



HAL
open science

Méthodologie d'exploitation de données non temporelles et temporelles issues d'une étude sur le système conducteur-vehicule-environnement (SCVE)

Delphine Dubart

► **To cite this version:**

Delphine Dubart. Méthodologie d'exploitation de données non temporelles et temporelles issues d'une étude sur le système conducteur-vehicule-environnement (SCVE). Automatique. Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 2009. Français. NNT : 2009VALE0024 . tel-03046076

HAL Id: tel-03046076

<https://uphf.hal.science/tel-03046076v1>

Submitted on 8 Dec 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



UNIVERSITÉ DE VALENCIENNES
ET DU HAINAUT-CAMBRÉSIS

THÈSE DE DOCTORAT

Spécialité
Automatique et informatique des systèmes industriels et humains

Présentée par

Delphine DUBART

Soutenue le 21 octobre 2009
Pour l'obtention du
GRADE DE DOCTEUR

**METHODOLOGIE D'EXPLOITATION DE DONNEES NON-TEMPORELLES ET
TEMPORELLES ISSUES D'UNE ETUDE SUR LE SYSTEME CONDUCTEUR-
VEHICULE-ENVIRONNEMENT (SCVE) : APPLICATION A LA SITUATION DE SUIVI**

Composition du jury :

S. GENTIL	Rapporteur
P. LOSLEVER	Directeur de thèse
M. MOESSINGER	Examinateur
J.-C. POPIEUL	Co-directeur de thèse
A. PRUSKI	Rapporteur
F. VANDERHAEGEN	Président

1

2

3

4

5

6

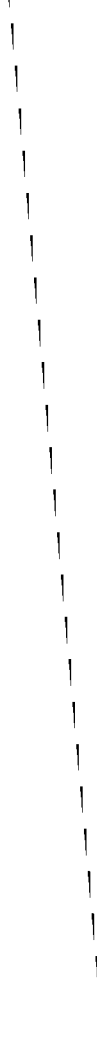
7

8

9

10

11



« Les questions auxquelles on répond par oui ou par non sont rarement intéressantes. »

Julien Green

GLOSSAIRE

ABS	Anti-lock Braking System (Système antiblocage des freins)
ACC	Adaptive Cruise Control (régulateur de vitesse adaptatif)
ACM	Analyse en Correspondances Multiples
ACP	Analyse en Composantes Principales
ADAS	Adaptive Driving Assistance System
ADEME	Agence De l'Environnement Et de la Maîtrise de l'Energie
AFD	Analyse Factorielle Discriminante
AFIL	Alerte de Franchissement Involontaire de File
AFU	Aide au Freinage d'Urgence
AIDE	Adaptative Integrated Driver-vehicle interface
ANOVA	Analyse de la variance
ANVAR	Agence nationale de valorisation de la recherche
ARIMA	Autoregressive integrated moving average
Attention divisée	Aptitude à diviser ses ressources attentionnelles entre 2 tâches

Attribution causale	(Locus of control) Attribut de la personnalité reflétant le degré avec lequel une personne perçoit les événements comme étant sous son contrôle (lieu du contrôle interne), ou sous le contrôle d'autrui ou de forces extérieures (lieu du contrôle externe)
Auto-confrontation	Technique qui consiste à « revoir » (visionner et discuter) certaines situations enregistrées en conduite, après l'expérimentation afin d'obtenir de la part du conducteur des précisions en verbalisation et/ou d'examiner des situations critiques et/ou particulières
Blind Spots	Système d'information sur les angles morts
BLIS	Blind Spot Information System
CAH	Classification Ascendante Hiérarchique
CAN	Controller Area Network : contrôleur de communication en temps réel entre les unités électroniques embarquées à bord de véhicules
CC	Cruise Control
CCPPRB	Comités Consultatifs de Protection des Personnes qui se prêtent à une Recherche Biomédicale. La nouvelle appellation est CCP ou comité de protection des personnes
Conscience	Compétence, ordre, sens du devoir, recherche de réussite, autodiscipline, délibération
Coping	Stratégie d'adaptation
C-V-E	Conducteur – Véhicule - Environnement
DBQ	Driver Behavior Questionnaire
DNT	Données non-temporelles
Dh	Découpage spatial basé sur l'étude de l'histogramme
De	Découpage spatial basé sur des données externes
DT	Données temporelles
E	Une lettre double désigne un ensemble de données
E	Une lettre capitale indique la taille de l'ensemble
E_i	Un indice indique le label du jeu de données
E^a	Un exposant indique le label de la transformation
ESP	Electronic Stability Program (Système de correction de trajectoire)
Estime de soi	Sentiment plus ou moins favorable que chaque individu éprouve à l'égard de lui-même, la considération et le respect qu'il se porte, le sentiment qu'il se fait de sa propre valeur en tant que personne.
Extraversion	Sociable, chaleureux, confiant, expressif, actif et recherche de sensations fortes
FESTA	Field operational test support action
Flexibilité	Capacité à alterner entre des tâches multiples, des opérations ou des ensembles mentaux

FOT	Field Operational Test
FS	Fenêtre spatiale
FSg	Fenêtrage Spatial Global
FSl	Fenêtrage Spatial Local
FT	Fenêtre Temporelle
GPS	Global Position System (navigateur)
Inhibition	Processus de suppression délibérée des réponses dominantes, automatiques ou antérieures
i	Facteur « individu »
ISA	Intelligent Speed Adaptation
ITS	Intelligent Transport System
IVIS	In-vehicle Information Systems
j	Facteur « âge »
k	Facteur « sexe »
l	Facteur « infrastructure »
LAB	Laboratoire d'Accidentologie, de Biomécanique et d'études du comportement humain
Lavia	Limiteur de vitesse s'adaptant à la vitesse autorisée
LV	Limiteur de Vitesse
m	Facteur « Moment de la journée »
Mémoire de travail	Système à capacité limitée qui gère à la fois des activités de traitement et des activités de stockage de l'information
Mise à jour	Capacité à mettre à jour les informations maintenues en mémoire de travail
MFMV	Multifactoriel et multivarié
n	Facteur « conditions météorologiques »
NAVTEQ	Principal fournisseur mondial de données cartographiques numériques
NASA-TLX	Questionnaire d'auto-évaluation de la charge mentale et physique
NeoPI	Inventaire de personnalité permettant de mesurer les 5 dimensions principales de la personnalité
Névrosisme	Anxieux, dépressif, vulnérable, hostile, impulsif, faible estime de soi
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration
o	Facteur « trafic »
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Economiques
ONISR	Observatoire National Interministériel de Sécurité Routière

p	Facteur « situation de suivi par individu »
PCRD	Programme Cadre de Recherche et de Développement
PREDIT	Programme pour la recherche, le développement et l'innovation dans les transports terrestres
Recherche de sensations	Besoin d'expériences et de sensations variées, nouvelles et complexes et la volonté de s'engager dans des activités physiques et sociales risquées, expériences recherchées pour elles-mêmes
RV	Régulateur de Vitesse
SADT	Structured Analysis and Design Technic
SGBD	Système de Gestion des Bases de Données
Stop&Go	Régulation de la vitesse de suivi voir arrêt complet du véhicule
t	Facteur « temps »
TIV	Temps intervéhiculaire
Type A	Les personnes avec un comportement de type A expriment une forte hostilité, de l'ambition, de la compétitivité, de l'agressivité, de l'impatience et un sentiment d'urgence temporelle
<i>U</i>	Variables d'entrée ou facteur
Uc	Nombre de variables contrôlées mais non manipulées
Um	Nombre de variables contrôlées et manipulées
Un	Nombre de variables non-contrôlées.
<i>V</i>	Variables de sortie
V1	Variables non temporelles
V2	Variables temporelles
VA	Variables de l'analyse
VBA	Visual Basic for Applications
VM	Variables mesurées
Verbalisation	Technique de recueil de la « pensée à voix haute » et de relances appropriées pour favoriser « la pensée à voix haute »
X	Une lettre en caractère gras désigne un vecteur ou une matrice
WAIS	Echelle d'intelligence de Wechsler

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	9
1. PROBLEMATIQUE	9
2. OBJECTIFS	10
3. PLAN	11
I. ETAT DE L'ART	13
1. INTRODUCTION	13
2. POSITIONNEMENT DE LA RECHERCHE PAR RAPPORT AUX AUTRES TRAVAUX DU LAB	13
3. CONDUITE AUTOMOBILE ET SECURITE	15
3.1. <i>Caractéristiques générales de la conduite automobile</i>	15
3.2. <i>Historique de la sécurité routière</i>	16
3.3. <i>Les systèmes d'aide pour l'amélioration de la sécurité</i>	17
3.4. <i>Les grands programmes de recherche</i>	22
3.5. <i>Conclusion</i>	25
4. PROFIL PSYCHOLOGIQUE ET CONDUITE	25
4.1. <i>Cognition et conduite</i>	26
4.2. <i>Personnalité et conduite</i>	27
4.3. <i>Conclusion</i>	29
5. LA SITUATION DE SUIVI	30
5.1. <i>Caractérisation de la situation de suivi</i>	30
5.2. <i>Modélisation du suivi</i>	31
5.3. <i>Facteurs qui influencent la gestion de la situation de suivi</i>	32
6. CONCLUSION	34
II. OBTENTION ET ANALYSES DES DONNEES	35
1. METHODES DE PLANIFICATION D'UNE ETUDE	36
1.1. <i>Méthode des plans d'observation</i>	36
1.2. <i>Méthode des plans d'expérience</i>	36
2. METHODES DE RECUEIL DE DONNEES	38
2.1. <i>Méthodes produisant des données non-temporelles</i>	38
2.2. <i>Méthodes produisant des données temporelles</i>	39
3. METHODES D'EXPLOITATION DES DONNEES	41
3.1. <i>Méthodes inférentielles</i>	42
3.2. <i>Méthodes issues de l'automatique et de l'analyse des séries temporelles</i>	43
3.3. <i>Méthodes multidimensionnelles préservant l'aspect multifactoriel et multivarié</i>	44
3.4. <i>Synthèse</i>	45
4. ANALYSE VIA UNE SUITE DE CHEMINS DE PLUS EN PLUS SPECIFIQUES	45
4.1. <i>Les étapes de base d'un chemin</i>	45
4.2. <i>Exemples de chemins en vue de l'analyse de données temporelles et de données non-temporelles</i>	49
4.3. <i>Chemin associant une analyse descriptive et une analyse inférentielle</i>	52

