26	57	61	28	72	24	19	13	88	57	71	28	00/RS	Quelqu'un m'a dit un camion qui m'a dit à doubler			
175	30	2141	1041	0	0	100	0	0	0	100	00	0	0	0	0	0	0	0	0	Je m'arrête un peu à la route		
176	30	2120	1035	0	0	0	0	0	0	0	91	88	98	0	0	0	0	0	0	RAS		
177	30	2305	1555	0	0	91	0	0	0	0	95	85	37	0	0	0	0	0	0	RAS		
178	30	4522	2122	1	0	80	0	0	0	0	07	61	0	0	0	0	0	0	0	Bande part du chéne		
179	30	4525	2125	13	32	1	71	75	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Dans part du chéne		
180	31	221	551	8	8	1	0	0	0	0	50	75	100	0	1	1	1	1	1	Carrefour vers poudrette	RAS	

181	31	597	672	0	0	53	0	0	0	70	25	170	0	0	0	0	0	0	0	Carrefour vers garnier	RAS	
182	31	748	640	0	0	50	0	0	0	70	10	100	0	0	0	0	0	0	0	RAS		
183	31	715	1025	27	55	40	50	8	0	50	54	100	0	0	0	0	0	0	0	Buclle pépinière ou vers A43	Sauf quand on coupe	
184	31	750	1000	25	0	20	50	0	0	20	50	100	0	0	0	0	0	0	0	Carrefour vers St-Es	RAS	
185	31	5510	1650	21	0	90	72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Virage St-Es	à l'arrêt	
186	31	2410	2004	0	0	30	0	0	0	50	00	100	0	0	0	0	0	0	0	Rond point vers St-Es	RAS	
187	31	1580	2070	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Rond point vers vallet	problème de freinage	
188	31	247	90	0	0	0	0	0	0	100	0	100	0	0	0	0	0	0	0	Carrefour vers poudrette	RAS	
189	31	84	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Carrefour vers garnier	problème de freinage	
190	31	1510	807	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Carrefour vers St-Es	Problème de freinage	
191	32	1755	1075	7	0	100	0	0	0	100	00	38	0	0	0	0	0	0	0	Carrefour vers St-Es	Erreur de sens quand on coupe	
192	32	2128	1225	0	0	100	0	0	0	100	00	100	0	0	0	0	0	0	0	Carrefour vers A43	RAS	
193	32	241	2054	0	0	30	0	0	0	100	00	100	0	0	0	0	0	0	0	Rond point vers vallet	RAS	
194	32	1510	1070	0	0	100	0	0	0	100	00	100	0	0	0	0	0	0	0	Carrefour vers garnier	problème de freinage	
195	32	54	0	0	0	0	0	0	0	100	0	100	0	0	0	0	0	0	0	Carrefour vers garnier	RAS	
196	32	4138	2400	0	0	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Virage vers A43	Carrefour vers garnier	

## Annexe 4. Synchronisation des données oculométriques

protégé en vertu de la loi du droit d'auteur.

Les données de l'oculomètre sont collectées sur un ordinateur spécifique qui n'est pas toujours parfaitement synchronisé avec les autres appareils embarqués : magnétoscope ou ordinateur d'acquisition des données capteurs.

Par exemple la figure 1 montre un observé « Gaze\_Center\_Mirror » au time code 1383.13, alors que la vidéo montre le sujet en regard frontal à ce time code (affiché en secondes dans la fenêtre TDLight).



Annexe 4 - Figure 1 : Synchronisation AbstractXML - Oculomètre

On trouve la première image vidéo du regard vers le rétroviseur central au time code 00 :23 :04 :02, soit en secondes : 1384.08.



Annexe 4 - Figure 2 : Regard Rétroviseur central

Pour ce sujet, on doit donc ajouter systématiquement dans les time-code des données oculomètre la valeur d'offset  $1384.08 - 1383.13 = 0.95s$ . On peut vérifier cette valeur avec d'autres événements au fil du parcours. Cette valeur d'offset peut changer d'un jour à l'autre, la synchronisation doit donc être refaite pour chaque sujet.

Afin de faciliter ce calcul d'offset et la vérification de la synchronisation de l'oculomètre nous avons finalement inclus dans la trace le numéro de l'image Facelab, appelé numéro de « Frame ». Ce numéro est affiché par le Facelab en surimpression sur l'image. On peut donc le comparer avec le numéro enregistré dans la trace et voir si les deux numéros coïncident pour un time-code donné.

## Annexe 5. Synchronisation de la vidéo et des données

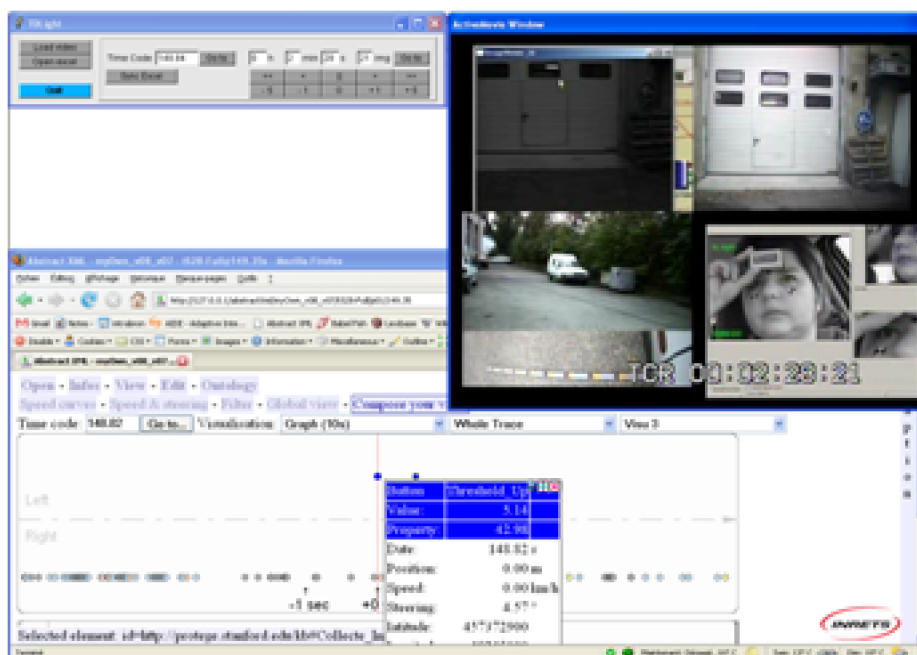
Le magnétoscope envoie en permanence son time code au PC d'acquisition des données par une liaison série. La synchronisation est donc réalisée de manière automatique entre chaque image de la vidéo et chaque échantillonnage des données.

On enregistre en bas à droite du système quadra vision la sortie vidéo de l'oculomètre. Dans cette image, sont incrustés en vert le label de la zone regardée ainsi que des flèches matérialisant la direction du regard. Ce traitement prend du temps, l'image de l'oculomètre est donc en retard par rapport aux trois autres images du système quadra vision et par rapport au time code des données.

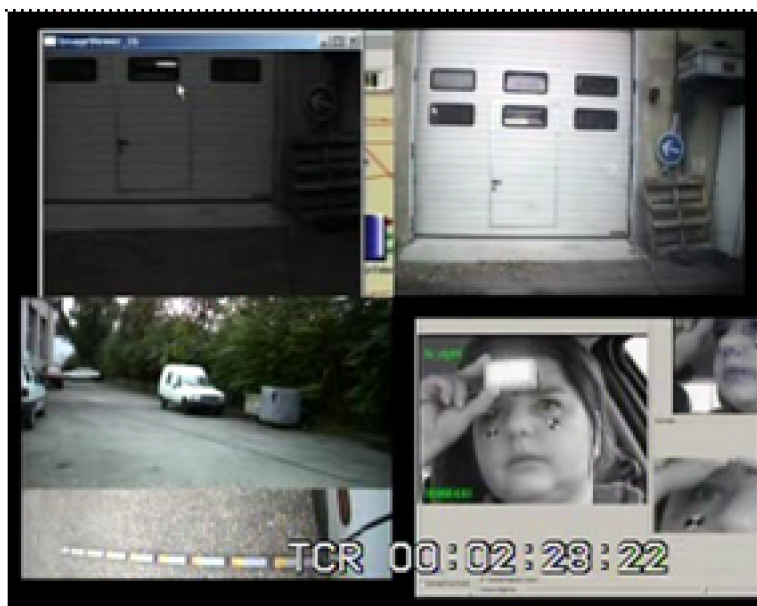
Par exemple la figure 1 montre le top de synchronisation affiché dans AbstractXML



au time code 148.82, or sur l'image vidéo correspondant au time code 148.84, les diodes de synchronisation ne sont encore pas allumées.



Annexe 5 - Figure 1 : Synchronisation Vidéo et données



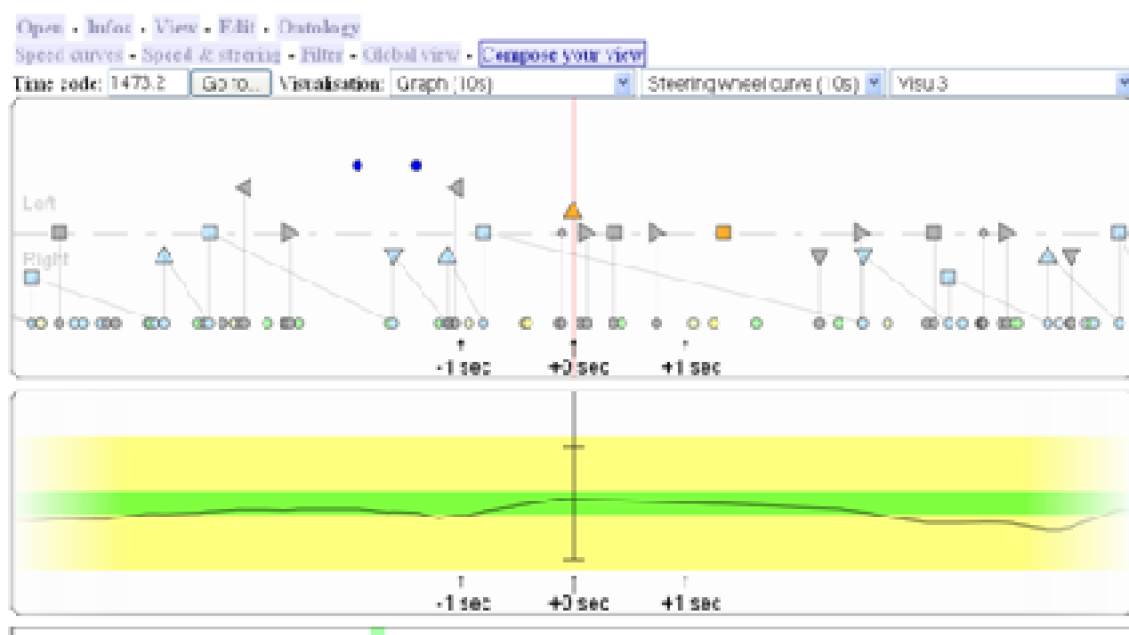
Annexe 5 - Figure 2 : Allumage des diodes de synchronisation

Les diodes apparaissent allumées uniquement sur l'image suivante comme le montre la figure 2. Sur plusieurs essais on constate que l'image de l'oculomètre est toujours en retard d'une à deux images par rapport aux autres images et par rapport au time code des données. Il y a donc un décalage moyen d'environ 0.06s qu'on peut en général négliger dans nos analyses.

## Annexe 6. Centrage du volant

La position du volant est mesurée par un capteur de position angulaire. Le centrage peut varier en fonction de l'équilibrage du véhicule et doit donc être calibré pour chaque trajet.