5. CONCLUSION	53
III. EXPERIMENTATION	55
1. INTRODUCTION	55
2. MISE EN PLACE DE L'EXPERIMENTATION	56
2.1. Environnement	56
2.2. Participants	58
2.3. Véhicule	59
3. PROTOCOLE EXPERIMENTAL	61
3.1. Protocole	61
3.2. Mesures	63
4. PRE-TRAITEMENT DES DONNEES	66
4.1. Récupération des signaux	66
4.2. Filtrage	66
4.3. Vérification	67
4.4. Détermination des situations de conduite à étudier	67
4.5. Sélection de l'outil d'exploitation informatique et statistique des données	68
5. CONCLUSION	69
IV. ANALYSES DES DONNEES PSYCHOPHYSIOLOGIQUES ET DES SIGNAUX DE CONDUITE	71
1. ANALYSE DES DONNEES NON-TEMPORELLES	71
1.1. Caractérisation	72
1.2. Codage	73
1.3. Mise en forme des tableaux	73
1.4. Exploitation du tableau de données	74
1.5. Présentations des résultats avec des graphiques explicites et des modèles verbaux	83
2. ANALYSE DES DONNEES TEMPORELLES	86
2.1. Analyse de la situation de suivi	87
2.2. Analyse du tableau des individus en fonction de l'infrastructure	97
3. MISE EN RELATION DES DONNEES TEMPORELLES ET DES DONNEES NON-TEMPORELLES	101
3.1. Caractérisation	101
3.2. Codage	101
3.3. Mise en forme des tableaux	102
3.4. Exploitation du tableau de données	103
3.5. Présentation des résultats	103
4. CONCLUSION	103
V. BILAN ET PERSPECTIVES	105
1. BILAN	105
1.1. Rappel des objectifs	105
1.2. Rappel de la méthode utilisée	106
2. DISCUSSION	107
2.1. Expérimentation	107
2.2. Approche statistique	108
2.3. Résultats expérimentaux	111
3. PERSPECTIVES	114
4. CONCLUSION	119
CONCLUSION GENERALE.....	121
BIBLIOGRAPHIE	125
ANNEXES.....	133
1. LISTE DES PUBLICATIONS	134
2. EVALUATION PSYCHOLOGIQUE	135
3. DESCRIPTION DES PLANS DE L'ACM	168

REMERCIEMENTS

Ce mémoire est une présentation de mes travaux de recherche commencés au sein du Laboratoire d'Accidentologie, de Biomécanique et d'études du comportement humain PSA Peugeot-Citroën – Renault (LAB) jusqu'en juillet 2008 et terminées au sein du département Ergonomie, Perception sensorielle et Facteur humain chez Renault dans le cadre d'une convention CIFRE entre le Laboratoire d'Automatique, de Mécanique et d'Informatique Industrielles et Humaines (LAMIH) et Renault. Trois années durant lesquelles j'ai pu côtoyer beaucoup d'amis, de collègues et de professeurs qui ont collaboré de près ou de loin à ce travail de recherche.

En tout premier lieu, mes remerciements s'adressent à mon directeur de thèse le Professeur Pierre Loslever pour ses conseils, son esprit critique, sa rigueur et ses compétences.

J'adresse mes plus vifs remerciements à mes deux responsables successifs au LAB puis chez Renault : Mohamed Kassaagi et Michèle Moessinger pour m'avoir encadrée et m'avoir accordé leur confiance.

Merci également au Professeur Jean-Christophe Popieul pour m'avoir conseillée durant ces trois années de thèse et pour la relecture de ce mémoire.

Mes plus sincères remerciements s'adressent à Yves Page, ancien directeur adjoint du Lab, pour le temps qu'il m'a accordé pour guider ma pensée. Merci également à Yves Tessier, ancien responsable du Département Ergonomie, Perception et Facteur Humain chez Renault pour m'avoir accueillie dans son département. Je remercie aussi Anne Guillaume, actuelle directrice du Lab et Xavier Chalandon, responsable du Département Ergonomie, Perception et Facteur Humain chez Renault pour l'intérêt qu'ils ont porté à mes travaux de recherche.

Je voudrais également remercier le directeur du LAMIH, le Professeur Frédéric Vanderhaegen pour m'avoir accueillie dans son laboratoire.

Mes plus vifs remerciements aux Professeurs Sylviane Gentil et Alain Pruski pour m'avoir fait l'honneur de rapporter les résultats de mes travaux.

Je désire exprimer ma reconnaissance envers le personnel du LAB et du CEESAR qui ont collaboré à ma recherche. Je remercie tout particulièrement Emmanuelle, Julien, François, Jean-Marc, Lionel, Clément, Jean-François et Maëlle.

Je tiens également à remercier toutes les personnes du LAB et du CEESAR qui ont rendu mon expérience « Rue des Suisses » particulièrement agréable.

Merci à toutes les personnes que j'ai côtoyées chez Renault et plus particulièrement Annie, Baptiste, Chloé, Claire, Georges, Guillaume, Jean-Philippe, Léa, Leslie, Martine, Myriam, Sabine, Séverine ...

Je remercie également toutes les personnes avec qui j'ai partagé de bons moments lors mes séjours à Valenciennes : Karine, Bako, Jean-Marc, Jérôme, Ludovic, Philippe...

INTRODUCTION

1. PROBLEMATIQUE

Au cours des quinze dernières années, de nombreux changements sont intervenus dans le domaine de l'industrie automobile. Les constructeurs développent de plus en plus de systèmes de confort pour permettre aux conducteurs de maîtriser le choix de leurs vitesses et le maintien de leurs distances de sécurité. Ces systèmes peuvent se révéler utiles pour la sécurité routière. En effet, une baisse de 1km/h de la vitesse réduit de 4% la mortalité. Les chiffres fournis par l'ONISR en 2006 relatifs aux habitudes et comportements des conducteurs montrent que les conducteurs roulent encore relativement vite (17% des conducteurs dépassent de plus de 10km/h la limitation autorisée) et ne respectent pas les distances de sécurité. En effet, 56,4% des conducteurs ont des interdistances inférieures aux 2 secondes réglementaires en cas de circulation dense et 12% des conducteurs pratiquent des temps intervéhiculaires inférieurs à 1s, valeur pour laquelle la situation est considérée comme dangereuse. C'est pourquoi, pour limiter le nombre de situations à risques et aider les conducteurs dans leur tâche de régulation longitudinale, les constructeurs équipent de plus en plus leurs véhicules de systèmes d'assistance à la conduite.

La conception et la spécification de ces dispositifs nécessitent des données réelles de conduite comme les interdistances, vitesses et accélérations longitudinales pratiquées par les conducteurs dans différentes situations de conduite (suivi, dépassement, insertions...) dans des conditions écologiques représentatives. En effet, de nombreux systèmes d'aide à la conduite, comme les régulateurs de vitesse adaptatifs (ou ACC), utilisent pour leur fonctionnement des données comportementales (actions du conducteur), des données dynamiques (vitesse, accélération...) ainsi que des informations sur l'environnement proche du véhicule (distance et vitesse relative au véhicule précédant...). Dans leur fonctionnement, ces systèmes doivent prendre en compte le comportement naturel du conducteur et ne pas aller à son encontre. L'inverse nuirait immanquablement à son acceptabilité voire à la sécurité automobile en général. C'est pourquoi, une très bonne connaissance du comportement des conducteurs lambda en situation de conduite normale est indispensable dans la conception et la spécification de ces systèmes.

La recherche de caractérisation du comportement naturel des conducteurs pour aider à la conception de systèmes d'aide à la conduite nécessite des mesures en conduite sur route pour

un panel de conducteurs suffisamment large (en termes d'âge et de sexe), conduisant un véhicule instrumenté sur un parcours routier diversifié et suffisamment « long ». Les bases de connaissances acquises lors des expérimentations rassembleront une masse importante de données de natures différentes :

- comportementales (actions sur les commandes...),
- dynamiques (vitesses, accélérations...),
- contextuelles (situations de conduite, trafic, infrastructure, conditions météorologiques...),
- cognitives et conatives (tests cliniques et expérimentaux permettant une évaluation des capacités des fonctions cognitives de l'individu et la caractérisation de sa personnalité),
- cognitives liées à la tâche (questionnaires, entretiens pré et post-expérimentaux, verbalisation sur les intentions et les motivations en cours de conduite).

Il se pose alors un problème complexe d'exploitation de données. Les données collectées sont hétérogènes :

- temporelles vs. non-temporelles,
- quantitatives vs. qualitatives,
- ou encore objectives vs. subjectives.

Dans la plupart des situations, les données temporelles et les données non-temporelles restent analysées séparément.

2. OBJECTIFS

Les aides à la conduite sont conçues pour améliorer à la fois le confort et la sécurité des conducteurs. Pour que ces aides modifient le moins possible le comportement naturel du conducteur et soient acceptées par ces derniers, il est indispensable d'étudier le comportement du conducteur en situation de conduite naturelle. Cette étude mène obligatoirement à la formation d'une base de données multifactorielle et multivariée difficilement exploitable.

L'objectif principal de cette thèse est de déterminer une méthodologie d'exploitation de données non-temporelles et temporelles issues d'une étude sur le système Conducteur-Véhicule-Environnement (SCVE).

Au regard de la densification du trafic routier, la conduite en file, en tant que sous-activité de la régulation longitudinale, constitue une activité majeure. Malgré sa simplicité apparente, c'est une activité exigeante qui demande de la part du conducteur un effort accru : interventions fréquentes qui nécessitent une attention constante et une bonne anticipation. Nous allons donc nous focaliser sur la situation de suivi.

Ce travail a débuté par la réalisation d'une observation sur route ouverte. Plus de 120 volontaires lambda représentatifs en termes d'âge et de sexe ont réalisé un parcours de plus de 250 km composé de parties en ville et sur autoroute. Une évaluation du profil psychologique des conducteurs a été faite à partir de tests et de questionnaires. L'application de la méthodologie d'exploitation des données a permis de :

- caractériser le comportement des conducteurs en situation de suivi,

- étudier l'influence de facteurs humains (sexe, âge, profil psychologique...) sur le SCVE,
- étudier l'influence de facteurs environnementaux (infrastructure, trafic, moment de la journée...) sur le SCVE.

Ce travail de recherche a été conjointement mené par Renault et le Laboratoire d'Automatique, de Mécanique, et d'Informatique industrielles et Humaines (LAMIH) de l'Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis dans le cadre d'une convention CIFRE.

3. PLAN

Le premier chapitre présente un état de l'art sur la conduite automobile. Il commence par un tour d'horizon de la sécurité routière, des systèmes d'aide à la conduite et des grands programmes de recherche. Ensuite, le rôle prédominant du conducteur dans la conduite est mis en évidence avec une description des fonctions cognitives et des traits de personnalité ainsi que leurs liens avec la conduite. Dans la dernière partie, un focus est fait sur la situation de suivi en conduite.

Le deuxième chapitre présente un état de l'art sur les méthodes pour obtenir et analyser des données issues de l'étude d'un SCVE. Dans un premier temps, les plans d'expérience et d'observation sont expliqués. Ensuite, une revue des différentes méthodes de recueil de données permet de justifier les choix réalisés pour l'expérimentation. Pour finir, une bibliographie sur les différentes méthodes d'exploitation de données et les chemins d'analyse est présentée pour déterminer la méthode à employer pour analyser une base de données multifactorielle et multivariée.

L'expérimentation est exposée dans le troisième chapitre. Elle a pour objectif de créer une base de données sur la conduite naturelle composée de données non-temporelles relatives au profil psychologique et de données temporelles relatives à la conduite.

Le quatrième chapitre présente la méthodologie utilisée dans l'exploitation de données non-temporelles et de données temporelles issues de l'étude du SCVE concernant la situation de suivi. Cette méthodologie repose essentiellement sur une caractérisation basée sur la notion de découpage, éventuellement flou, de l'axe spatial (et de l'axe temporel pour les signaux), et sur l'analyse des correspondances multiples. Des tests d'hypothèse viennent alors compléter l'analyse précédente. Dans un premier temps, l'analyse des données psychologiques (données non-temporelles) a permis de décrire la population de l'étude. Dans un deuxième temps, la situation de suivi a été étudiée ainsi que l'influence de facteurs (trafic, infrastructure...) sur le comportement du conducteur. Enfin, la mise en relation des données non-temporelles et des données temporelles permet de déterminer l'influence du niveau cognitif et de la personnalité sur la conduite.

Le cinquième chapitre dresse un bilan du point de vue des objectifs, de la méthodologie et des résultats obtenus. Une discussion sur l'expérimentation, la méthode statistique employée et les résultats est réalisée. Pour finir, des perspectives de recherche afin notamment d'affiner les résultats précédents sont proposées.

La conclusion générale dresse un bilan personnel de ces trois années de thèse.

I. ETAT DE L'ART

1. INTRODUCTION

Le propos de ce chapitre est de présenter la conduite automobile et en particulier tous les éléments concernant les nouveaux systèmes d'aide à la conduite, l'impact du profil psychologique sur la conduite et la situation de suivi.

Après un positionnement de ce travail de recherche par rapport aux autres travaux réalisés au LAB¹, une description de la problématique de la sécurité routière sera présentée. Ensuite, un historique retraçant les moyens mis en œuvre pour rendre les routes plus sûres, précède un tour d'horizon des systèmes d'aide à la conduite et des grands programmes de recherche, dont l'ambition est de rendre la conduite automobile plus sûre. Cette partie débouche sur la mise en évidence du rôle primordial occupé par le facteur humain dans les phases de conception des systèmes d'aide à la conduite de leur définition à leur intégration.

Le rôle de l'homme est essentiel au sein de la conduite. En effet, c'est à lui de prendre les décisions et de garder le contrôle du véhicule même lors de l'utilisation de systèmes d'aide à la conduite. La quatrième partie porte donc sur l'étude de l'influence du profil cognitif et de la personnalité sur la manière de conduire.

La conduite est variée et complexe. La dernière partie se focalisera uniquement sur la situation la plus rencontrée en conduite : le suivi de véhicule.

2. POSITIONNEMENT DE LA RECHERCHE PAR RAPPORT AUX AUTRES TRAVAUX DU LAB

Ce travail de recherche s'inscrit dans la continuité des travaux de (Perron 1997), (Kassaagi 2001), (Brissart 2004) et (Boulimi 2006) qui avaient pour objectif l'étude et la modélisation du comportement humain dans les situations normales ou d'urgence pour la spécification des systèmes de sécurité active.

¹ Laboratoire d'Accidentologie, de Biomécanique et d'étude du comportement humain

Le travail initiateur est celui de Perron intitulé *une méthodologie pour la spécification fonctionnelle et l'évaluation prévisionnelle d'efficacité de systèmes d'évitement d'accidents* (Perron 1997). Cette méthodologie repose sur une approche originale visant à déterminer des scénarii accidentogènes, articulée suivant une analyse préliminaire des configurations d'accidents, une modélisation a priori des scénarii accidentogènes puis leur regroupement dans une base de données. Elle est mise en œuvre sur la base de deux moyens complémentaires : les études détaillées d'accidents et une expérimentation pilote sur simulateur de conduite. L'auteur propose une spécification fonctionnelle et une évaluation prévisionnelle des systèmes anti-collisions d'intersection et des assistances dynamiques de freinage. Ceci est opéré en simulant le fonctionnement d'un modèle paramétré de l'ensemble « système d'évitement – conducteur – véhicule » dans les scénarii accidentogènes de la base de données. Les paramètres optimaux sont spécifiés par le biais d'une analyse prévisionnelle de sensibilité menée sur le taux d'évitements et la réduction des vitesses de collision.

Kassaagi s'est basé sur ce travail initiateur pour procéder à une *caractérisation expérimentale du comportement des conducteurs en situation d'urgence pour la spécification des systèmes de sécurité active* (Kassaagi 2001). Cette approche expérimentale appliquée aux situations de conduite en file avait pour but de :

- caractériser les actions (simples et combinées) des conducteurs sur les 5 commandes principales d'un véhicule (accélérateur, frein, volant, embrayage et levier de vitesse) et les sollicitations dynamiques générées ;
- expliquer ce qui distingue les sujets qui parviennent à éviter l'accident de ceux qui n'y arrivent pas ;
- analyser l'influence des facteurs humains sur la performance et les réactions des sujets ;
- fournir des recommandations pour la spécification de systèmes de sécurité active (exemple d'application : assistance au freinage d'urgence), notamment pour la définition de critères objectifs de danger, des seuils de déclenchement et des modes de régulation (en particulier lors des tentatives d'évitement par déport latéral) ;
- évaluer l'apport de systèmes de sécurité active en termes d'évitement d'accidents ou de réduction de la sévérité des accidents (sur la base des accidents « survenus » lors des expérimentations). Cette évaluation a posteriori repose sur la simulation de l'effet du système dans les scénarii accidentogènes étudiés si celui-ci était installé dans le véhicule au moment de l'essai.

Le troisième travail s'est focalisé sur l'*étude du comportement conducteur en régulation longitudinale sur route pour la spécification de systèmes de sécurité active* (Brissart 2004). Il est complémentaire des précédents travaux dans la mesure où c'est le comportement du conducteur en conduite « naturelle » en dehors des situations accidentogènes qui est passé au crible. Le comportement de conducteurs volontaires sur route ouverte a été observé et analysé et plus spécifiquement les situations de freinage afin de :

- caractériser les actions des conducteurs en freinage (actions, défaillances...) ;
- étudier l'influence des caractéristiques individuelles (sexe, âge, expérience de conduite...) sur le système C-V-E ;
- étudier l'influence des facteurs environnementaux sur le système C-V-E ;

- améliorer la détection des situations d'urgence et les situations normales sur la base des actions du conducteur en s'appuyant sur les travaux de Kassaagi.

Les travaux de (Brissart 2004) et de (Kassaagi 2001) ont permis de mettre en place une base de connaissances relatives au comportement de conducteurs lambda dans des situations normales de conduite en file, en complément de la base existante des situations d'urgence.

Le quatrième et dernier travail avait pour but *la modélisation du comportement du conducteur dans les situations d'urgence* (Bouslimi 2006). Dans ce travail, le comportement de conducteurs lambda dans les situations d'urgence est analysé afin :

- de caractériser le comportement du conducteur dans les situations d'urgence à partir de bases de connaissances obtenues expérimentalement ;
- d'établir un modèle prédictif entrées-sorties du comportement du conducteur ;
- de déterminer à partir d'analyses statistiques les variables d'entrées-sorties les plus pertinentes ;
- d'apprendre les relations entre ces variables grâce aux réseaux bayésiens pour les prédictions qualitatives et aux structures neuronales pour des prédictions quantitatives ;
- de tester la robustesse des modèles numériques développés grâce aux données issues d'une nouvelle expérimentation sur le comportement en situation d'urgence. Les résultats de prédiction obtenus sont encourageants ce qui laisse entrevoir des possibilités d'exploitation intéressantes en termes de conception.

Ces quatre travaux de recherche successifs ont permis d'élaborer des méthodologies de plus en plus robustes, tant dans la mise en place scientifique des expérimentations que dans le traitement et l'analyse des données enregistrées. Ces méthodologies constituent le point de départ du présent travail de recherche.

Trois de ces recherches sont focalisées sur l'étude du comportement des conducteurs en situations d'urgence. Une seule a permis d'enrichir de manière significative la base de données relative à la conduite « normale ». Celle-ci est centrée sur les situations de freinage. L'ambition du présent de travail de recherche est de proposer une généralisation des quatre méthodologies existantes afin de l'adapter à l'étude d'une situation de vie en régulation longitudinale sur route ouverte, le suivi, avec un échantillon « important » de conducteurs lambda. Dans les quatre travaux précédents, les analyses de données réalisées ne portaient que sur un nombre limité d'indicateurs. L'apport principal de ce travail concerne la méthodologie d'analyse de données de natures différentes (temporelles, non-temporelles, comportementales, dynamiques et contextuelles) et l'extraction de données pertinentes à partir de ces données brutes.

3. CONDUITE AUTOMOBILE ET SECURITE

3.1. Caractéristiques générales de la conduite automobile

La conduite automobile, correspond selon Neboit à effectuer un déplacement d'un point A à un point B dans un environnement en perpétuelle évolution ((Neboit 1978) cité dans (Bellet 1998)). Cette activité suppose de prendre connaissance de l'environnement afin de maintenir

le véhicule dans une trajectoire et à une vitesse compatible avec les exigences du système. Par ailleurs, la diversité des conducteurs (âge, sexe...), des véhicules (différentes capacités dynamiques) et des environnements (infrastructures et trafics différents) contraint le conducteur à s'adapter en permanence à des situations en constante évolution. Cet ajustement associé aux contraintes dynamiques et perpétuelles, inhérentes aux déplacements du véhicule et des autres usagers de la route, fait de la conduite une tâche particulièrement complexe impliquant des comportements adaptatifs. Les représentations mentales des situations dans lesquelles se trouve impliqué le conducteur vont jouer un rôle déterminant dans l'adoption d'un comportement particulier. Pour définir les actions régulatrices à mettre en œuvre, le conducteur prélève des indices dans l'environnement afin d'élaborer une représentation de la situation de conduite du moment. Ces représentations sont confrontées à des schèmes issus d'expériences précédentes déjà en mémoire à long terme. L'expérience permet au conducteur d'acquérir des connaissances concernant le milieu routier et les règles régissant l'utilisation de l'espace en interaction avec les autres usagers et ainsi procéder à des anticipations de natures diverses : anticipation d'événements susceptibles de se produire dans l'environnement routier, prévision de l'évolution de la situation courante et anticipation des effets d'une action, gestion prévisionnelle de cette évolution « future probable » par la pré-activation de réponses possibles (Bellet 1998).

La conduite automobile est donc une tâche complexe au cours de laquelle 4274 personnes ont encore trouvé la mort en 2008 en France. La sécurité routière reste un problème de société important même si la priorité dans la recherche sur les transports se focalise maintenant sur le respect de l'environnement (Prédit 4).

3.2. Historique de la sécurité routière

Le triste record de 1972, 16 617 morts sur les routes françaises, provoque une prise de conscience de l'insécurité routière comme problème de société. La mise en place d'une politique publique de lutte contre l'insécurité conjointement à un effort des constructeurs a permis de diviser le nombre de tués par 3,5 (4703 morts en 2006) malgré une multiplication par 2,3 du trafic.

Les actions du gouvernement se déroulent à la fois sur un plan législatif, avec la mise en place de réglementations concernant la vitesse, l'alcool, le port de la ceinture et du casque et sur le plan préventif, avec des campagnes de sensibilisation des conducteurs aux risques routiers et l'amélioration des infrastructures.

A cette époque, les constructeurs automobiles proposent déjà les premières mesures de sécurité. En 1970, toutes les voitures mises en circulation en France sont équipées de ceintures 3 points aux places avant et en première mondiale, les véhicules Renault et Peugeot sont équipés d'un limiteur d'effort ceinture (amortisseur textile). Au cours des deux décennies suivantes, les constructeurs automobiles proposent nombre d'innovations telles que les prétensionneurs, les airbags, les structures à déformations programmées... La conception des véhicules est entièrement repensée de façon à optimiser la dissipation d'énergie en situation d'accident et à limiter les intrusions dans l'habitacle.