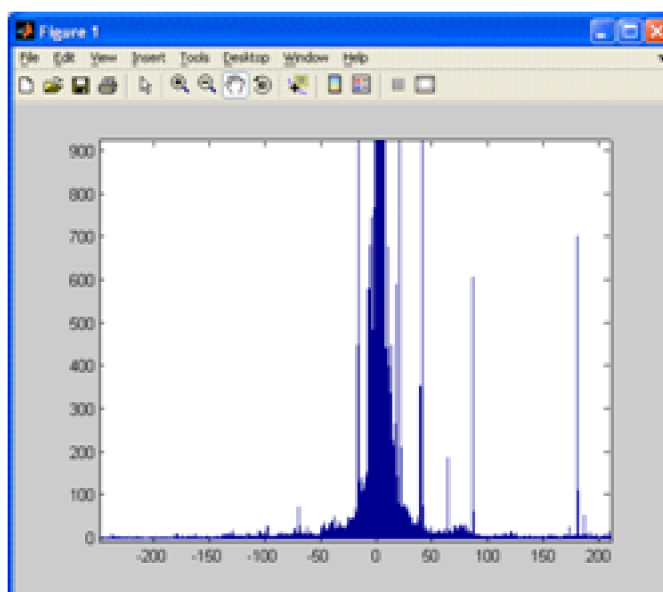
La figure 1 montre un changement de voie avec des données de volant non centrées. La courbe du bas représente la position du volant en degrés, la plage verte correspondant à l'intervalle  $[-5,+5]$  et la plage jaune  $[-30,+30]$ . Elle met en évidence un offset d'environ  $-5^\circ$ , ce qui se traduit dans le cas de ce changement de voie par des événements volant à droite et aucun événement volant à gauche (objets bleus dans le graphe du haut).



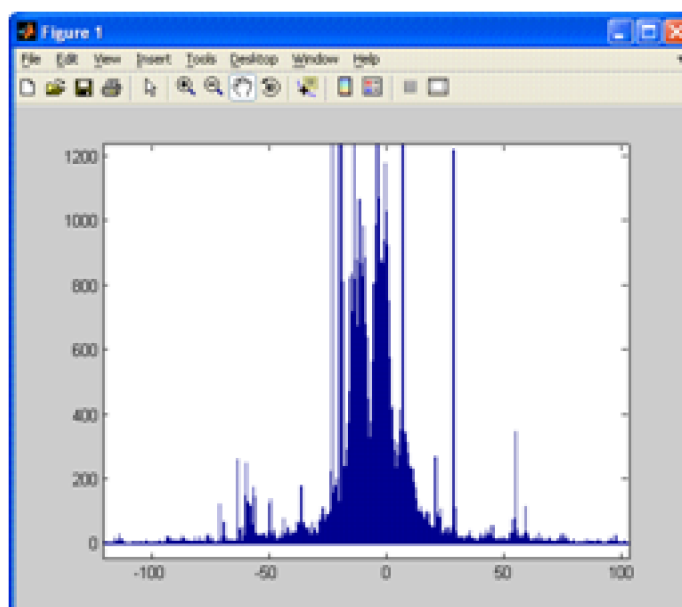
Annexe 6 - Figure 1 : Changement de voie avec mesure volant non centrée

Nous avons mis en place un algorithme pour centrer la mesure du volant en centrant l'histogramme de ses valeurs. La figure 2 représente l'histogramme des valeurs volant sur tout un trajet. Elle montre une courbe de Gauss « bruitée » par des pics qui correspondent à des moments où le véhicule est immobilisé avec le volant tourné. En excluant les valeurs volant quand la vitesse véhicule est nulle, on obtient un histogramme épuré qu'on parvient à centrer.

Toutefois il arrive que cette méthode soit prise en défaut par des comportements atypiques du conducteur. Par exemple la figure 3 montre un histogramme du volant « bimodal » qui indique que le conducteur a tendance à effectuer beaucoup de légères corrections à droite et à gauche. Dans ces cas particuliers nous paramétrons l'offset manuellement.



Annexe 6 - Figure 2 : Histogramme du volant



Annexe 6 - Figure 3 : Histogramme du volant bimodal

## Annexe 7. Informations de cartographie

### 7.1. Données collectées (niveau 0 et 1)

Les informations de position GPS sont collectées au cours du trajet grâce au système NavTeq. Elles incluent deux types d'information :

- Les coordonnées GPS courantes du véhicule (longitude, latitude) actualisées avec une périodicité de 1Hz.
- Les informations de segments cartographiques, enregistrées à chaque entrée dans un nouveau segment.

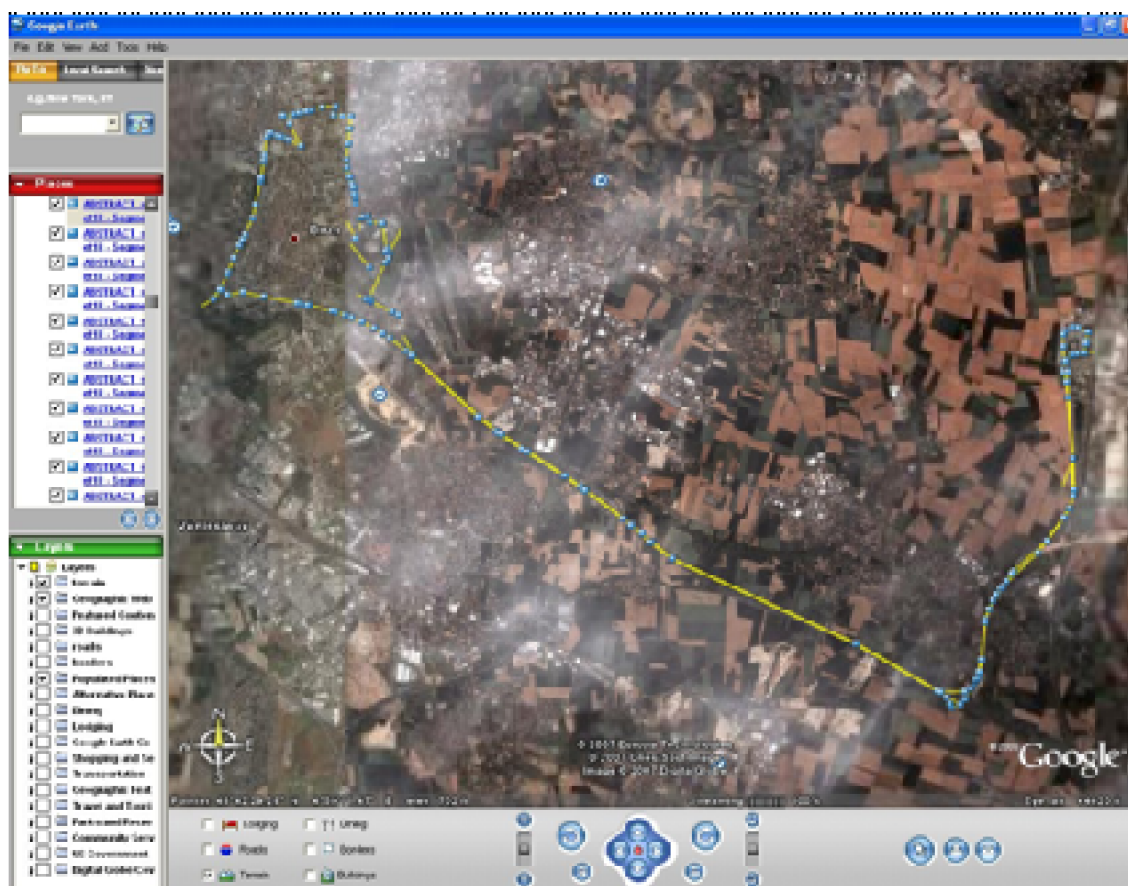
Dans le cas d'un franchissement d'intersection il y a plusieurs segments possibles. Le système enregistre d'abord le segment le plus probable, puis il enregistre le segment réellement suivi au moment où il parvient à se repositionner.

Le tableau 1 indique la liste des champs associés à chaque segment. La colonne « Description ou observation » indique les interprétations que nous avons pu faire de ces données sur notre parcours.

### **Annexe 7 - Tableau 1 : Informations de segments Navteq**

Champ	Libellé	Description ou observation
1	Time code	
2	'idSegment'	Numéro du segment pour ce trajet
3	'id'	
4	'startNodeLatitude'	Latitude du début du segment
5	'startNodeLongitude'	Longitude de début segment
6	'EndNodeLatitude'	Latitude de fin segment
7	'EndNodeLongitude'	Longitude de fin segment
8	'length'	longueur du segment
9	'laneNoOwnDir'	
10	'laneNoOppDir'	
11	'laneMarking'	Toujours à -1
12	'laneWidth'	Toujours à -1
13	'isPaved'	
14	'isBuArea'	
15	'isTunnel'	
16	'isBridge'	
17	'inCity'	1= en ville , 0 sinon
18	'isRoundabout'	1 = rond point, 0 sinon
19	'haveGuardRail'	
20	'roadClass'	0 = isHighway, 1 = ArterialRoad, 2 et 3 = ordinary road
21	'isPrivate'	
22	'isToll'	Redondant avec IsHighway
23	'isDeadEnd'	
24	'isAccessRoad'	Redondant avec RoadClass
25	'isArterialRoad'	Redondant avec RoadClass
26	'isHighway'	Redondant avec RoadClass
27	'isInterstate'	= IsHighway
28	'isMotorway'	= IsHighway
29	'isRamp'	1 = ramp, 0 Sinon
30	'isDividedRoad'	toujours à 0
31	'isDividedHighway'	
32	'isOrdinaryRoad'	Redondant avec road class
33	'haveParking'	
34	'accessFlags'	
35	'drivingStatut'	
36	'idCurve'	id du virage
37	'curv'	
38	'distanceCurve'	distance au virage
39	'startCurv'	
40	'lengthCurv'	longueur du virage
41	'cos2ts'	
42	'idSpeed'	
43	'typeSpeed'	

44	'distanceSpeed'	toujours à 0
45	'valueSpeed'	
46	'idCross'	
47	'typeCross'	
48	'distanceCross'	



Annexe 7 - Figure 1 : Cartographie du trajet sujet 18

La figure 1 représente une visualisation sous le logiciel Google Earth des informations de segments cartographiques d'un sujet. Les points bleus représentent les changements de segment.

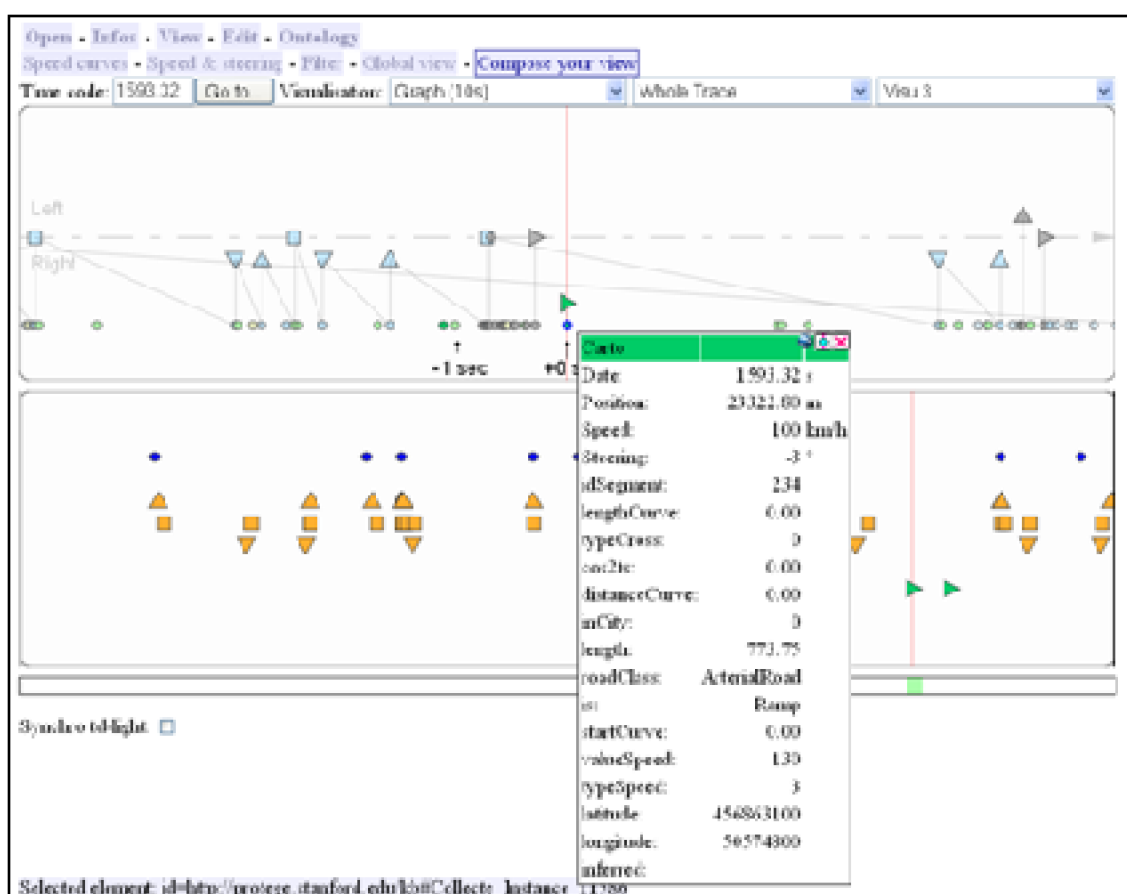
## 7.2. Prétraitements (niveau 2)

Parmi ces informations nous avons éliminé les champs invariants et inutiles et regroupé les informations redondantes afin de réduire à 15 le nombre de propriétés de cartographie importées dans Abstract. Elles sont indiquées au tableau 2.