Par ailleurs, des études ont montré, dès les années 90, qu'environ la moitié des automobilistes tués ne peuvent être épargnés par des dispositifs de sécurité passive (c'est-à-dire de protection) techniquement et économiquement envisageables, et ce malgré les améliorations significatives des structures et des systèmes de retenue. Face à des vitesses de choc trop élevées et aux incompatibilités entre les usagers (voitures, poids lourds, piétons...), la sécurité active est aujourd'hui l'une des voies de progrès les plus prometteuses. C'est

pourquoi, les constructeurs automobiles concentrent de plus en plus leurs efforts dans ce domaine. De nombreux systèmes ont vu le jour comme le système antiblocage des roues (ABS), l'aide au freinage d'urgence (AFU), le contrôle de la stabilité du véhicule (ESP), le contrôle global de châssis (CGC), l'alerte de franchissement involontaire de ligne (AFIL), les radars anticollision...

Dans le paragraphe qui suit, nous allons passer en revue un certain nombre de systèmes d'aide à la conduite de sécurité (ABS, AFU et ESP) et de confort (régulateur de vitesse, limiteur de vitesse, ACC, Stop & Go).

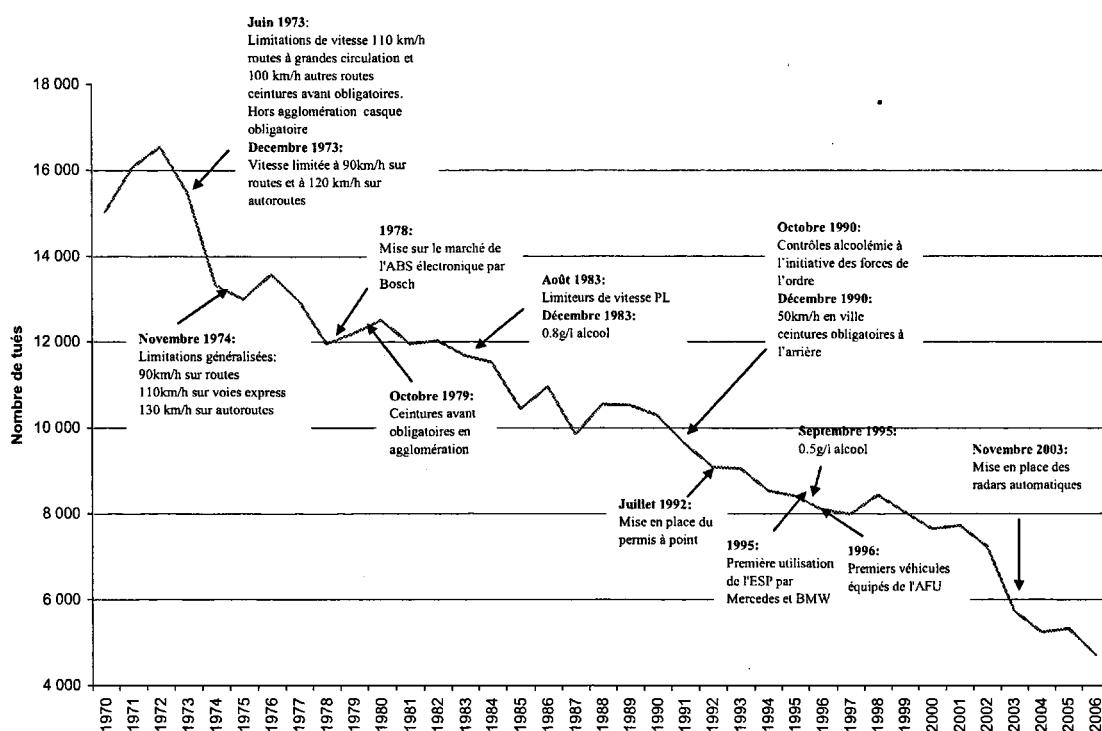


Figure 1. Evolution comparée du nombre de tués entre 1970 et 2006

3.3. Les systèmes d'aide pour l'amélioration de la sécurité

Malaterre et Saad en 1986 proposent la définition suivante : *une aide à la conduite est un dispositif qui assiste le conducteur dans la réalisation d'une sous-tâche de conduite en prenant en charge certains aspects ou en doublant certaines fonctions. Elle contribue à mieux atteindre, ou dans de meilleures conditions, ou de manière plus fiable le résultat souhaité* (Malaterre and Saad 1986).

3.3.1. Typologie des systèmes d'aide à la conduite

Perron propose en définitive de différencier (Perron 1997):

- *les systèmes de confort de conduite*, qui prennent en charge une partie de l'activité de conduite afin de diminuer la charge de travail du conducteur dans le respect d'un ensemble de marges de sécurité ;

- *les systèmes d'évitement d'accidents* (ou de réduction de leur sévérité), qui ont pour objectif direct l'amélioration de la sécurité et qui doivent détecter les situations dangereuses et agir en conséquence.

3.3.2. Intérêt des systèmes d'aide à la conduite

De nombreuses études ont montré le potentiel des systèmes d'aide à la conduite pour améliorer la sécurité. Par exemple, McKeever estime que 26% des accidents mortels et 30% des accidents avec blessés graves pourraient être évités s'il y avait un déploiement total de systèmes intelligents de transport aux Etats-Unis (McKeever 1998). Un autre rapport montre qu'un déploiement total de ces systèmes dans les pays de l'OCDE pourrait réduire les accidents mortels et avec blessés graves de plus de 40% (OECD 2003).

Le projet Trace (<http://www.trace-project.org/>) liste plus de 120 systèmes d'aides à la conduite qui sont soit déjà sur le marché ou en cours d'étude. Une vingtaine des principaux systèmes ont été évalué pour déterminer leur efficacité. Seuls les systèmes de sécurité active qui ont un intérêt majeur pour la sécurité et quelques systèmes de confort qui nécessitent des données de conduite dans leur développement vont être présentés.

3.3.3. Exemples de systèmes d'aide à la conduite

(i) Les systèmes de sécurité active : ABS, ESP, AFU

L'antiblocage des roues (ABS) est devenu un équipement de série des différents véhicules produits. Il constitue l'une des avancées majeures dans le domaine du freinage. En fonctionnant par impulsions successives au niveau du système de freinage et grâce à un temps de réaction court, chaque roue est maintenue à la limite du blocage. Ainsi, le véhicule roule et ne glisse pas. Le conducteur garde sa capacité directionnelle et peut agir au niveau du volant pour se déporter en profitant d'une décélération maximale (Forkenbrock, Flick et al. 1998).

Face à une situation d'urgence, bon nombre de conducteurs n'exercent pas instantanément une pression suffisante sur la pédale de frein. Le besoin en assistance prend son origine dans ce constat. L'assistance au freinage d'urgence (AFU ou BAS) est un dispositif complémentaire à l'ABS qui permet d'optimiser de façon significative les distances d'arrêt du véhicule en utilisant totalement le potentiel du freinage lors de situations d'urgence. Son fonctionnement repose sur un calculateur qui surveille la nature du freinage. Dès que la vitesse d'enfoncement de la pédale de frein dépasse un seuil défini, la puissance du freinage est amplifiée permettant au conducteur d'atteindre plus rapidement la régulation ABS. Sur certains modèles de véhicule, l'AFU déclenche pendant les freinages d'urgence les feux de détresse.

L'ESP est une application relativement récente de l'ABS. C'est un système de rectification de la trajectoire du véhicule. Il permet d'en conserver la maîtrise dans des situations où il y a amorçage de dérive (sous-virage ou sur-virage) en agissant sur les roues par l'intermédiaire des freins et/ou du moteur. Ces situations sont provoquées généralement suite à une perte d'adhérence le plus souvent dans les virages ou en cas de manœuvre brutale. L'aide apportée par le système est calculée en comparant les actions du conducteur au niveau du volant et du frein aux réactions du véhicule via son accélération latérale, son angle de lacet et les vitesses de rotation des roues (par le biais des capteurs ABS). Une étude réalisée par le LAB montre une réduction probable de 44% des accidents impliquant un seul véhicule si tous les véhicules étaient équipés de l'ESP (Page and Cuny 2006).

(ii) Les aides à la conduite dites de confort

⚡ *Les systèmes de contrôle de la vitesse*

Le limiteur de vitesse permet au conducteur de fixer une vitesse maximale qu'il ne peut pas dépasser (même s'il continue à appuyer sur la pédale d'accélérateur).

Le régulateur de vitesse, connu également sous l'acronyme CC (Cruise Control), permet au conducteur de choisir une vitesse de croisière (ou vitesse de consigne) que le véhicule maintient constante. Un tel système trouve son utilité sur nationale ou sur autoroute dans un trafic fluide. Il apporte un gain en termes de confort et de consommation : la gestion de la vitesse du véhicule par le système se fait de manière plus douce et les limitations de vitesse sont mieux respectées.

⚡ *Les systèmes de contrôle de la distance et d'évitement de collision*

L'alerte de distance aide le conducteur à maintenir une distance de sécurité avec le véhicule suivi. Grâce à un radar, le système calcule continuellement le temps intervéhiculaire et indique au conducteur une distance trop faible pour assurer la sécurité à l'aide d'un signal sonore ou visuel.

Il existe ensuite des systèmes d'alerte ou d'évitement de collision frontale. Ce type de systèmes surveille la route et prévient le conducteur si un obstacle fixe ou se déplaçant moins vite est détecté sur la voie à une distance assez proche. S'il s'agit d'un système d'alerte, il va prévenir le conducteur à l'aide d'un signal sonore ou visuel parfois accompagné d'une stimulation haptique (vibration du siège ou tension de la ceinture). Les systèmes d'évitement vont appliquer une force de freinage si le conducteur ne réagit pas assez vite ou assez fortement pour éviter un accident.

⚡ *Le Régulateur de vitesse adaptatif (ACC)*

Ce travail de thèse s'intéresse à la régulation longitudinale et plus particulièrement à la situation de suivi, un focus est donc fait sur l'ACC.

Présentation

Un radar détecte la présence du véhicule qui précède le véhicule équipé de l'ACC et détermine sa distance et sa vitesse (généralement avec une distance maximale de détection de 150 m à 180 m). Si un véhicule est détecté sur la voie du véhicule sujet équipé de l'ACC, la vitesse de ce dernier est ajustée pour maintenir une interdistance ou un temps intervéhiculaire (TIV) présélectionné. Généralement, le conducteur peut choisir entre plusieurs valeurs références de TIV. Si aucune voiture n'est détectée, l'ACC garde la vitesse présélectionnée par le conducteur et fonctionne comme un régulateur de vitesse traditionnel. Le conducteur peut reprendre la main à tout moment.

L'ACC est un système de confort et non de sécurité. Seule une décélération modérée (freinage de confort, maximum 3m/s^2) peut être utilisée pour ajuster la vitesse du véhicule dans les cas de suivis. Ce système n'est pas destiné à être utilisé dans les situations d'urgence, situations dans lesquelles le conducteur doit reprendre la main. De plus, l'ACC ne détecte pas les véhicules arrêtés.

L'ACC apporte une assistance dans le contrôle de la vitesse et des interdistances sur autoroute essentiellement lorsque le trafic est assez fluide. Le conducteur reste responsable de la maîtrise de son véhicule et doit donc rester attentif aux éléments qui l'entourent.

De nombreuses études ont été réalisées sur les systèmes d'aide à la conduite (Saad, Hjälm Dahl et al. 2004) et particulièrement sur l'ACC, tant sur les conséquences de l'intégration de l'ACC dans le véhicule que sur l'acceptation du dispositif par les conducteurs.

Impacts de l'ACC sur la sécurité et l'environnement

D'une part, l'ACC améliore le confort du conducteur (Nilsson 1995) et d'autre part il augmente la sécurité (Brookhuis and de Waard 1999; Hitz, Koziol et al. 2000; Bengtsson 2001). En effet, 15% des accidents mortels sur les autoroutes anglaises sont dus à des chocs arrière résultant d'un manque de réponse lors d'un freinage important de la voiture suivie ou d'un mauvais jugement de la vitesse d'approche d'un véhicule plus lent (Faber 1996). Des études réalisées au Royaume-Uni montrent que 5% à 10% des accidents sur autoroute pourraient ainsi être évités avec l'aide de l'ACC. De plus, certaines études ont mis en évidence l'importance d'une diminution même très faible de la vitesse de collision. En effet, une réduction de l'ordre de 40% du nombre de tués pour la plupart des types de collision pourrait être obtenue simplement par une baisse de 10km/h des vitesses de rapprochement. Même si l'ACC n'est pas un système anticollision, il peut réaliser cette décélération si l'on s'approche d'un véhicule plus lent. L'auteur suppose donc ici qu'un tel système introduit une diminution de l'insécurité routière.

L'ACC semble avoir un impact environnemental positif puisqu'à vitesse moyenne égale, on note une baisse de 3% de la consommation avec l'ACC. Les émissions de polluants sont donc également réduites (McDonald, Brackstone et al. 1997; Marsden, McDonald et al. 2001; Inrets, Inria et al. 2004).

Changements comportementaux induits par l'utilisation de l'ACC

D'après Weinberger et al. (Weinberger, Winner et al. 2001), le comportement des conducteurs change significativement durant les deux premières semaines d'utilisation et se stabilise ensuite. Cette durée est apparentée à la familiarisation à l'ACC (familiarisation aux réactions et à l'interface du dispositif).

L'utilisation de l'ACC influe notamment sur les vitesses et les interdistances pratiquées. Cependant, les résultats obtenus concernant ces deux paramètres sont contradictoires selon les études. En effet, pour certains auteurs, la conduite avec ACC entraîne une augmentation de la vitesse par rapport à une conduite sans système (Hoedemaeker and Brookhuis 1998), pour d'autres, elle provoque une baisse de la vitesse par rapport à une conduite sans système (Tricot 2005). Enfin, aucune différence n'a été observée quant aux vitesses pratiquées avec ou sans systèmes dans d'autres études (Francher, Ervin et al. 1998).

Comme pour la vitesse, différentes tendances sont observées concernant les temps intervéhiculaires (TIV) avec soit des TIV plus grands en conduite avec ACC soit plus faibles (non significatif), (Hoedemaeker and Brookhuis 1998). Cependant une réduction de la fréquence de TIV faibles a été observée lors d'une conduite avec ACC (Francher, Ervin et al. 1998).

L'ACC est un système de régulation longitudinale, il n'a aucun effet sur la direction du véhicule. Pourtant, son influence indirecte sur le contrôle latéral, à la charge du conducteur, s'avère problématique dans certaines études et pas dans d'autres. Ainsi, des études ont montré une augmentation de l'écart type de la position latérale du véhicule dans sa voie de circulation et donc un contrôle latéral dégradé lorsque les conducteurs utilisent l'ACC (Hoedemaeker and Brookhuis 1998; Rudin-Brown and Parker 2004). Cependant ce changement comportemental reste incertain car d'autres auteurs n'ont mis en évidence aucune modification dans le

contrôle latéral du véhicule lors de l'utilisation de l'ACC versus sans ACC. Ohno montre d'ailleurs que lors des premiers essais la déviation est plus importante avec l'ACC puis la tendance s'inverse (Ohno 2001).

Concernant le choix de la voie de circulation, l'étude de Dessaigne a montré que les conducteurs occupent plus souvent la voie de gauche lorsqu'ils conduisent avec ACC (Dessaigne and Vernet 2001). On peut penser que c'est pour réduire la fréquence de détection par l'ACC de véhicules roulant plus lentement, évitant ainsi des ralentissements « inutiles ».

Implication de l'utilisation de l'ACC en termes de charge de travail et d'attention

Des résultats différents ont été observés dans les études réalisées. Pour Hoedemaeker, l'ACC entraîne une diminution de la charge mentale (Hoedemaeker and Brookhuis 1998) alors que Nilsson ne trouve pas de différence significative de la charge de travail entre la conduite avec ou sans ACC (Nilsson 1995). Une autre étude a même montré une augmentation de la charge mentale en conduite avec ACC (Bjorkly, Jenssen et al. 2003).

Certaines études suggèrent que la charge mentale dépend des caractéristiques du système et de la tâche réalisée. La réduction de la charge mentale est plus importante dans les situations de suivis que dans les situations de décélérations. La charge mentale dépend également du niveau de familiarisation avec le système. Avec l'expérience, la charge mentale diminue (Kopf, Nirschl et al. 1997).

La conduite avec ACC entraîne des temps de réaction plus longs avec des marges de sécurité réduites et des freinages plus puissants (Hoedemaeker and Brookhuis 1998). Le conducteur n'est pas forcément prêt à reprendre le contrôle dans les situations dangereuses. Ces temps de réponse plus longs peuvent être dus à une attention réduite, à une sur-confiance dans le système ou à l'ignorance de ces limites. Il est à noter que ces résultats ont été obtenus sur des études à court terme et que lorsque l'on étudie le processus d'apprentissage, la réaction des conducteurs s'améliore avec une plus grande expérience du système (Kopf, Nirschl et al. 1997).

Acceptabilité de l'ACC par les conducteurs

En général, les résultats montrent que les conducteurs ont une attitude positive envers l'ACC. Cependant plusieurs différences existent selon les caractéristiques des conducteurs (Hoedemaeker and Brookhuis 1998) et selon les caractéristiques du système étudié. La plupart des études indiquent que les sujets trouvent le système facile à apprendre et à utiliser (Francher, Ervin et al. 1998) et la majorité des conducteurs ont confiance dans l'ACC même si une défaillance (non détection d'une cible ACC) se produit pendant les essais (Rudin-Brown and Parker 2004). Les conducteurs préfèrent utiliser l'ACC plutôt qu'un régulateur de vitesse traditionnel (55% du trajet avec ACC contre 40% avec régulateur de vitesse), ce qui prouve leur acceptation du système (Rakha, Hankey et al. 2001).

Les études menées lors du projet européen « Stardust » (Inrets, Inria et al. 2004), concluent que les conducteurs ont une bonne perception des impacts potentiels de l'ACC. Environ 60% des participants à l'étude pensent que l'ACC peut améliorer le confort et la sécurité.

3.3.4. Conclusion sur les systèmes d'aide à la conduite

Les systèmes d'aide à la conduite équipent de plus en plus les véhicules dans une optique sécuritaire. Cependant des effets négatifs peuvent apparaître avec des modifications dans le comportement des conducteurs (augmentation de la vitesse, baisse de la vigilance, temps de

réaction plus longs...). En effet, même si ces nouvelles technologies peuvent augmenter la sécurité, ces bénéfices peuvent être neutralisés par des réponses comportementales inattendues, par exemple, la sur-confiance dans un système qui pourrait entraîner une réduction des marges de sécurité.

De plus, la tolérance à certains TIV et à certaines décélérations dépend du conducteur. Ainsi, pour qu'un système tel que l'ACC soit accepté par le plus grand nombre, il est indispensable de caractériser la conduite naturelle des conducteurs. Ce principe est la base de ce travail de thèse.

Dans le paragraphe suivant, les grands programmes de recherche sur la conduite automobile et la sécurité routière sont présentés. Ils ont souvent pour but d'étudier l'impact de ces systèmes d'aide sur le comportement des conducteurs et leurs apports pour la sécurité automobile.

3.4. Les grands programmes de recherche

Des partenaires industriels et universitaires se sont rassemblés dans de grands programmes de recherche sur la sécurité routière notamment en France, en Europe, aux Etats-Unis et au Japon. Les objectifs sont en général pré-concurrentiels pour permettre à tout le monde de s'impliquer sans crainte.

3.4.1. En France

Le PREDIT est un programme de recherche, d'expérimentation et d'innovation dans les transports terrestres, initié et conduit par les ministères chargés de la recherche, des transports, de l'environnement et de l'industrie, l'ADEME et l'ANVAR. Ce programme vise à favoriser l'émergence de systèmes de transport économiquement et socialement plus efficaces, plus sûrs, plus économes en énergie, et finalement mieux respectueux de l'homme et de l'environnement.

Le PREDIT est composé de quatre volets, le premier de 1990 à 1994, le deuxième de 1996 à 2000, le troisième de 2002 à 2007 et le dernier de 2008 à 2012. Le PREDIT 4 intègre dans ces objectifs ceux du Grenelle de l'Environnement. Ainsi les six axes de recherches et d'innovation retenus sont : l'énergie et l'environnement, la qualité des systèmes de transport, la mobilité dans les régions urbaines, le transport de marchandises, la compétitivité de l'industrie des transports et les politiques de transports. On y retrouvera donc des programmes pour le développement de nouvelles technologies propres comme les motorisations hybrides et électriques, mais aussi des recherches sur les comportements, l'évaluation environnementale, et l'économie des transports, en particulier sur les alternatives au transport individuel des personnes (www.predit.prd.fr).

3.4.2. En Europe

Le projet AIDE (*Adaptive Integrated Driver-vehicle Interface*) a pour objectif global de fournir des connaissances et de développer des méthodologies et des techniques pour les interfaces homme-machine nécessaires pour une meilleure cohabitation entre le conducteur et tous les systèmes introduits. Il est organisé en quatre sous projets dont le deuxième qui intègre l'analyse des effets sur le comportement des conducteurs induits par les ADAS et les IVIS. Son objectif général est de faire une revue de la littérature des différentes études concernant l'adaptation comportementale des conducteurs aux systèmes d'aides à la conduite et les

différents paramètres habituellement relevés dans cette évaluation (Saad, Hjalmdahl et al. 2004) (www.aide-eu.org).

Contrairement au 6^{ème} PCRD où plusieurs projets avaient pour objectifs de développer des méthodologies et/ou des démonstrateurs d'aide à la conduite, la commission européenne a donné la priorité dans le cadre de son 7^{ème} programme de recherche, aux tests de ces technologies directement sur le terrain (route ouverte) afin d'en estimer les bénéfices réels. Le projet FESTA a ainsi contribué au développement d'un guide de « bonnes pratiques » dans le développement et l'implémentation d'études sur route (Field Operational Tests « FOT »). Il a donc permis de déterminer une méthodologie commune pour planifier, réaliser et évaluer les FOT au niveau européen (cf. Figure 2). Un FOT est défini comme une étude entreprise pour évaluer une (des) fonction(s), sous des conditions de fonctionnement normales dans des environnements typiquement rencontrés par le véhicule hôte utilisant des méthodes quasi-expérimentales.

Le projet FOT (<http://www.eurofot-ip.eu>) regroupe 28 partenaires qui vont instrumenter 1500 véhicules pour tester 8 fonctionnalités :

- assistance à la régulation longitudinale : ACC, Forward Collision Warning, régulateur/limiteur de vitesse ;
- assistance au contrôle latéral : Système d'information sur les angles morts (Blind Spots), Avertisseur de franchissement de ligne ;
- applications avancées : Interface Homme-Machine sûre, conseil sur la consommation d'essence et avertisseur d'une survitesse possible en virage.