Annexe 7 - Tableau 2 : Propriétés des événements cartographie dans Abstract

Champ	Libellé	Origine	Description
1	Date	Time code	Datation de l'événement
2	idSegment	idSegment	Numéro du segment pour ce trajet (commence à 1)
3	Latitude	startNodeLatitude	Latitude du début du segment
4	Longitude	startNodeLongitude	Longitude de début segment
5	Length	Length	Longueur du segment en mètres
6	inCity	inCity	1= en ville , 0 sinon
7	Is	isRoundabout, isRamp	Ramp si bretelle, Roundabout si rond point, rien sinon
8	roadClass	roadClass	Highway, ArterialRoad, OrdinaryRoad3, OrdinaryRoad3
9	distanceCurve	distanceCurve	distance au virage
10	startCurv	startCurv	
11	lengthCurv	lengthCurv	Longueur du virage
12	cos2ts	cos2ts	Indication du rayon de courbure
13	typeSpeed	typeSpeed	Type de limitation de vitesse
14	valueSpeed	valueSpeed	Valeur de vitesse limite ou recommandée
15	typeCross	typeCross	Type de croisement

La couleur retenue pour représenter les événements cartographie dans Abstract est le vert vif. La figure 1 montre la visualisation des propriétés d'un événement de franchissement d'une bretelle.



Annexe 7 - Figure 1 : Propriété des événements cartographie

### 7.3. Inférences de niveau 3

A partir des informations de segment nous sommes en mesure de repérer dans la trace les événements d'entrée et de sorties de nos sections d'intérêt. De cette façon nous pouvons tronçonner automatiquement la trace pour générer des tranches spécifiques en fonction des différentes analyses que nous voulons mener. Le tableau 3 et la figure 2 indiquent la liste de nos points de repère.

Annexe 7 - Tableau 3 : Repères cartographiques

	Repère cartographique	Longitude	Latitude	Longueur	Libellé
1	Entrée A43 Lyon	49064900	457277300		Entree_A43_Lyon
2	Sortie A43 Saint Exupéry	50439100	456715300	362.09	Sortie_A43_StEx
3	Arrivée à Saint Exupéry	50704800	457154400	148.52	Arrivee_StEx
4	Départ de Saint Exupéry	50704800	457154400	243.65	Depart_StEx
5	Entrée A43 Saint Exupéry	50446700	456713800		Entree_A43_StEx
6	Sortie A43 Bron	49370000	457192400	102.04	Sortie_A43_Bron

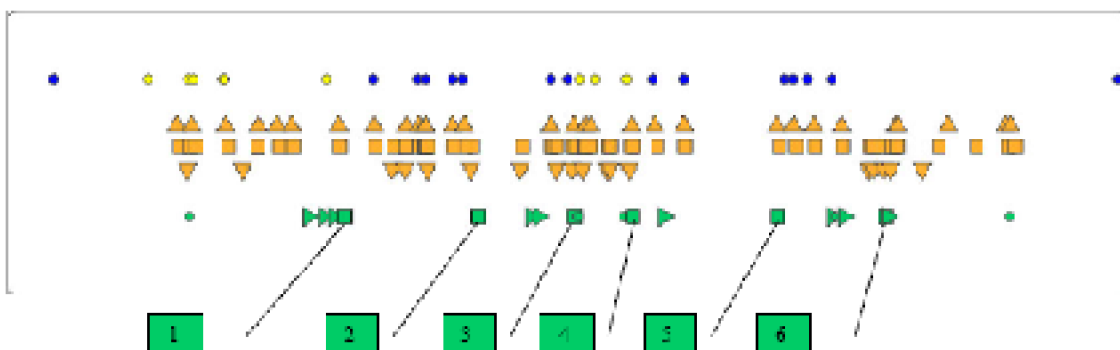


Les points de repère 3 et 4 ont les mêmes coordonnées GPS. Les point 2 et 6 donnent lieu à deux segments dans la trace : le segment le plus probable, et le segment réellement suivi. Nous identifions les segments par leurs longitude et latitude de départ et nous les différencions, si nécessaire, par leur longueur.



Annexe 7 - Figure 2 : Repères cartographiques

La figure 3 représente la trace complète du sujet 28 avec les inférences de niveau 3 en vert vif : les ronds points (cercles), les bretelles (triangles) et les 6 repères cartographiques (carrés).



Annexe 7 - Figure 3 : Sujet 28 - Trace complète - Cartographie

Les informations de bretelle et de rond point en plein trajet autoroute entre les repères 5 et 6 sont inexpliquées. Elles apparaissent pour tous les sujets.

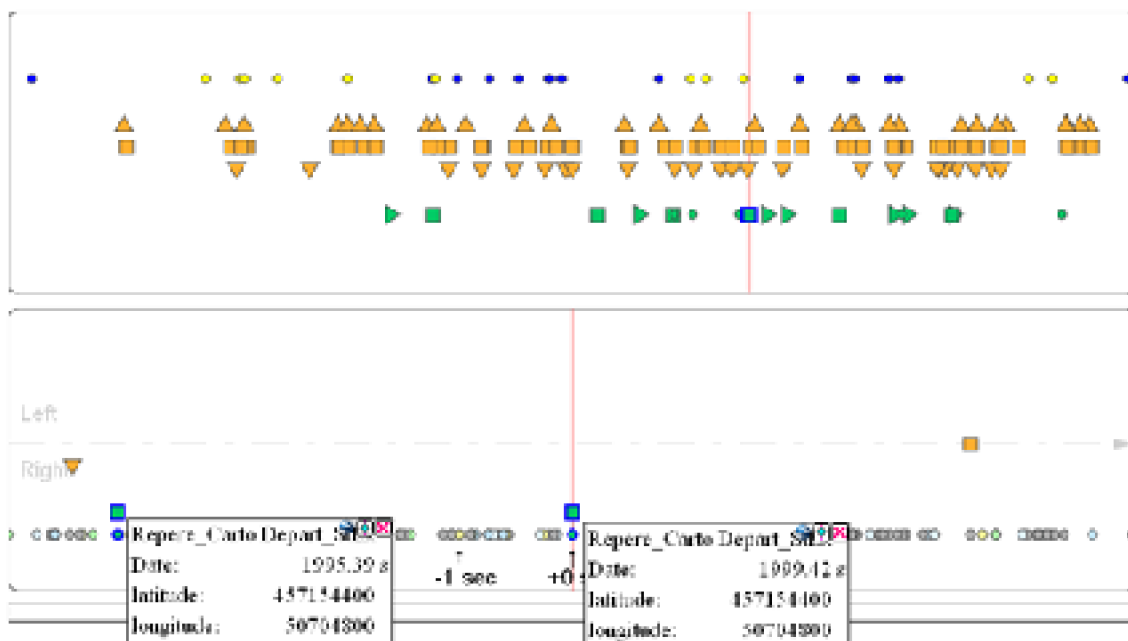
## 7.4. Qualité des données

Il arrive que les relevés cartographiques soient erronés. Par exemple la figure 4 montre le relevé du sujet 29 pour lequel le début de l'autoroute A43 a été confondu avec l'avenue Franklin Roosevelt. Dans ce cas nous corrigeons les données cartographiques à la main dans les traces avant de lancer les algorithmes de tronçonnage de la trace.



Annexe 7 - Figure 4 : Sujet 29 - Cartographie erronée

Il arrive également qu'un même segment apparaisse plusieurs fois dans la trace à quelque secondes d'intervalle. La Figure 5 montre l'analyse de la cartographie du sujet 23. Le repère de départ de l'aéroport Saint Exupéry apparaît dupliqué à 4 secondes d'intervalle. Pour corriger le problème on n'infère le repère qu'à la première apparition du segment.



Annexe 7 - Figure 5 : Sujet 23 : TC 1999 : Duplication de segment dans la trace

Il arrive également qu'aucune information cartographique ne soit présente sur toute une partie du trajet, dans ce cas nous effectuons le tronçonnage de la trace manuellement en prenant nos points de repère sur la vidéo.

Le tableau 4 fait le bilan de l'exploitation de la cartographie pour tous les sujets.

Annexe 7 - Tableau 4 : Bilan exploitation de la cartographie

Sujet	Trajet Lyon-Saint Exupéry	Trajet A43
10	Pas de relevé	
11	Pas de relevé	
12	<i>Expérimentation Annulée</i>	
13	Pas de relevé	
14	Correct	Correct
15	Correct	Correct
16	Incorrect	Correction manuelle
17	Pas de relevé	
18	Correct	Correct
19	Pas de relevé	
20	Trajet spécifique Autoroute Bron-Bourgoin	
21	Correction manuelle	Correct
22	Incorrect	Correct
23	Correct	Correct
24	Correct	Correct
25	Correct	Correct
26	Pas de relevé	
27	Correct	Correct
28	Correct	Correct
29	Correction manuelle	Correct
30	Correction manuelle	Correct
31	Correct	
32	Correct	
33	Trajet spécifique dans Bron uniquement	

Sur 21 sujets ayant effectué le parcours standard, 10 ont un relevé cartographique correct, 3 ont un relevé rattrapable par correction manuelle des données et 6 n'ont pas de relevé correct et nécessitent un repérage manuel à partir de la vidéo.

## Annexe 8. Acquisition des données oculométriques

### 8.1. Données collectées niveau 0 et 1

Pendant son utilisation l'oculomètre FaceLab enregistre en continu de nombreuses données qui peuvent être classées en trois types principaux :

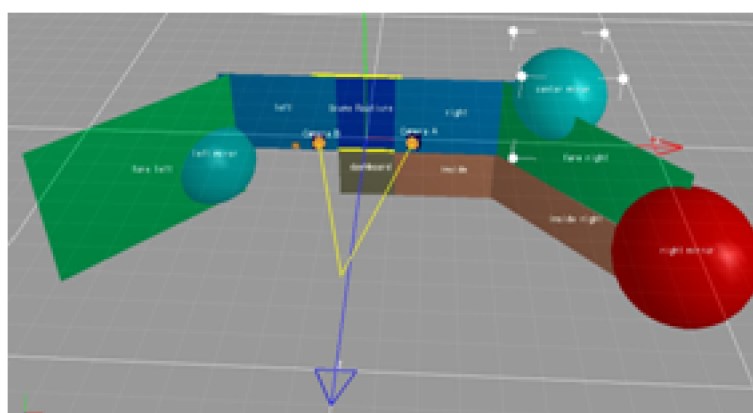
- Les coordonnées X et Y du point d'intersection de l'axe du regard avec le plan frontal.

- Les activations des zones d'intérêt définies dans le world model.
- Les informations de qualité de la détection.

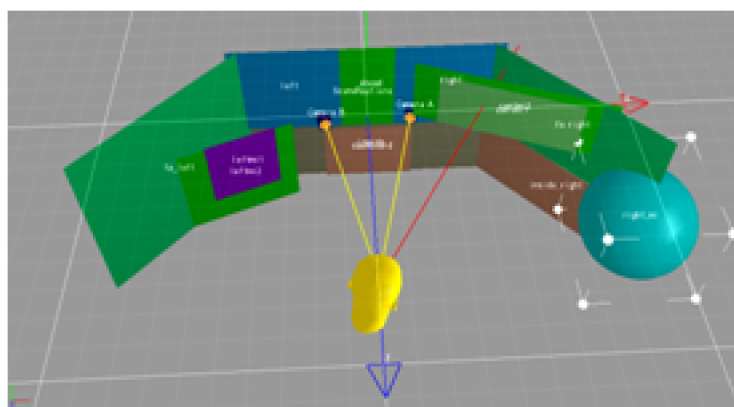
### 8.2. World model

Le logiciel du Facelab autorise le paramétrage de « zones d'intérêt » dans le champ de vision du sujet, et il enregistre en temps réel le numéro de la zone d'intérêt qui est regardée par le sujet. L'ensemble de ces zones d'intérêt est désigné par le terme « world model ».

Nous avons réalisé des premiers essais avec un world modèle simple (figure 1), et après analyse des données obtenues nous avons abouti au world model de la figure 2.

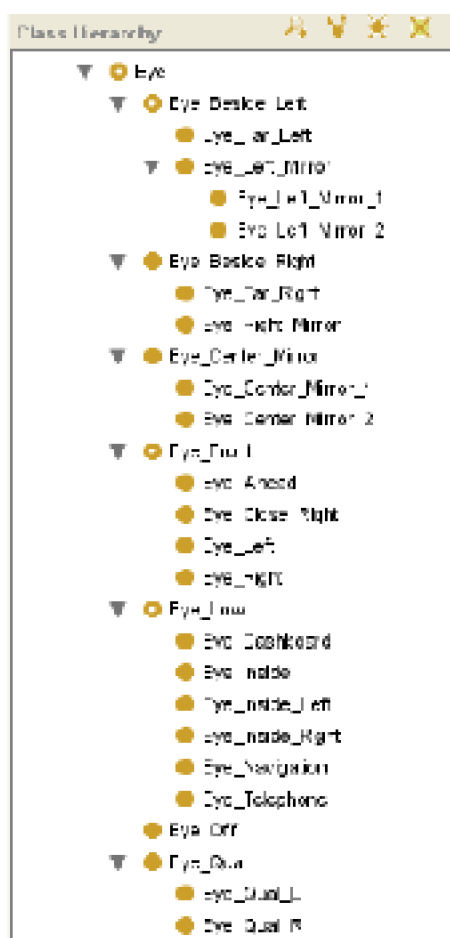


Annexe 8 - Figure 1 : World model simple



Annexe 8 - Figure 2 : World model retenu

La figure 3 liste les zones d'intérêt du world model retenu. En particulier nous avons défini deux zones concentriques pour chacun des rétroviseurs gauche et central. Cette précaution nous permet de choisir après coup la zone à utiliser pour l'analyse en fonction de la qualité des données de chaque sujet et en fonction du type d'analyse souhaité. Le rétroviseur droit reste représenté par une grosse sphère sur la droite, car le fait qu'il soit en limite du champ de détection nous rend impossible une mesure plus précise.



Ahead : La route tout droit

Left : Légèrement à gauche (exemple : suivi de la route en cas de virage à gauche)

Right : Légèrement à droite (exemple : suivi de la route en cas de virage à droite)

Far\_Left : Gauche (exemple : contrôle présence véhicule sur le côté)

Far\_Right : Droite (exemple : contrôle présence véhicule sur le côté)

Dashboard : Tableau de bord (exemple : compteur de vitesse)

Inside : Intérieur (exemple : autoradio)

Inside\_Right : Intérieur à droite (ex : boîte à gants)

Left\_Mirror\_1 : Rétroviseur gauche (centre)

Left\_Mirror\_2 : Rétroviseur gauche (large)

Center\_Mirror\_1 : Rétroviseur central (centre)

Center\_Mirror\_2 : Rétroviseur central (large)

Right\_Mirror : Rétroviseur droit

Eye\_Low : Différents regards vers le tableau de bord inclus dans notre ontologie pour d'autres expérimentations

Off : Non détection

Qual\_L : Défaut de qualité vers la gauche

Qual\_R : Défaut de qualité vers la droite

Annexe 8 - Figure 3 : ontologie des observés regard

### 8.3. Prétraitement des données (niveau 2)

La première étape de traitement consiste à extraire les événements de changement de zone d'intérêt à partir du flux de données brutes. Trois propriétés sont affectées à chacun de ces événements :

- Le time code de début d'activation
- L'identifiant de la zone d'intérêt
- La durée d'activation

La figure 3 représente la trace obtenue, entre le marquage de début de situation de changement de voie (en bleu) et le début d'allumage du clignotant (en orange). Les événements oculomètre sont en gris. La colonne A indique leur time code en seconde, la

colonne E indique leur zone d'intérêt et la colonne G leur durée en seconde.

	A	E	F	G	H	I
10219	1381.28	Eye_Left	duration	0.0669971		
10220	1381.34	Eye_Far_Left	duration	0.199991		
10221	1381.36	Button	subtype Threshold_Up	value		5.13
10222	1381.46	Accelerator	subtype Max	value		41.62
10223	1381.54	Eye_Left	duration	1.00695		
10224	1381.7	Speed	subtype Min	value		122.76
10225	1381.88	Button	subtype Threshold_Down	value		4.28
10226	1381.9	Speed	subtype Max	value		122.77
10227	1381.96	Accelerator	subtype Min	value		40.24
10228	1382.34	Accelerator	subtype Max	value		40.79
10229	1382.34	Accelerator	subtype Max_Variation	value		40.79
10230	1382.38	Speed	subtype Max_Variation	value		122.75
10231	1382.63	Eye_Ahead	duration	1.35294		
10232	1383.08	Accelerator	subtype Max_Variation	value		40.04
10233	1383.26	Accelerator	subtype Min	value		40
10234	1383.4	Accelerator	subtype Max	value		40
10235	1383.98	Eye_Right	duration	0.0169993		
10236	1384	Eye_Center_Mirror_2	duration	0.0339985		
10237	1384.03	Eye_Center_Mirror_1	duration	1.05195		
10238	1384.21	Accelerator	subtype Threshold_Down	value		9.15
10239	1385.09	Eye_Center_Mirror_2	duration	0.0339985		
10240	1385.12	Eye_Far_Right	duration	0.115995		
10241	1385.24	Eye_Right	duration	0.0509978		
10242	1385.29	Eye_Ahead	duration	0.884962		
10243	1386.17	Eye_Right	duration	0.383983		
10244	1386.36	Speed	subtype Min_Variation	value		116.67
10245	1386.56	Eye_Far_Right	duration	0.718969		
10246	1387.28	Eye_Right	duration	0.0329986		
10247	1387.31	Eye_Ahead	duration	1.73792		
10248	1387.98	Accelerator	subtype Threshold_Up	value		10.83
10249	1388.22	Accelerator	subtype Max_Variation	value		21.69
10250	1388.26	Indicator_Left	duration	7.2614		
10251	1389.05	Eye_Right	duration	0.0329986		
10252	1389.08	Eye_Center_Mirror_2	duration	0.0339985		
10253	1389.11	Eye_Center_Mirror_1	duration	0.584975		
10254	1389.48	Accelerator	subtype Max	value		31.73
10255	1389.7	Eye_Center_Mirror_2	duration	0.0499978		

Annexe 8 - Figure 3 : Sujet 28 - TC 1381, Trace niveau 1

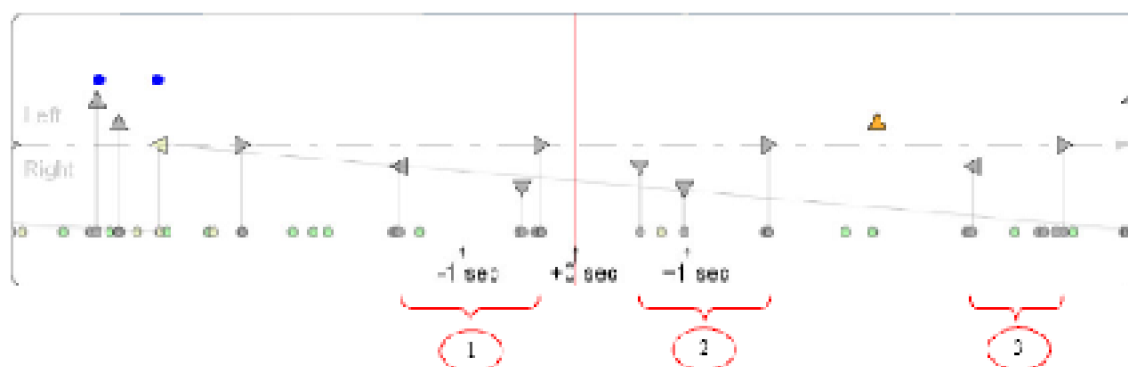
On constate que ces données sont bruitées avec de nombreux événements très courts, par exemple au time code 1381.28 un événement de regard à gauche d'une durée de 0.0669 seconde.

### 8.4. Inférences de niveau 3

Pour filtrer ce bruit, nous ne conservons au niveau 3 que les événements oculomètre d'une durée supérieure à 100 millisecondes. La littérature accorde habituellement une durée minimum de 200 à 300 ms aux saccades oculaires significatives, avec le seuil de 100 ms nous sommes certain de ne pas perdre d'information importante.

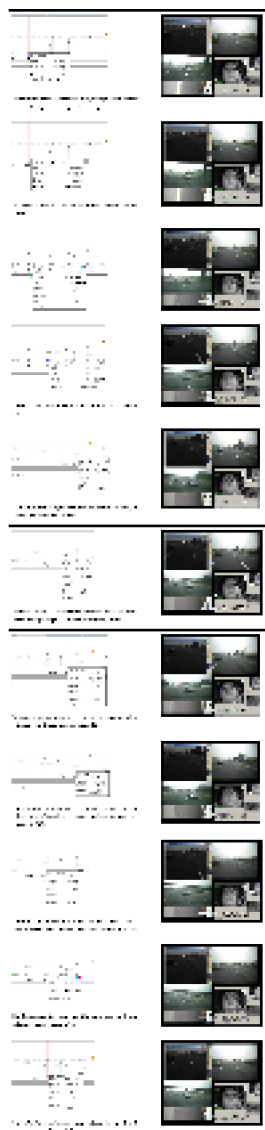
Après plusieurs essais et vérification sur la vidéo, nous choisissons pour ce sujet de considérer les zones Left\_Mirror\_2 et Center\_Mirror\_2 comme correspondant effectivement à des regards rétroviseur, au moins dans le cadre d'analyse des changements de voie. Nous les associons donc respectivement aux zones Left\_Mirror\_1 et Center\_Mirror\_1. La figure 4 montre la visualisation sous abstract de cette même séquence de décision de changement de voie. Les marqueurs de début de situation sont

les points bleu foncé, le début de clignotant est le triangle orange.



Annexe 8 - Figure 4 : Sujet 28 - TC 1381, Décision de changement de voie

Tous les événements oculaires vus à la figure 3 sont représentés ici par des points gris sur la ligne du bas. Seuls les événements d'une durée supérieure à 100 ms font l'objet d'une inférence de niveau 3 (triangles gris). Cette figure met en évidence trois séquences de contrôle du rétroviseur central (accolades rouges), entrecoupées de regards vers l'avant (triangles gris vers la droite sur l'axe). Les détails de ces séquences sont donnés dans le tableau 2. La séquence numéro 2 n'a pas déclenché la zone « Center\_Mirror » bien que la vidéo montre clairement que le conducteur regardait le rétroviseur central.



*Annexe 8 - Tableau 2 : Détail séquences regard rétroviseur central*

---

## 8.5. Qualité des données

### 8.5.1. Informations de qualité de détection

Lorsque le sujet tourne la tête au-delà d'une certaine limite, le Facelab perd la détection. Cela se produit notamment quand il regarde l'angle mort gauche ou quand il regarde le passager à sa droite. Il existe une information de qualité de détection liée à chaque œil, qui peut prendre trois valeurs :

- Good : Bonne détection
- Head : Perte de détection de l'œil mais bonne détection de la tête
- Lost : Perte de détection



Malheureusement cette information n'indique pas directement si la perte de détection est due à une rotation de la tête vers la droite ou vers la gauche.