L'analyse des données obtenues sur route avec des conducteurs « lambda » utilisant ces applications va permettre d'éclairer certains aspects importants sur les systèmes d'aide à la conduite. Les principales questions sont :

- Quelles sont les performances et les capacités de ces systèmes ?
- Comment les conducteurs interagissent avec et réagissent à ces systèmes ?
- Quels sont les impacts sur la sécurité, l'efficacité et l'environnement ?

Les résultats de ce projet devraient contribuer à soutenir le processus décisionnel pour déployer ces nouvelles technologies sur le marché.

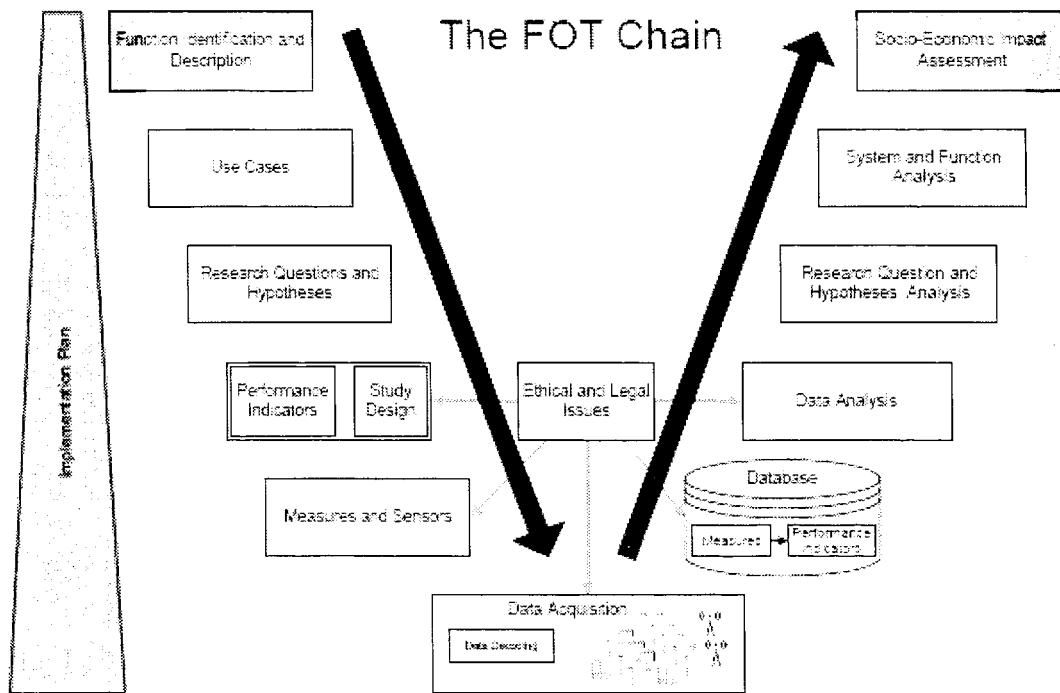


Figure 2. Différentes étapes à considérer lors de la réalisation d'un FOT (issu de (Festa Consorsium 2008))

3.4.3. Aux Etats-Unis

L'ITS est un programme de recherche initié par le ministère du transport dans le but d'améliorer la sécurité des transports grâce aux nouvelles technologies. L'ITS a organisé son programme autour de neuf initiatives principales. Le projet « *Integrated Vehicle Based Safety Systems* » a pour but de démontrer que l'équipement de tous les nouveaux véhicules de systèmes d'aide à la conduite pourrait aider les conducteurs à éviter la plupart des accidents mortels (<http://www.itsa.org>).

La NHTSA a mis en place une base de connaissances sur le rôle des facteurs humains dans la sécurité. Ces efforts contribueront à la prise en compte de la diversité des conducteurs et des situations lors de la conception de nouveaux systèmes reposant sur de nouvelles technologies. La NHTSA (<http://www.nhtsa.com/>) a également mis en place une étude qui permet de recueillir des informations sur le comportement et les performances des conducteurs, sur la performance du véhicule et sur l'environnement (Dingus, Klauer et al. 2006).

3.4.4. Au Japon

En 1989, le ministère de la construction japonais a lancé le programme AHS qui rassemble des constructeurs automobiles, les pouvoirs publics, des organismes publics, de coopération ou professionnels et la société Vertis (*Vehicle, Road and Traffic Intelligence Society*). Depuis 1997, le concept d'assistance à la conduite est au centre des orientations du programme qui met l'accent sur les fonctions de perception, d'information, d'évaluation des risques et d'évitement plutôt que sur les fonctions d'automatisation.

Un nouveau programme, intitulé « *Foresight Zero program, Zero fatality and injury due to traffic accidents* » est en train de voir le jour au Japon (Fisita, 2006). La plupart des acteurs principaux y participent : constructeurs, pouvoirs publics, instituts universitaires et de recherche privés et publics... Ce programme vise à réduire drastiquement le nombre de victimes sur les routes en agissant à 3 niveaux :

- une réduction de 6500 à 5000 morts est prévue grâce à la mise en place de nouvelles réglementations, d'une meilleure information et de sanctions plus importantes ;
- l'utilisation de nouvelles technologies avec une généralisation des technologies actives de sécurité, mais aussi et surtout la recherche de méthodologies pour évaluer l'apport de ces dispositifs, devrait faire baisser le nombre de tués de 5000 à 1500.

En rendant le comportement des conducteurs plus sécuritaire, il devrait être possible de réduire à « zéro » le nombre de morts sur les routes japonaises.

3.5. Conclusion

Grâce à l'introduction de nouveaux systèmes d'aide à la conduite, les véhicules actuels sont devenus des systèmes intelligents dont l'ambition est de rendre la conduite automobile plus sûre tout en restant entièrement sous le contrôle du conducteur. Une sécurité optimale nécessiterait de la part de ce dernier un comportement prudent et préventif qui pourrait parfois aller à l'encontre du comportement naturel du conducteur. Un système d'aide absolument sûr risque donc de rentrer en conflit avec celui-ci (Kassaagi 2001). Il semble déjà clair que le conducteur pourrait se révéler hostile à tout système qui le surveillerait ou agirait à sa place, restreignant ainsi sa maîtrise du véhicule (Malaterre and Fontaine 1992).

Le facteur humain occupe donc une place centrale dans les phases de conception des systèmes d'aide à la conduite, de la définition à l'intégration. Les problèmes qui sont souvent soulevés sont ceux de l'acceptabilité par les usagers, de la fiabilité des systèmes et des changements de comportement que les aides peuvent entraîner (Malaterre and Fontaine 1992). La revue des principaux programmes de recherche en sécurité a fait apparaître l'intérêt accru pour la dimension humaine dans les approches de la sécurité routière. Le but n'est plus seulement de proposer des systèmes innovants mais d'analyser et d'étudier leur impact en fonction de facteurs humains. Ainsi, une étude du comportement naturel du conducteur, sur la base de données expérimentales, permettrait d'aborder très en amont les différents problèmes associés à la conception et l'utilisation réelle d'un système d'aide à la conduite.

4. PROFIL PSYCHOLOGIQUE ET CONDUITE

Les accidents de la route sont dus dans 90% des cas à des erreurs humaines (Lewin 1982). De plus, des études (présentées ci-dessous) ont montré des liens entre l'accidentologie et le profil psychologique. Les performances cognitives et les traits de personnalité semblent donc avoir un impact sur le comportement du conducteur. Dans un objectif de caractérisation de la conduite naturelle, il serait particulièrement intéressant d'essayer de mettre en relation le comportement sur la route et le profil du conducteur. Dans ce paragraphe, la cognition et les traits de personnalité vont être présentés ainsi que les relations déjà établies entre ces caractéristiques personnelles et la conduite.

4.1. Cognition et conduite

La cognition regroupe les divers processus mentaux allant de l'analyse perceptive de l'environnement à la commande motrice en passant par la mémorisation, le raisonnement, les émotions, le langage.... L'évaluation cognitive consiste donc à la mesure des capacités mentales d'un sujet à l'aide de tests spécifiques et normalisés. Dans les parties suivantes, les différentes composantes du profil cognitif ainsi que leur impact sur la conduite vont être présentés.

4.1.1. Intelligence

Dès 1944, Wechsler proposa un modèle multidimensionnel de l'intelligence dans lequel l'intelligence est définie comme « la capacité d'un individu à agir en fonction d'un but, à penser rationnellement et à faire face de manière efficace à son environnement » (Wechsler 1944). Il considère l'intelligence comme une entité globale (car elle caractérise la totalité du comportement d'un individu), mais également comme un ensemble d'aptitudes spécifiques (car elle est constituée d'aptitudes qualitativement différentes).

Les différentes aptitudes composant l'intelligence sont :

- la compréhension verbale ;
- l'organisation perceptive qui caractérise la capacité à résoudre des problèmes visuospatiaux ;
- la mémoire de travail qui est un système de mémoire active qui s'occupe à la fois du traitement et du maintien des informations à court terme. Sa capacité est limitée ; l'empan mnésique est de 7 +/- 2 items (Epreuve d'empan mnésique de Miller, (Miller 1956)).
- la vitesse de traitement qui est la capacité à traiter rapidement des informations visuelles.

4.1.2. Fonctions exécutives

Les fonctions exécutives correspondent à des processus qui contrôlent la pensée et l'action (Friedman, Miyake et al. 2006).

Les principales fonctions exécutives sont :

- La flexibilité qui concerne la capacité à alterner entre des tâches multiples, des opérations ou des ensembles mentaux (Monsell 1996).
- La mise à jour qui concerne la capacité à actualiser les informations maintenues en mémoire de travail.
- L'inhibition, notion utilisée depuis plus de cents ans (James 1890), qui renvoie communément au processus de suppression délibérée des réponses dominantes, automatiques ou antérieures.
- L'attention divisée qui est l'aptitude à gérer plusieurs tâches parallèlement.

4.1.3. Relations entre la cognition et la conduite

Un certain nombre d'études corrélationnelles ont tenté d'explorer la relation, potentiellement prédictive, entre l'aptitude médico-psychologique de conduite, mesurée à travers la performance aux tests perceptifs et cognitifs, et la capacité de conduite, mesurée par la performance sur route ou sur simulateur, ou l'incapacité de conduite mesurée, par exemple, à travers l'implication dans des accidents (Owsley, Ball et al. 1991; Elander, West et al. 1993; Ball, Owsley et al. 1998; McKnight and McKnight 1999; De Raedt and Ponjaert-Kristoffersen 2001).

La cognition impliquée dans la tâche de conduite recouvre de multiples fonctions. Ainsi, l'intelligence, parce qu'elle est mesurée par des tests des fonctions intervenant dans la conduite, et l'état mental sont particulièrement impliqués dans la performance de conduite. Des altérations de ces capacités peuvent aboutir à des détériorations de la performance de conduite. Cependant, la relation n'est pas parfaite, ainsi, des personnes présentant des altérations de ces fonctions (par exemple les personnes souffrant de démences d'Alzheimer ou encore les sujets âgés sains), conduisent et n'ont pas un taux d'accident plus élevé que des personnes parfaitement saines. A l'inverse, on retrouve des personnes présentant des fonctions cognitives en parfait état avec un taux d'accidents plus élevé.