La figure 5 montre la trace de niveau 1 d'une séquence avec regard dans l'angle mort, on y voit des événements de changement de qualité de détection des yeux gauche et droit (« Eye\_Qual\_L » et Eye\_Qual\_R »), ainsi que des pertes complètes de détection (« Eye\_Off »). \*

	A	E	F	G	H	I
10153	1375.15	Eye_Center_Mirror_2	duration	0.0669971		
10154	1375.16	Accelerator	subtype Max	value		43.86
10155	1375.21	Eye_Center_Mirror_1	duration	0.116995		
10156	1375.33	Eye_Center_Mirror_2	duration	0.250989		
10157	1375.36	Accelerator	subtype Min	value		43.8
10158	1375.58	Eye_Right	duration	0.0169993		
10159	1375.6	Eye_Ahead	duration	0.934969		
10160	1375.6	Speed	subtype Min	value		121.97
10161	1375.66	Accelerator	subtype Max_Variation	value		45.06
10162	1376.07	Accelerator	subtype Max	value		49.1
10163	1376.53	Eye_Left	duration	0.183992		
10164	1376.72	Eye_Far_Left	duration	0.0999957		
10165	1376.73	Eye_Qual_L	subtype Head	duration		0.0329986
10166	1376.77	Eye_Qual_L	subtype Good	duration		1.65493
10167	1376.82	Eye_Left_Mirror_2	duration	0.116995		
10168	1376.93	Eye_Left_Mirror_1	duration	0.0169993		
10169	1376.95	Eye_Far_Left	duration	0.0669971		
10170	1377.02	Eye_Off	duration	0.0329986		
10171	1377.03	Eye_Qual_R	subtype Head	duration		0.0329986
10172	1377.05	Eye_Far_Left	duration	0.0499978		
10173	1377.07	Eye_Qual_R	subtype Good	duration		0.0169993
10174	1377.08	Eye_Qual_R	subtype Head	duration		0.0499978
10175	1377.1	Eye_Left_Mirror_2	duration	0.334965		
10176	1377.13	Eye_Qual_R	subtype Good	duration		0.0169993
10177	1377.15	Eye_Qual_R	subtype Head	duration		0.0329986
10178	1377.18	Eye_Qual_R	subtype Good	duration		0.0169993
10179	1377.2	Eye_Qual_R	subtype Head	duration		0.183992
10180	1377.38	Eye_Qual_R	subtype Good	duration		0.283988
10181	1377.43	Eye_Left_Mirror_1	duration	0.333965		
10182	1377.58	Accelerator	subtype Min	value		44.2
10183	1377.67	Eye_Qual_R	subtype Head	duration		0.0329986
10184	1377.67	Accelerator	subtype Max_Variation	value		44.2
10185	1377.7	Eye_Qual_R	subtype Good	duration		42.1202

Annexe 8 - Figure 5 : Sujet 28 - TC 1375, Regard angle mort gauche

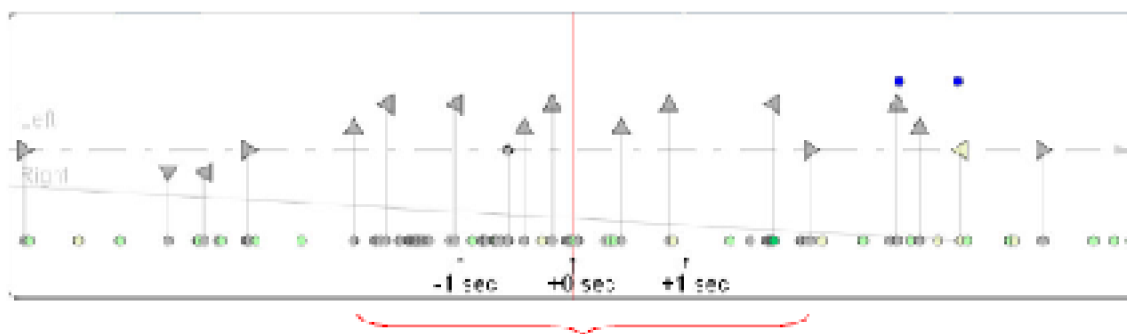


Annexe 8 - Figure 6 : S28 - TC 1377.16, Eye\_qual\_R=Head



Annexe 8 - Figure 7 : S28-TC1377.4, Eye\_Off

La figure 6 montre une perte de détection : pas d'indication de zone d'intérêt dans le coin supérieur gauche de la vue du facelab. La figure 7 montre une mauvaise détection sur l'œil droit signalée par un vecteur de direction rouge.

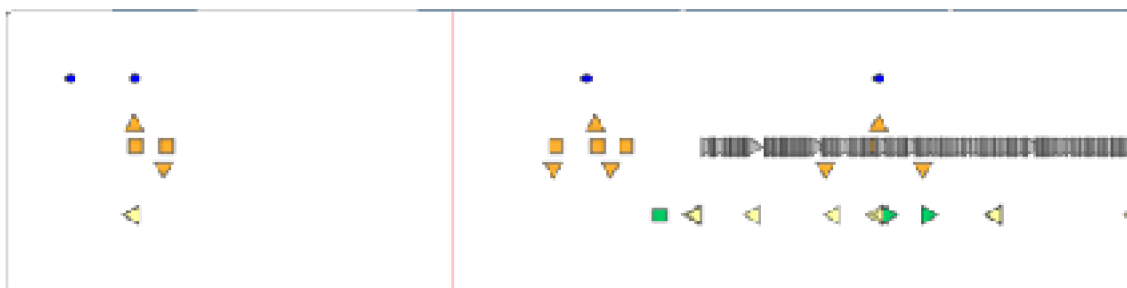


Annexe 8 - Figure 8 : Sujet 28 - TC1375 Séquence de regard angle mort gauche

La figure 8 montre la séquence complète de contrôle angle mort gauche (accolade rouge).

### 8.5.2. Sujets portant des lunettes

Dans le cas où le sujet porte des lunettes, le Facelab fonctionne de manière satisfaisante sauf en cas de soleil de face. Dans ce cas, même avec l'utilisation du pare-soleil, la détection est rendue impossible en raison de reflets sur les lunettes. La figure 9 représente les détections « regards tout droit » (triangles gris) sur la section autoroute et voie rapide Lyon - Saint Exupéry, effectuée le matin avec un fort soleil. Il n'y a aucune détection Facelab sur toute la partie orientée plein Est, c'est-à-dire avant la sortie de l'A43 (repère cartographique carré vert).



Annexe 8 - Figure 9 : Sujet 21- Section Lyon- Saint Exupéry

Les figures 10 et 11 représentent le sujet 21 en situation de reflet sur les lunettes (orienté Est) et en situation de bonne détection (orienté Nord).



Annexe 8 - Figure 10 : S21 - Reflet lunettes



Annexe 8 - Figure 11 : S21 - Bonne détection

## Annexe 9. Données télémétriques

### 9.1. Données collectées (niveau 0 et 1)

Le véhicule instrumenté est équipé d'un « système de perception » d'obstacle qui a été développé au laboratoire LIVIC de l'INRETS. Il est composé d'un télémètre à balayage, et de deux caméras utilisées en stéréovision (figure 1) qui sont exploitées par un algorithme spécifique.



Caméras Stéréovision

Télémètre à balayage

---

### *Annexe 9 - Figure 1 : Télémètre et caméras de perception d'obstacle*

L'algorithme a été conçu dans une logique de dispositif anti-collision pour signaler les obstacles présents sur la trajectoire du véhicule. Il est capable de détecter jusqu'à 15 cibles simultanées et lorsqu'une cible est détectée il produit toutes les 40 millisecondes les informations principales suivantes :

- Time Code
- Identifiant de la cible
- Temps à la collision (Time To Collision : TTC)
- Temps de suivi
- Positions X et Y de la cible dans la vue frontale
- Vitesse relative entre le véhicule instrumenté et la cible
- Angle relatif du vecteur vitesse de la cible
- Qualité du signal

## **9.2. Prétraitements (niveau 2)**

---

A partir des données collectées nous ne conservons que les cibles d'une durée supérieure à une seconde ce qui permet d'éliminer la plupart des obstacles fixes sur le bas côté. Pour les cibles conservées nous générons les événements suivants :

- Apparition et disparition de cible
- Points remarquables de la courbe du Temps à la collision (Minimum et Maximum locaux, Points d'inflexion)

Nous affectons à chacun des événements générés les propriétés suivantes :

- Time Code
- Identifiant de la cible
- Type d'événement
- Temps à la collision en secondes (TTC)
- Direction de l'obstacle (Vers la gauche, vers la droite, vers nous, s'éloigne)
- Distance de suivi en mètre
- Vitesse relative en km/h

La figure 2 présente les événements obstacle obtenus dans une séquence de suivi d'un véhicule pendant 40 secondes entre le time code 1628.74 et le time code 1668.65 (accolade rouge). On voit que cet obstacle se traduit par plusieurs cibles : obstacleID 1947, 1950, 1951, 1952, 1953, 1955. Le temps à la collision n'est pas significatif pour les événements d'apparition et de disparition de cible (valeur 66).





Annexe 9 - Figure 3 : S21 - TC 1662.65 Min TTC



Annexe 9 - Figure 4 : S21-TC 1668.65 Fin obstacle

### 9.3. Inférences de niveau 3

S'il est possible d'interpréter les détections d'obstacle en se basant sur la vidéo, en revanche il est plus difficile d'exploiter ces informations automatiquement en raison de leur nature très bruitée et de la présence de nombreuses fausses détections. De plus, en pratique on constate que la détection d'obstacle n'est plus significative au-delà d'une distance de 30 mètres environ. Cette information n'est donc guère exploitable sur autoroute où les distances de suivi sont généralement supérieures. Pour l'instant la seule inférence de niveau 3 utile que nous ayons pu faire consiste à reporter les minimums de Temps à la collision.

La figure 5 est une représentation sous Abstract XML d'une portion de la trace présentée à la figure 2. Les différents événements « obstacle » sont représentés par des points jaunes, seul le « Min TTC » est représenté par un triangle jaune inféré au niveau 3. Cette situation représente une tentative de dépassement empêchée par un véhicule très rapide venant par l'arrière sur la voie de gauche (visible sur la vue arrière de la figure 3). Le conducteur met son clignotant pour doubler et l'enlève immédiatement quand il voit le véhicule arriver. Ensuite, il freine avant de finalement ré accélérer et doubler en oubliant de remettre son clignotant.

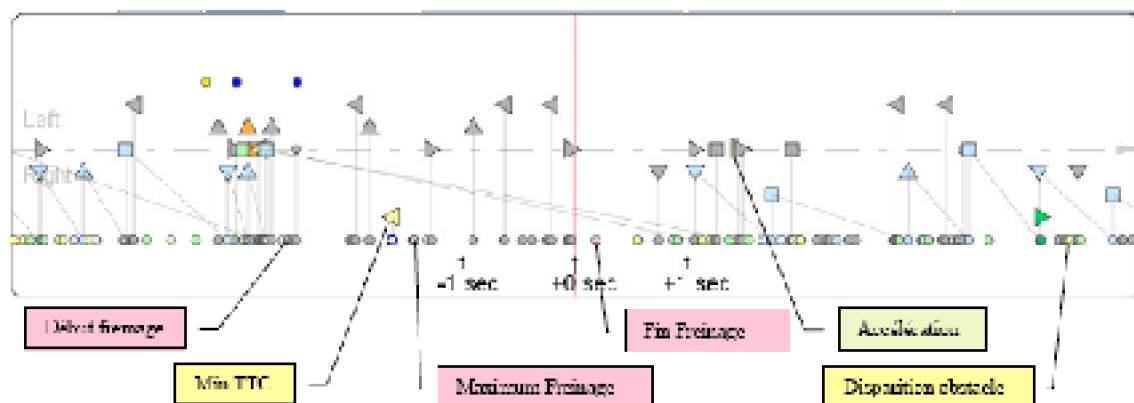


Figure 4 : S21-TC 1668.65 Fin obstacle

Annexe 9 - Figure 4 : S21-TC 1668.65 Fin obstacle

## 9.4. Qualité de la détection

Il est à noter qu'en cas de soleil de face, le système devient inopérant en raison de l'éblouissement des caméras. Les figures 6 et 7 montrent une détection d'obstacle au moment du passage à l'ombre d'un pont qui est perdue dès qu'on repasse au soleil



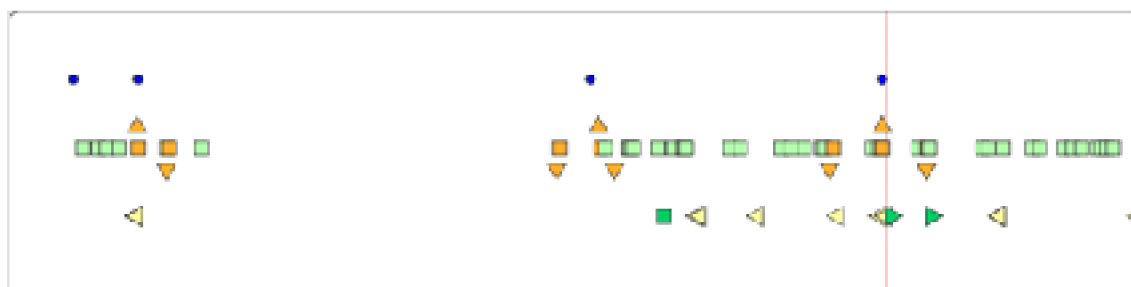


Annexe 9 - Figure 6 : S21- TC1175.16 Pont



Annexe 9 - Figure 7 : S21- 1175.64 Sortie pont

La figure 8 montre tous les « Min TTC » (triangles jaunes) observés sur la portion complète d'autoroute et voie rapide entre Lyon et Saint Exupéry pour le sujet 21 (direction aller).



Annexe 9 - Figure 8 : S21- Min TTC sur autoroute et voie rapide (aller)

Le repère cartographique carré vert vif représente la sortie autoroute A43 en direction de Saint Exupéry. Le fait qu'il n'y ait qu'une détection d'obstacle avant cette sortie s'explique par deux raisons :

- Cette portion du trajet est orientée Est et effectuée le matin avec un fort éblouissement. La seule détection correspond au passage du pont montrée à la figure 6.
- Il s'agit en grande partie d'une portion d'autoroute à 130 km/h, alors que par la suite il s'agit de voie rapide limitée à 90 km/h. A des vitesses supérieures à 110 km/h environ, les distances de suivi sont généralement au-delà de la distance de détection.

Sur le trajet retour (figure 9), il n'y a pas d'éblouissement mais les portions de trajet effectuées à plus de 110 km/h environ ne contiennent pas non plus de détection d'obstacle.



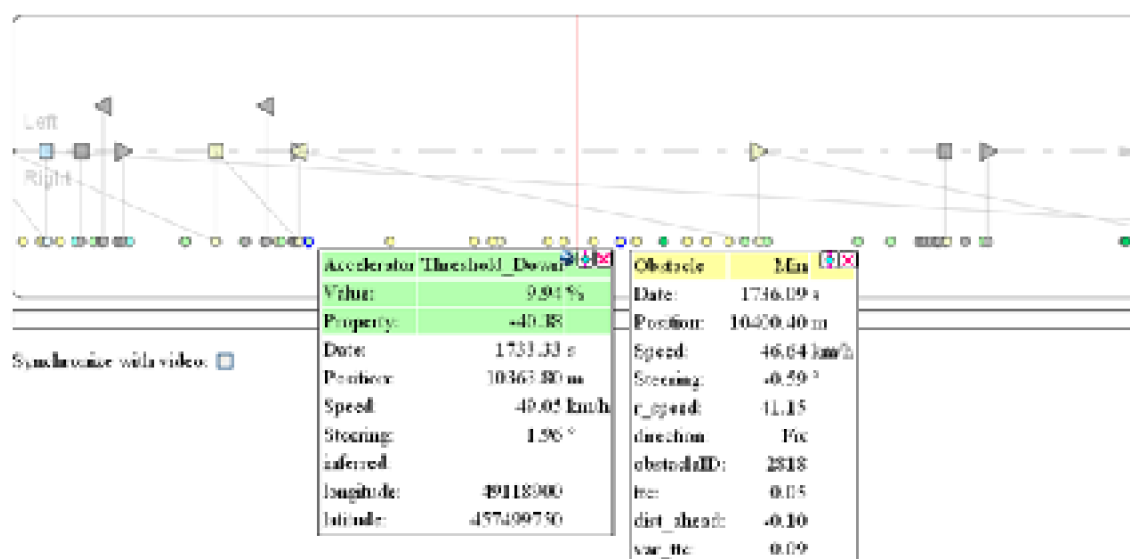
Annexe 9 - Figure 9 : S21 - Min TTC sur autoroute et voie rapide (retour)

La recherche des minimums de TTC a permis de mettre en évidence une situation de « détection de collision » due en réalité à la présence d'un journal sur la chaussée, figure 10.



Annexe 9 - Figure 10 : Sujet 33 : TC 1736.16 : Détection de collision

La figure 11 montre la trace à cet instant. Le sujet relâche le pied de l'accélérateur 3 secondes avant l'obstacle et fixe son regard vers la zone avant. Il décélère de 49 km/h à 46.6 km/h pour franchir l'obstacle, puis accélère à nouveau.



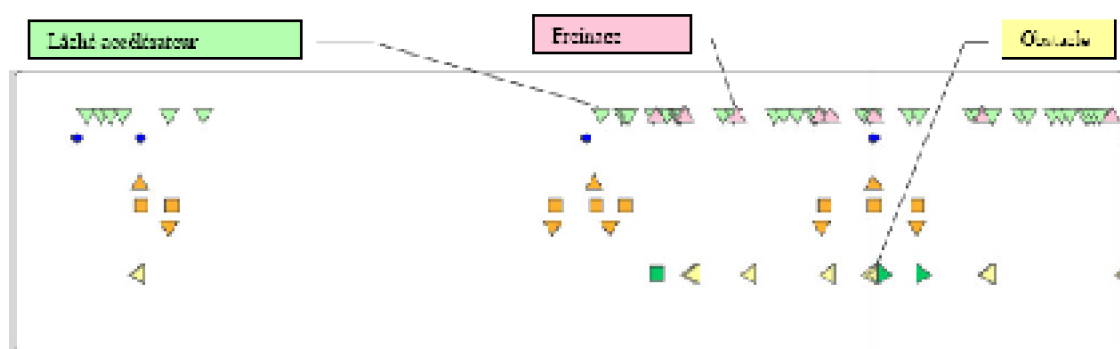
Annexe 9 - Figure 11 : Sujet 33 : TC 1736.16 : Trace

Cette situation montre qu'un système d'anti-collision qui déclencherait un freinage automatique sur la base de cette détection serait inapproprié. En revanche, nous sommes en mesure de diagnostiquer le fait que le conducteur a identifié l'obstacle plus de deux secondes avant la collision.

## Annexe 10. Analyse d'une tentative de dépassement abandonnée

### 10.1 Identification des dépassements critiques

Les dépassements sont facilement repérables dans la trace par les points bleus foncés qui indiquent le top déclenché par l'expérimentateur et par les triangles oranges vers le haut qui indiquent les clignotants à gauche. Dans la figure 1 nous avons inclus les détections d'obstacle, les relâchements de la pédale d'accélérateur et les enfoncements de la pédale de frein. Cela permet de repérer le dernier dépassement comme étant potentiellement critique car il inclut une détection d'obstacle et un freinage.



Annexe 10 - Figure 1 : S21 - Repérage de dépassements critiques sur trajet Aller

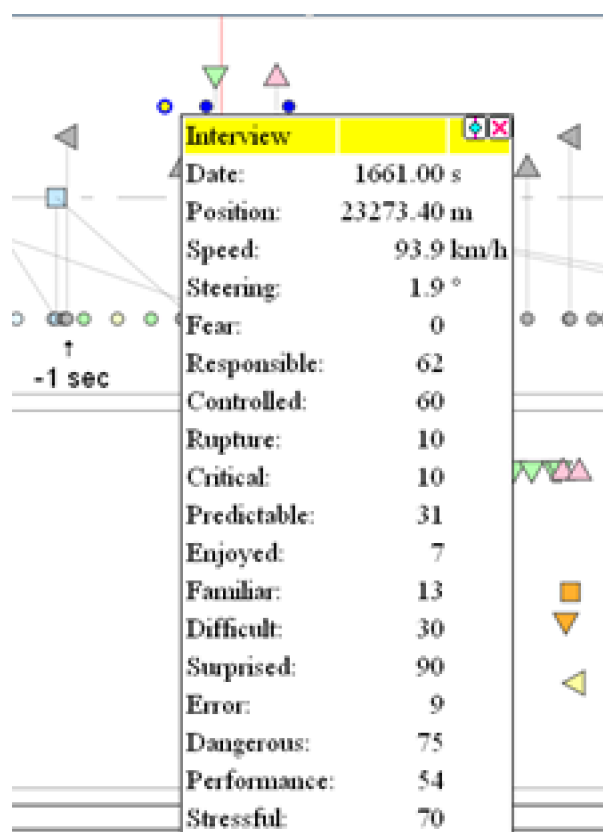
## 10.2 Analyse

La figure 2 montre la situation : le sujet tente de dépasser un camion alors qu'il est lui-même sur le point d'être doublé par un autre véhicule.

Un zoom sur la trace montre que cette situation a fait l'objet d'une évaluation subjective dans l'entretien d'auto-confrontation (figure 3). Il ressort que le sujet se déclare fortement surpris (90%) et stressé (70%) mais n'a pas eu peur (0%) et estime avoir convenablement maîtrisé (controlled : 60%, performance : 54%). Il s'agit de la seule situation rappelée spontanément par ce sujet, à la plus haute évaluation de surprise, et à la deuxième situation la plus stressante.



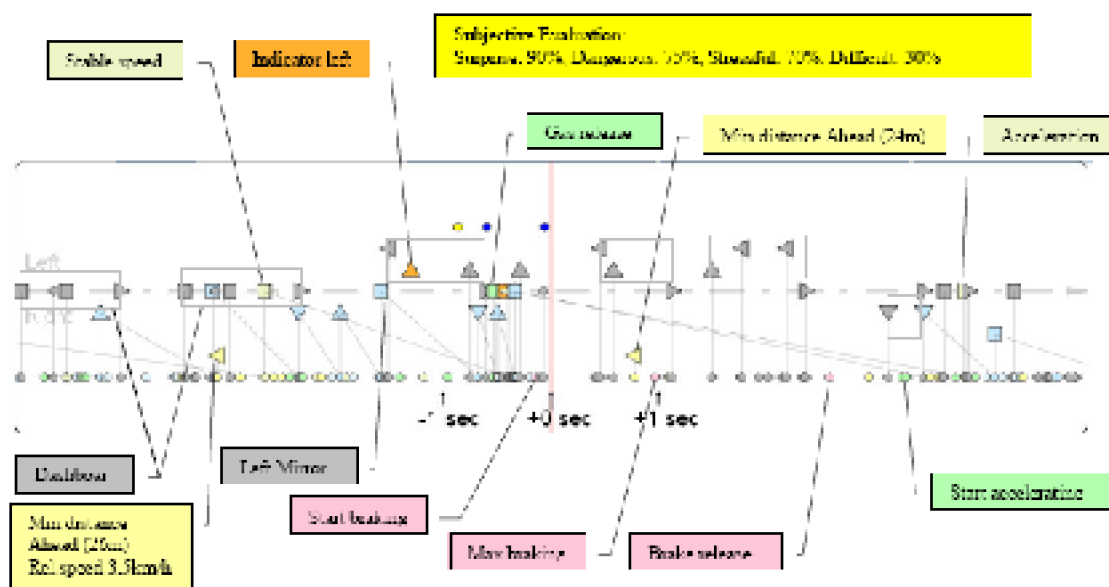
Annexe 10 - Figure 2 : S21- TC1661 – Vidéo



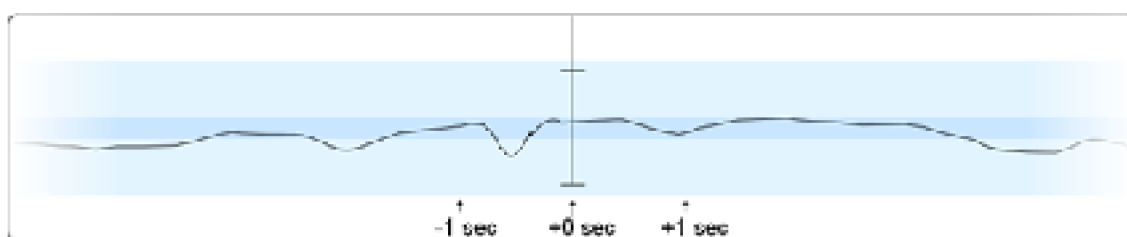
Annexe 10 - Figure 3 : S21 - TC1661 - Evaluation subjective

La figure 4 montre le détail de la trace. On voit plusieurs regards vers le compteur de vitesse (dashboard) dans les secondes qui précèdent la tentative de dépassement. Le conducteur stabilise sa vitesse à une valeur relative par rapport à l'obstacle de 3.5 km/h ce qui montre qu'il a déjà l'intention de dépasser.