Un exemple illustrant l'influence des capacités cognitives sur la performance de conduite concerne les capacités et les limites de l'attention. En effet, l'une des causes principales des accidents de la route serait liée à un problème attentionnel du conducteur. Le conducteur serait distrait ou subirait l'interférence d'autres tâches ou encore, plongé dans ses pensées, serait inattentif à la scène routière. Certains chercheurs montrent que la capacité de contrôle attentionnel d'un conducteur permet de formuler des prédictions plus ou moins probables sur sa capacité de conduite (Daigneault, Joly et al. 2002). Dans cette étude, 60 conducteurs âgés de 65 ans et plus (30 conducteurs sans accidents et 30 conducteurs avec accidents) sont examinés. Ces chercheurs évaluaient les fonctions exécutives à travers 4 tests. Ils mettent alors en évidence qu'une fonction intégrant ces 4 mesures permet de classer correctement les sujets dans l'un ou l'autre groupe dans 80% des cas.

4.2. Personnalité et conduite

La personnalité humaine a fait l'objet de nombreuses recherches, dans un but, notamment de caractérisation de traits de personnalité. Ce sont des caractéristiques personnelles très stables au cours du temps. Les traits de personnalité présentés ci-dessous sont ceux qui ont majoritairement été étudiés dans le cadre de la conduite automobile.

4.2.1. Traits de personnalité

(i) Névrosisme

Le névrosisme (anxieux, dépressif, vulnérable, hostile, impulsif, faible estime de soi). Ce trait met en contraste l'adaptation ou la stabilité émotionnelle avec l'inadaptation ou névrosisme. Les individus qui sont hauts sur l'échelle de névrosisme, ont tendance à éprouver des émotions négatives comme la peur, la tristesse, la colère, la gêne, la culpabilité, le dégoût. Le névrosisme est souvent lié à l'anxiété et à la dépression. Ce sont des personnes impulsives ayant des difficultés à gérer le stress. Les individus bas sur l'échelle de névrosisme sont en revanche stables sur le plan émotionnel. Ils sont généralement calmes, d'humeur égale,

détendus, faisant face aux situations stressantes sans être inquiets ou ébranlés (Costa Jr and McCrae 1994).

(ii) Extraversion

L'extraversion (sociable, chaleureux, confiant, expressif, actif et recherche de sensations fortes) met en contraste le caractère expansif avec une nature réservée. Les extravertis sont des personnes sociables, actives physiquement comme verbalement, sûres d'elles, gaies, énergiques, aventureuses et optimistes. Les introvertis sont en revanche réservés, indépendants, constants et réguliers, timides pour exprimer qu'ils préfèrent être seuls. Il ne s'agit pas d'une opposition mais plutôt d'une absence d'extraversion. Aussi, ils ne sont ni malheureux, ni pessimistes et ne souffrent pas nécessairement d'anxiété sociale (Costa Jr and McCrae 1994).

(iii) Conscience

L'individu consciencieux (compétence, ordre, sens du devoir, recherche de réussite, autodiscipline, délibération) est réfléchi, scrupuleux, ponctuel, fiable, il a de la volonté et il est déterminé. Ceux qui ont des notes faibles à cette dimension ne manquent pas forcément de principes moraux mais ils les appliquent avec moins d'exactitude. Ils sont nonchalants et plus hédonistes (Costa Jr and McCrae 1994).

(iv) Estime de soi

L'estime de soi correspond au sentiment plus ou moins favorable que chaque individu éprouve à l'égard de lui-même, la considération et le respect qu'il se porte, le sentiment qu'il se fait de sa propre valeur en tant que personne (Rosenberg 1979).

(v) Attribution causale : locus of control

Le locus of control peut être défini comme un attribut de la personnalité reflétant le degré avec lequel une personne perçoit les événements comme étant sous son contrôle (lieu du contrôle interne), ou sous le contrôle d'autrui ou de forces extérieures (lieu du contrôle externe).

(vi) Recherche de sensations

Zuckerman définit la recherche de sensations comme « *un trait de personnalité caractérisé par le besoin d'expériences et de sensations variées, nouvelles et complexes et la volonté de s'engager dans des activités physiques et sociales risquées, expériences recherchées pour elles-mêmes* » (Zuckerman 1994).

(vii) Coping ou stratégies d'adaptation

Lazarus conçoit le coping comme « *l'ensemble des efforts cognitifs et comportementaux en évolution constante et développés dans le but de maîtriser (réduire, contrôler, dominer, ou tolérer) des demandes internes et/ou externes qui sont évaluées comme excédant les ressources de l'individu* » (Lazarus 1966). Pour lui, le coping a deux fonctions principales : maîtriser ou modifier le problème qui entraîne du stress dans l'environnement (coping focalisé sur la tâche) ou réguler la réponse émotionnelle au problème (coping focalisé sur l'émotion). Une troisième dimension mise en évidence est un coping centré sur l'évitement du problème.

4.2.2. Relations entre la personnalité et la conduite

Les différents traits de personnalité ont été mis en relation avec la conduite. La plupart des études établissent un lien entre la personnalité et les accidents, les violations et les contraventions.

Un haut niveau de névrosisme a été mis en lien avec la conduite à risques (Taubman-Ben-Ari, Mikulincer et al. 2004). En revanche, Un haut niveau de névrosisme ne semble pas lié aux contraventions (Miles and Johnson 2003) et aux accidents (Arthur and Graziano 1996; Lajunen 2001).

Certaines études ont mis en avant des corrélations positives entre l'extraversion et les accidents de voiture (Lajunen 2001) et les violations chez les conducteurs très jeunes (Renner and Anderle 2000). En revanche, d'autres études n'ont pas trouvé de telles associations entre les accidents auto-rapportés (Arthur and Graziano 1996; Dahlen and White 2006) et les comportements de conduite non sécuritaires (Taubman-Ben-Ari, Mikulincer et al. 2004). Ces résultats opposés pourraient s'expliquer par un biais méthodologique lié à l'auto-rapport des accidents dans les études de Dahlen et White (Dahlen and White 2006) et d'Arthur et Graziano (Arthur and Graziano 1996).

Des résultats contradictoires ont également été observés concernant le lien entre le trait de conscience et l'implication et la responsabilité dans des accidents, les contraventions et les comportements de conduite risqués. Pour certains (Arthur and Graziano 1996; Schwebel, Severson et al. 2006) la corrélation est négative entre ces comportements de conduite et ce trait de personnalité alors que d'autres études ne confirment pas ces résultats (Miles and Johnson 2003; Dahlen and White 2006).

La recherche de sensations est le trait de personnalité qui a le plus souvent été étudié dans le cadre de la conduite automobile. Une forte recherche de sensations a été associée à la conduite risquée (Taubman-Ben-Ari, Mikulincer et al. 2004; Dahlen and White 2006), aux contraventions (Renner and Anderle 2000; Dahlen and White 2006) et aux accidents (Iversen and Rundmo 2002; Dahlen and White 2006).

Taubman-Ben-Ari montre que l'estime de soi est associée positivement avec un style de conduite prudent et patient et inversement associée avec un style de conduite à risques (Taubman-Ben-Ari, Mikulincer et al. 2004). Ainsi, plus le conducteur a une estime de soi positive, plus il adoptera un style de conduite patient et prudent.

4.3. Conclusion

Le profil cognitif a plutôt été exploré dans les études de la conduite des personnes âgées afin de déterminer le lien entre le niveau cognitif et la capacité à conduire. La personnalité a essentiellement été mise en relation avec le risque d'accidents, de violations et de contraventions. Ces études ont utilisé des données recueillies par questionnaires pour l'évaluation de la conduite. La question de l'exactitude des faits auto-rapportés se pose d'ailleurs souvent. Des différences de résultats apparaissent d'ailleurs entre les études qui présentent des méthodologies de recueil différentes. Comme cela vient d'être montré dans la partie précédente, la mise en relation entre des données de conduite réelles et le profil psychologique a très peu été faite. La conduite étant une activité variée et complexe, nous allons nous focaliser sur l'étude d'une situation particulière, le suivi de véhicule.

5. LA SITUATION DE SUIVI

Deux objectifs guident les études sur le suivi. Le premier est la modélisation du trafic routier à partir de modèles macroscopiques. Le deuxième objectif est d'essayer de réduire l'importance des accidents fronto-arrières. En effet, les chocs fronto-arrières sur autoroute représentent 23% des accidents avec blessés (Broughton, Switzer et al. 2007).

Dans cette cinquième partie, la situation de suivi va d'abord être caractérisée puis les différentes modélisations seront présentées et pour finir les impacts de certains facteurs sur le suivi seront exposés.

5.1. Caractérisation de la situation de suivi

Dans les situations de suivi, la vitesse du véhicule et sa position longitudinale sont influencées par le véhicule immédiatement devant lui sur la même voie de circulation. Le suivi est caractérisé par l'interdistance et le degré avec lequel le conducteur suit les changements de vitesse du véhicule qui le précède (Ranney 1999).

Une interrogation se pose alors pour définir un critère pertinent pour estimer si le conducteur est influencé par le comportement du véhicule devant lui. En effet, dans la littérature, il n'y a pas de consensus sur un critère de différenciation. En ville, un temps intervéhiculaire de 3 secondes est souvent proposé mais sans fondement théorique (Pasanen and Salmivaara 1993). Vogel détermine de manière empirique un seuil de 6s en zone urbaine pour séparer la conduite libre du suivi (Vogel 2002). Sur autoroute, la différenciation entre ces deux types de conduite n'est pas vraiment claire. Certains estiment que pour être dans une situation « stable » de suivi, l'accélération longitudinale ne doit pas excéder $\pm 0.6 \text{ m/s}^2$ (Brackstone, Waterson et al. 2009). D'un point de vue sécuritaire, il est préconisé en France de laisser un temps intervéhiculaire au moins égal à 2s entre les deux véhicules. Aux Etats-Unis, la NHTSA conseille même de laisser une marge de sécurité de 3s.

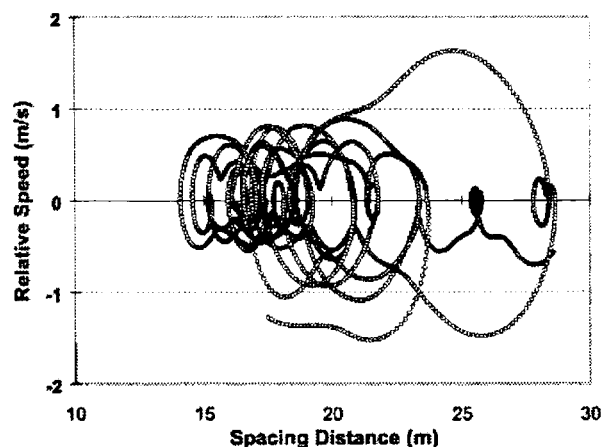


Figure 3. Un suivi proche (issue de (Brackstone, Sultan et al. 2002))

Lorsque l'on représente la vitesse relative en fonction de l'interdistance lors des situations de suivi proche, on retrouve généralement une courbe en forme de spirale, qui semble mettre en évidence des seuils d'interdistance et de vitesse relative que le conducteur ne souhaite pas dépasser (cf. Figure 3). L'étude faite par Brackstone ne permet pas de déterminer des seuils précis mais de caractériser ces seuils par des distributions probabilisées basées sur la vitesse (Brackstone, Sultan et al. 2002). Elle a permis de mettre en avant des distances

intervéhiculaires très faibles par rapport à celles préconisées par les organismes de sécurité routière puisque la probabilité d'avoir un temps intervéhiculaire inférieur à 2s (valeur préconisée) est de 95,8%. Des résultats similaires ont été trouvés dans d'autres études (cf. Figure 4).