Le fait qu'il soit occupé à contrôler sa vitesse peut expliquer que le sujet n'ait pas vu venir le véhicule de derrière. Il contrôle son rétroviseur gauche pratiquement au même moment qu'il met son clignotant pour doubler, c'est là qu'il voit le véhicule en train de le dépasser par la gauche. Il rabat immédiatement son clignotant, lâche la pédale d'accélérateur et engage un freinage. La distance avec le véhicule de devant se réduit à 24m ce qui est encore sécuritaire et peut expliquer que le sujet n'ait pas eu peur. Ensuite il contrôle à nouveau son rétroviseur gauche, puis central, et recommence à accélérer pour engager une nouvelle procédure de dépassement.



Annexe 10 - Figure 4 : S21 - TC1661 - Dépassement critique

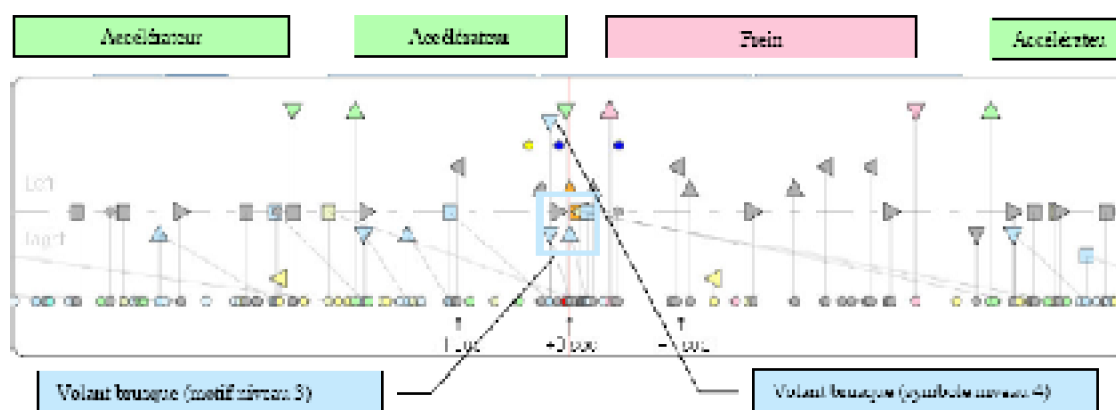


Annexe 10 - Figure 5 : S21- TC 1661 - Mouvements du Volant

La figure 5 montre la courbe de l'angle volant sur cette séquence. Il est globalement décalé vers le bas car la route est en léger virage à droite à cet endroit. Les événements volants (en bleu sur la figure 4) ne présentent donc pas le motif typique d'un dépassement, ils nécessiteraient d'être corrigés en fonction de l'information cartographique de la courbure de la route. On peut tout de même voir le pic de volant vers la droite qui correspond à la manœuvre d'évitement de la voiture de la voie de gauche.

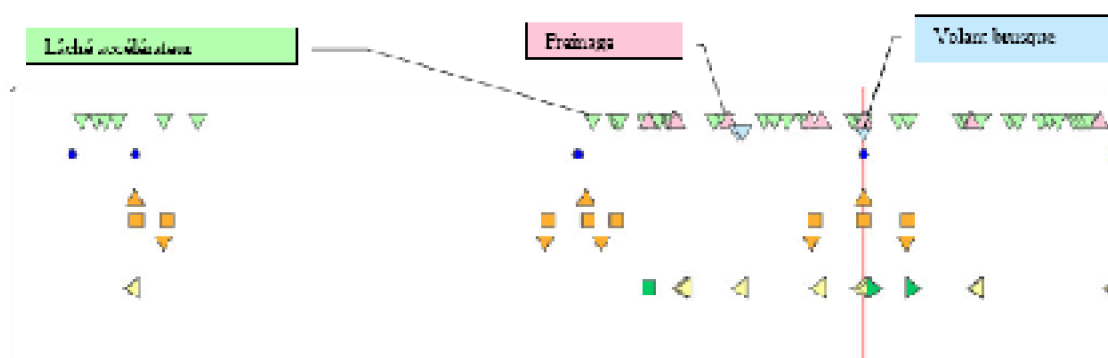
### 10.3 Capitalisation de l'expertise d'analyse

Dans cet exemple les informations les plus pertinentes qui indiquent la criticité de la situation sont le freinage et le mouvement brusque du volant. Nous avons donc réalisé des inférences de niveau 3 pour les mettre en évidence (figure 6). Pour le freinage nous nous basons simplement sur le franchissement de seuil de la pédale de frein, et pour le volant nous nous basons sur le franchissement de seuil de l'angle volant quand la vitesse de variation dépasse 16 degrés par seconde.



Annexe 10 - Figure 6 : S21 - TC 1661 - Zone Accélérateur et zone frein

La figure 7 montre la présence de ces événements sur tout le parcours allé.



Annexe 10 - Figure 7 : S21 - Parcours allé - Accélérateur, frein, volant brusque

Cette figure montre que des événements « volant brusque » apparaissent à d'autres endroits dans le parcours mais on constate qu'il s'agit du passage du péage de l'autoroute. Pour ne mettre en évidence que les indicateurs de surprise nous ajoutons une condition : vitesse supérieure à 80 km/h. Cette condition reste à valider ou à affiner en fonction d'observations ultérieures. Si nécessaire elle pourra être complétée par une condition sur la durée du coup de volant ou l'angle maximum.

## Annexe 11. Recherche de prédicteurs de changements de voie

### 11.1. Identification des situations nécessitant un changement de voie

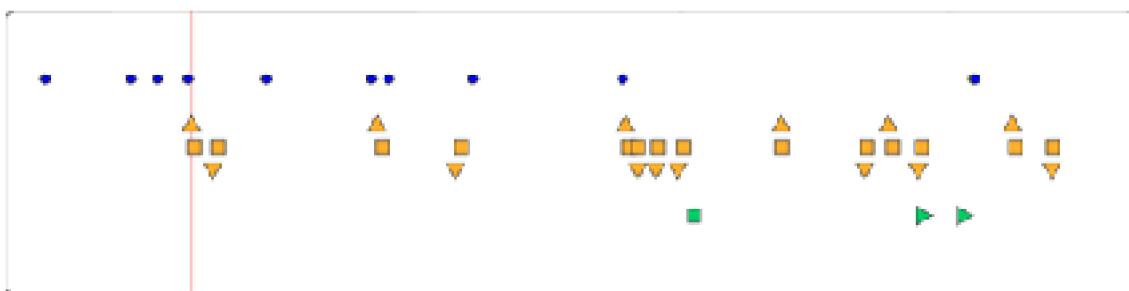
En principe les changements de voie vers la gauche sur autoroute ou voie rapide n'ont lieu que si le conducteur se trouve dans une situation nécessitant un dépassement, c'est-à-dire une situation où il est gêné par un véhicule devant lui. Ces situations peuvent se résoudre soit par le dépassement effectif, soit par la disparition de la gêne parce que le

véhicule gênant accélère ou se rabat vers une voie plus à droite ou vers une sortie d'autoroute.

Nous ne sommes pas en mesure de diagnostiquer automatiquement ces situations car dans la plupart des cas le véhicule gênant est hors de portée du télémètre. C'est pour cette raison qu'un expérimentateur présent dans le véhicule est chargé de les signaler dès qu'il les diagnostique en pressant sur un bouton. Ce « top » dans la trace représente ce que nous appelons l'apparition d'un « motif de dépassement ». Nous ne disposons pas dans la trace de l'information de disparition de ce motif de dépassement.

L'information de dépassement effectif pourra être obtenue à partir de l'image vidéo de la voie, lorsque la roue avant gauche du véhicule croise la ligne pointillée. Cette information pourra être extraite de la vidéo soit par dépouillement manuel, soit par traitement automatique.

Pour l'instant nous faisons l'hypothèse que l'information de « clignotant à gauche » est un bon indicateur de la prise de décision de dépasser. Nous faisons également l'hypothèse que si sa durée est suffisamment longue, nous pouvons considérer que le dépassement n'a pas été abandonné et qu'il a bien eu lieu.



*Annexe 11 - Figure 1 : S15 - Trajet aller Lyon- Saint Exupéry*


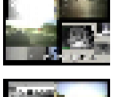
La figure 1 montre la trace du trajet aller entre Lyon et Saint Exupéry. Les points bleus indiquent les motifs de dépassement et les triangles orange vers le haut indiquent les clignotants à gauche. Les conjonctions de ces deux événements fournissent donc un repérage des situations de dépassement qui doit être confirmé avec la vidéo.

### 11.2. Analyse des dépassements et changements de voie

---

Le tableau 1 présente l'analyse des 10 motifs de dépassement visualisés à la figure 1. Les images vidéo correspondent au Time Code exact ou l'expérimentateur a enregistré le motif.



	<p>Image 1: A 2x2 grid of small images showing various scenes, possibly related to a traffic analysis.</p>
	<p>Image 2: A 2x2 grid of small images showing various scenes, possibly related to a traffic analysis.</p>
	<p>Image 3: A 2x2 grid of small images showing various scenes, possibly related to a traffic analysis.</p>
	<p>Image 4: A 2x2 grid of small images showing various scenes, possibly related to a traffic analysis.</p>
	<p>Image 5: A 2x2 grid of small images showing various scenes, possibly related to a traffic analysis.</p>
	<p>Image 6: A 2x2 grid of small images showing various scenes, possibly related to a traffic analysis.</p>
	<p>Image 7: A 2x2 grid of small images showing various scenes, possibly related to a traffic analysis.</p>
	<p>Image 8: A 2x2 grid of small images showing various scenes, possibly related to a traffic analysis.</p>
	<p>Image 9: A 2x2 grid of small images showing various scenes, possibly related to a traffic analysis.</p>
	<p>Image 10: A 2x2 grid of small images showing various scenes, possibly related to a traffic analysis.</p>
	<p>Image 11: A 2x2 grid of small images showing various scenes, possibly related to a traffic analysis.</p>

Annexe 11 - Tableau 1 : Sujet 15 - Analyse des dépassements

Par ailleurs, il y a deux clignotants à gauche dans la figure 1 qui ne correspondent à aucun motif signalé. Ils sont expliqués dans le tableau 2.

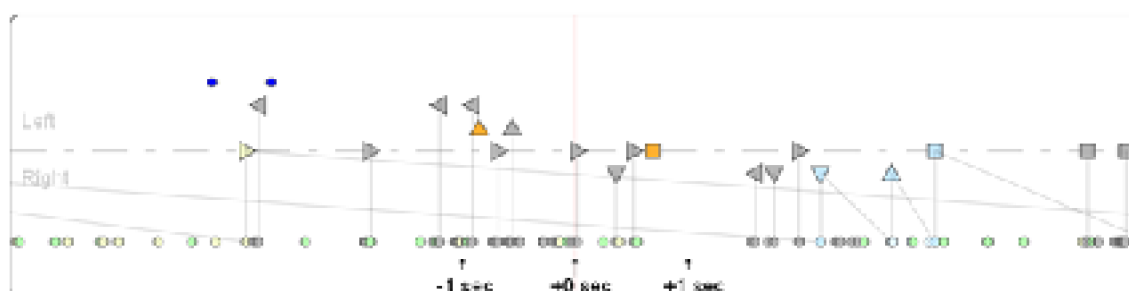
	<p>Vitesse 48 km/h. Il s'agit en réalité du choix de la voie de péage à la sortie de l'A43.</p>
	<p>Vitesse 107 km/h. La voie 1 où est le sujet ressemble à un début de bretelle de sortie en raison des pointillés longs. Le sujet choisit de prendre la voie 2. Il réalise donc un changement de voie vers la gauche qui n'est pas un dépassement.</p>

*Annexe 11 - Tableau 2 : S15 - Clignotants à gauche sans motif de dépassement*

Par ailleurs on ne constate aucun changement de voie vers la gauche sur ce trajet qui ne soit pas signalé par le clignotant.

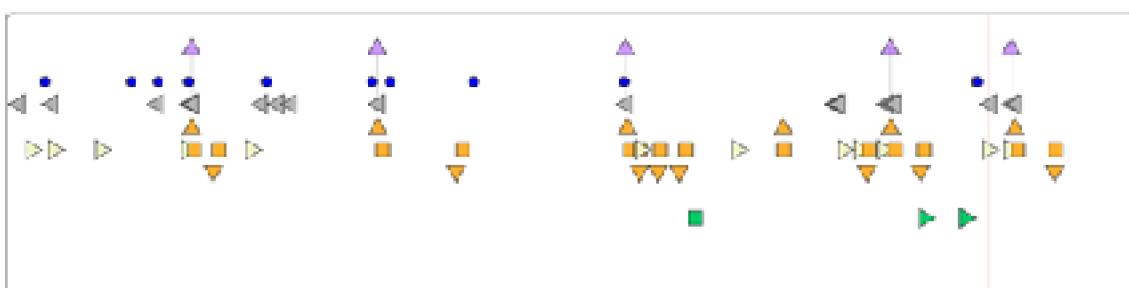
### 11.3. Détermination de prédicteurs de dépassement

L'examen des traces pour tous les changements de voie montre que l'allumage du clignotant gauche est toujours précédé d'une vérification du rétroviseur gauche. La figure 2 montre à titre d'exemple la trace du premier changement de voie.



Annexe 11 - Figure 2 : S15 - TC 1221 - Changement de voie

Pour vérifier que tous les clignotants gauches sont bien précédés d'un regard vers le rétroviseur gauche on génère un marqueur violet avec la règle : « pour chaque clignotant gauche s'il y a au moins un regard dans le rétroviseur gauche dans les 3 secondes qui le précèdent ».

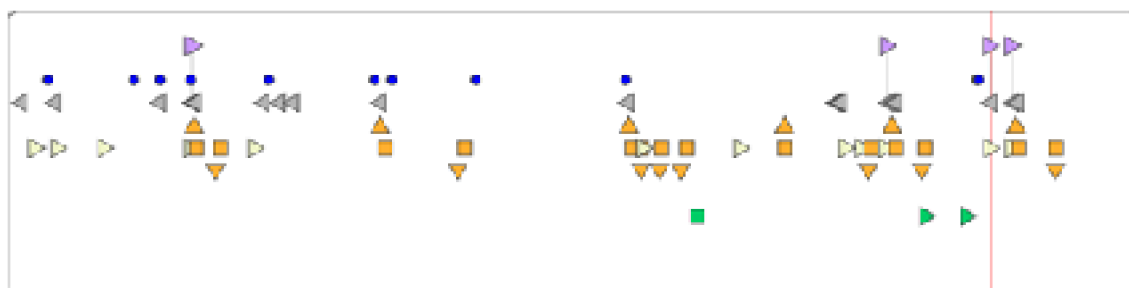


Annexe 11 - Figure 3 : S15 - Marqueurs de clignotants gauches précédés par regards rétroviseur gauche

La figure 3 montre que pour tous les dépassements, le clignotant est précédé du regard, le seul cas où il ne l'est pas est le cas du péage. Elle montre également qu'il existe de nombreux regards dans le rétroviseur gauche (triangles gris) qui ne sont pas suivis par un changement de voie. Il apparaît que les regards vers le rétroviseur gauche sont davantage liés aux motifs de dépassement qu'aux dépassements eux même. Ces regards ne constituent donc pas en eux même un prédicteur de dépassement.

L'examen des situations de dépassement montre également que de nombreux dépassements font l'objet d'une accélération pour dépasser le véhicule lent (triangles jaunes pâles sur les figures 2 et 3). On peut donc imaginer que la conjonction entre regard et accélération puisse constituer un meilleur indicateur de la décision de dépasser.

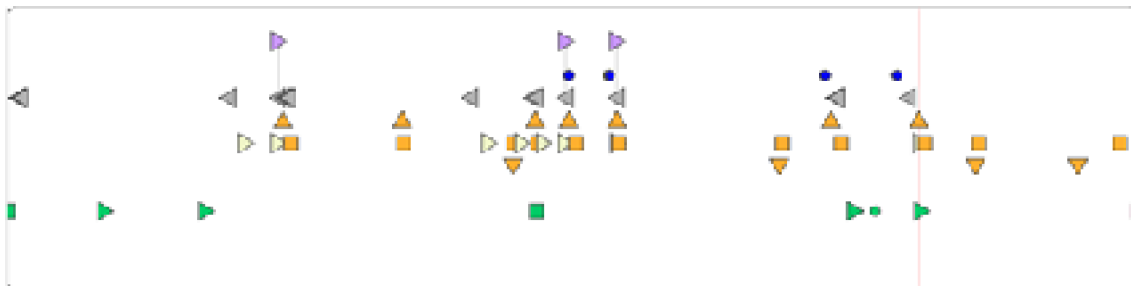
La figure 4 montre les marqueurs (triangles violets) inférés à partir de la règle : « accélération avec présence d'un regard vers le rétroviseur gauche dans une fourchette de plus ou moins deux secondes ».



*Annexe 11 - Figure 4 : S15 - Marqueur de conjonction rétroviseur gauche et accélération*

Cette figure montre que trois des cinq changements de voie sont convenablement prédits avec ce marqueur, et qu'il existe une fausse prédiction dans le cas du dernier dépassement : le marqueur est généré une première fois (emplacement du curseur rouge sur la figure 4) avant d'être généré une seconde fois pour le changement de voie effectif.

La figure 5 montre l'application de cette règle sur le trajet retour

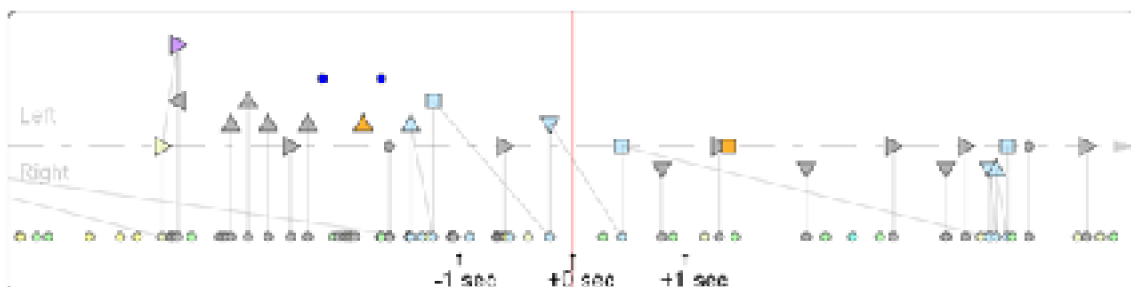


*Annexe 11 - Figure 5 : S15 - Marqueur de conjonction rétroviseur gauche et accélération - Trajet retour*

Sur le trajet retour, cette règle prédit 3 des 6 changements de voies et ne génère aucune fausse prédiction.

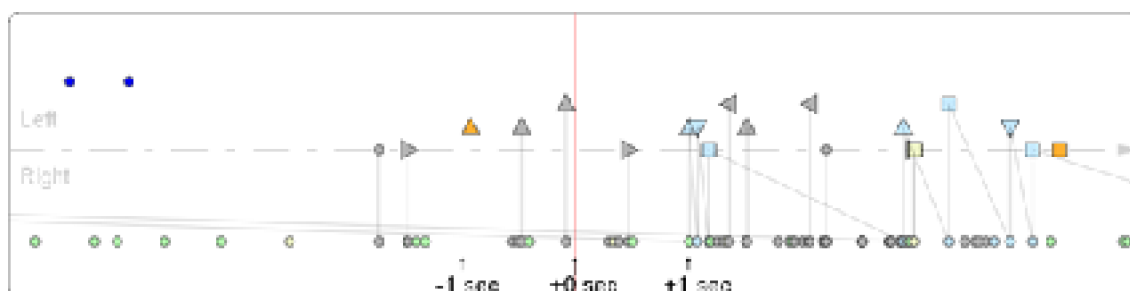
### 11.4. Catégorisation des changements de voie

La figure 6 montre un schéma typique de « dépassement avec accélération » où la prédiction a pu être réalisée 1,5 secondes avant l'allumage du clignotant.



*Annexe 11 - Figure 6 : S15 - TC 2289 - Schéma typique de changement de voie avec accélération*

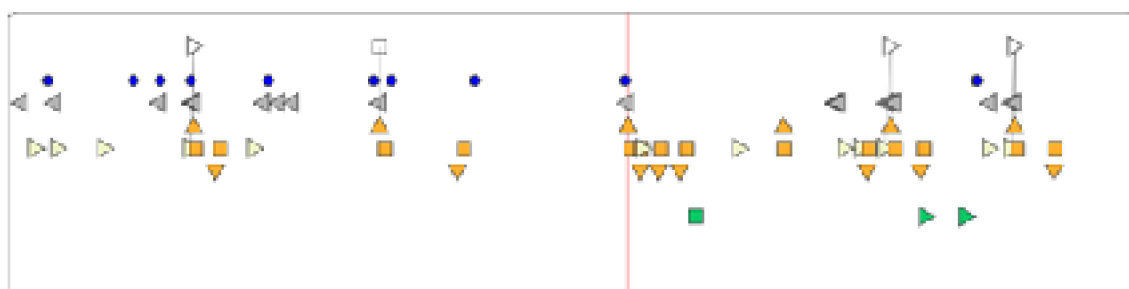
La figure 7 montre un schéma typique de « dépassement sans accélération ». Le clignotant est allumé beaucoup plus longtemps (5,2s au lieu de 3.2s à la figure 6). En réalité dans ce schéma le clignotant est allumé par anticipation, avant la vérification dans le rétroviseur et la rotation du volant. Dans ce cas le clignotant constitue donc le meilleur prédicteur du dépassement. Il est allumé 2 secondes avant le premier mouvement du volant (triangles bleus).



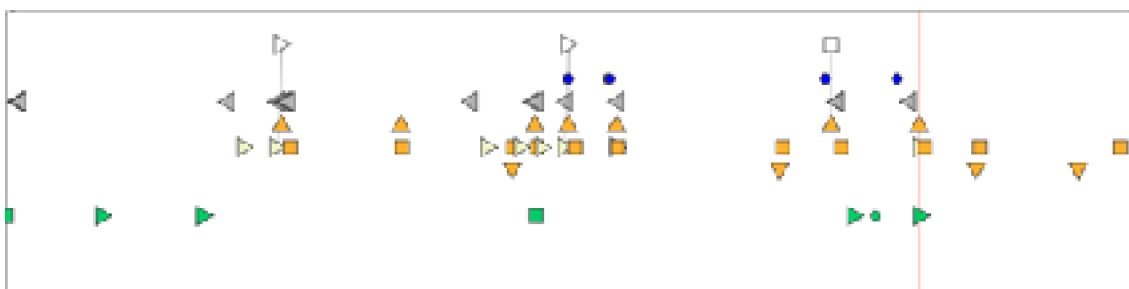
Annexe 11 - Figure 7 : S15 - TC 2426 - Schéma typique de changement de voie sans accélération

Les figures 8 et 9 montrent ces deux types de changements de voie sur les trajets allé et retour.

- Les changements de voie avec accélération (triangles blancs) inférés par la règle : « clignotant d'une durée inférieure à 4s avec une accélération dans les 4s précédentes.
- Les changements de voie avec vitesse stable (carrés blancs) inférés par la règle : « clignotants d'une durée supérieure à 3.5s sans accélération dans les 4s précédentes.



Annexe 11 - Figure 8 : S15 - Trajet aller - Catégorisation des changements de voie



Annexe 11 - Figure 9 : S15 - Trajet retour - Catégorisation des changements de voie

Ces figures montrent que 7 des 11 changements de voies ont pu être catégorisés par ces règles. Les 4 cas restant nécessitent une analyse plus poussée. Il s'agit souvent de cas où le sujet met son clignotant alors qu'il est en phase de décélération devant l'obstacle et réalise un dépassement rapide (clignotant court), pour n'accélérer qu'une fois qu'il est sur la voie de gauche. Dans ces cas de figure on ne dispose pas d'élément permettant de prévoir le moment précis où il va réaliser le dépassement, s'il le réalise.

L'analyse des changements de voie du sujet 15 montre des situations très variées.

L'exploration de ces différentes situations a conduit à définir deux types de schémas de dépassement différents. La découverte de ces schémas est le fruit de notre compréhension des données. Elle n'aurait pas pu être obtenue par un algorithme de catégorisation automatique car celui-ci n'aurait pas su quelle importance donner à chaque critère. Cette catégorisation nous permet de proposer des prédicteurs différents pour chacun de ces schémas. Au total cette méthode nous permet de prédire 7 des 11 changements de voie.

Les marqueurs d'accélération utilisés sont des marqueurs génériques obtenus à partir des données de vitesse. Il est probable que des marqueurs plus précis obtenus avec les données de pédale d'accélérateur puissent donner de meilleurs résultats. Le sujet 15 a été choisi pour cette analyse car ses données oculométriques sont de bonne qualité. Les schémas obtenus et leurs prédicteurs demandent d'être validés statistiquement avec d'autres sujets.