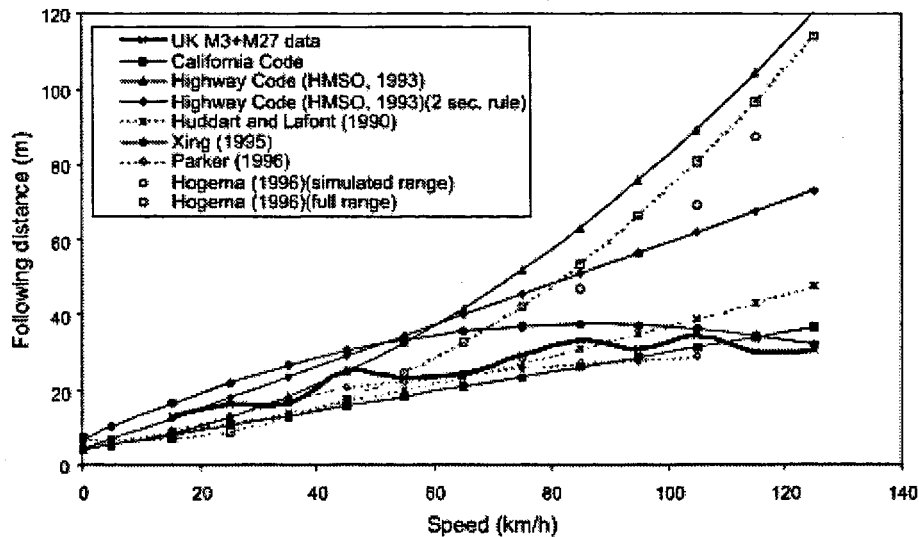


Figure 4. Comparaison des distances de suivi selon différentes sources (issue de (Brackstone, Sultan et al. 2002))

L'étude des situations de suivi est orientée pour étudier les temps intervéhiculaires pratiqués ou pour en faire un modèle.

5.2. Modélisation du suivi

La modélisation du suivi est faite selon deux points de vue : microscopique ou macroscopique. Les modèles microscopiques caractérisent les relations entre le système conducteur-véhicule et les dynamiques intervéhiculaires. Ils sont importants pour concevoir des systèmes automatiques qui sont proches de la performance humaine qui aident ou assistent le conducteur dans sa tâche de suivi. Ils permettent généralement d'estimer l'accélération du véhicule à partir des variables de vitesse, d'interdistance et de vitesse relative.

Les modèles macroscopiques impliquent généralement des structures qui mettent en relation le volume de véhicules, la vitesse et la densité pour un nombre important de véhicules. Ils sont utilisés par des ingénieurs qui à partir de l'analyse d'un suivi et donc du comportement d'une paire de véhicules, essaient de déduire le comportement d'une file de voitures. La stabilité du trafic est une extension logique de la théorie de suivi de véhicules ((May 1990) cité dans (Ranney 1999)).

La modélisation de la situation de suivi n'étant pas l'objet de ce travail de thèse, les différents modèles ne sont pas présentés ici. Cependant, Brackstone et McDonald proposent une revue complète sur les modèles de suivi de véhicule (Brackstone and McDonald 1999). Les modèles de suivi sont critiqués (Boer 1999; Hancock 1999) car ils semblent éloignés de la réalité. En effet, ils partent du principe que les conducteurs veulent constamment optimiser leurs performances et qu'ils sont toujours à un niveau optimal de leurs capacités. Cela n'est

évidemment pas exact et de nombreux facteurs influencent la manière dont le conducteur va gérer la situation de suivi.

5.3. Facteurs qui influencent la gestion de la situation de suivi

Certains facteurs environnementaux comme par exemple le moment de la journée, les conditions météorologiques, le trafic ou des facteurs individuels comme l'âge, le sexe, la distraction peuvent influencer les conducteurs dans leurs choix d'interdistances.

5.3.1. Facteurs environnementaux

Le facteur environnemental le plus important pouvant intervenir dans la situation de suivi semble être le trafic. En effet, un suivi proche réalisé lorsque le trafic est faible émane de la volonté du conducteur : c'est lui qui choisit la situation. Alors qu'en cas de fort trafic, le conducteur subit la situation (Ranney 1999). D'ailleurs, pour Ranney, l'influence des autres facteurs est fonction du niveau de congestion du trafic (cf. Figure 5). Les différences individuelles ont un impact plus fort lorsque le trafic est faible. Cependant, ce résultat est contredit dans l'étude faite par Brackstone et al. (Brackstone, Waterson et al. 2009). Dans leur étude, l'état de congestion du trafic ne semble pas avoir d'effet sur le choix des temps intervéhiculaires.

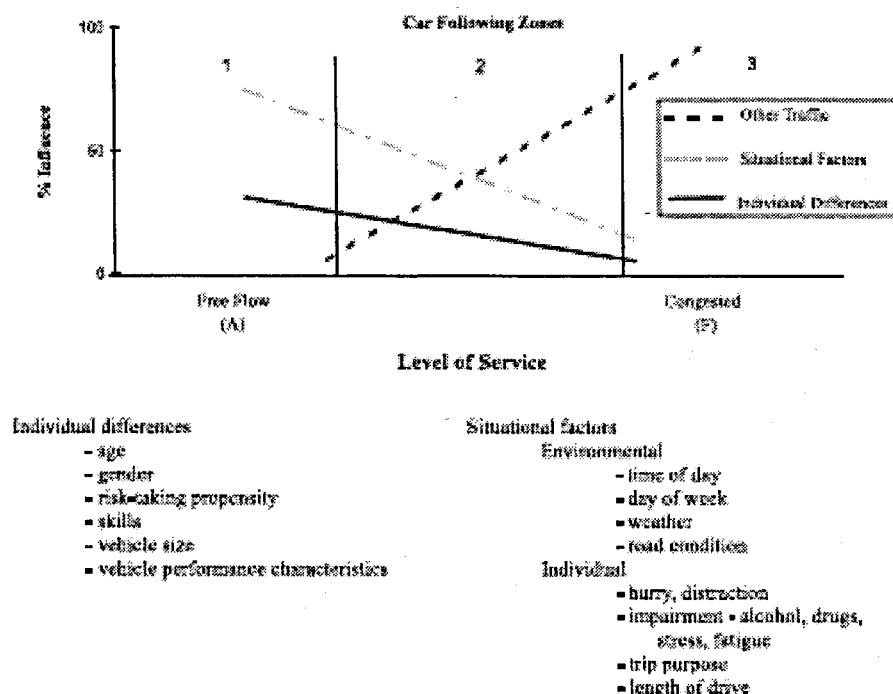


Figure 5. Modèle conceptuel de la contribution relative des différentes catégories de facteurs sur le comportement en suivi (issue de (Ranney 1999))

Il n'y a pas non plus consensus concernant l'impact des conditions météorologiques sur le choix des interdistances. En effet, selon Van der Hulst, le conducteur prend des marges de sécurité plus grandes lorsque les conditions visuelles sont dégradées (pluie, brouillard...) (Van der Hulst 1990). Pour Broughton, il y a deux types de comportements de conducteurs

dans le brouillard (Broughton, Switzer et al. 2007). Certains vont préférer garder le contact visuel avec le véhicule suivi et accepter des temps intervéhiculaires particulièrement courts. Les autres vont préférer perdre le contact visuel pour augmenter leurs interdistances.

Concernant l'impact du type de véhicule suivi, les résultats sont contradictoires. En effet, pour certains, à vitesse équivalente, les conducteurs suivent de plus près un camion qu'une voiture (Brackstone, Waterson et al. 2008). Pour d'autres, plus le véhicule suivi est large (van vs. voiture), plus les conducteurs laissent une grande distance (McDonald, Brackstone et al. 1997).

Le type de route emprunté (autoroute vs. ville) ne semble pas avoir d'influence sur le choix des temps intervéhiculaires (Brackstone, Waterson et al. 2008).

5.3.2. Facteurs individuels

De nombreuses idées, parfois préconçues, existent sur l'impact de l'âge, du sexe, de l'état de fatigue sur la gestion de la conduite et donc des interdistances en suivi.

Evans et Wasielewski trouvent que les interdistances augmentent avec l'âge et que les hommes adoptent des interdistances plus faibles que les femmes (Evans and Wasielewski 1983). Cependant, Rajalin et al. ne montrent aucune différence entre les hommes et les femmes (Rajalin, Hassel et al. 1997).

La recherche de sensations est souvent associée à des temps intervéhiculaires courts. D'ailleurs, la mesure des interdistances correspond souvent à une mesure de la prise de risques. Heino a confirmé que les personnes qui sont à la recherche de sensations ont des temps intervéhiculaires plus faibles que les personnes qui cherchent à éviter les sensations extrêmes (Heino, van der Molen et al. 1996). De plus, Les conducteurs qui vont plus vite que les autres ont tendance à avoir des interdistances plus courtes que les autres. Ils prennent donc plus de risques. Cependant, le fait de suivre de près ne semble pas être en lien avec le nombre d'accidents (Rajalin, Hassel et al. 1997). Cela pourrait s'expliquer par le fait que les conducteurs qui sont proches du véhicule suivi, toujours dans l'attente de dépasser, sont plus attentifs à la situation et leur état d'alerte favorise des temps de réaction plus courts et donc une meilleure gestion des interdistances courtes (Bjørnskau 1996; Van Winsum and Heino 1996). Il faut cependant garder à l'esprit que même si les chiffres ne le montrent pas, les suivis proches restent des situations particulièrement dangereuses.

Concernant l'utilisation du téléphone portable, 3 études montrent l'augmentation des temps de réaction lorsque le véhicule suivi freine ainsi que des temps intervéhiculaires plus faibles (Brookhuis, De Waard et al. 1994; Alm and Nilsson 1995; Lamble, Kauranen et al. 1999).

L'état du conducteur a également un impact dans la gestion des interdistances. Selon Van Winsum, le choix du temps intervéhiculaire de suivi est relativement constant pour un conducteur mais il dépend des capacités du conducteur (Van Winsum 1999). Ainsi, un conducteur fatigué augmenterait ces interdistances car il serait conscient que son état augmente son temps de réaction. Brookhuis et al. montrent que la prise d'alcool et d'antihistaminiques (de première génération) affecte les capacités du conducteur à suivre un véhicule (Brookhuis, De Waard et al. 1994).

La personnalité du conducteur peut également avoir un impact sur son comportement. En effet, Ohta trouve que les conducteurs qui sont instables affectivement et qui ne prennent pas en compte la sécurité automobile ont tendance à adopter des temps intervéhiculaires plus courts ((Otha 1993) cité dans (Ranney 1999)).

Lorsque l'on interroge les conducteurs sur les raisons qui les poussent à pratiquer des interdistances courtes, ils répondent à 40% qu'ils sont en attente de dépasser. Les suivis proches et les manœuvres de dépassement sont donc fortement liés. Être pressé est la deuxième cause évoquée (Rajalin, Hassel et al. 1997).

6. CONCLUSION

L'objectif de ce travail est de déterminer une méthodologie de production, d'exploitation et d'extraction de connaissances multiples en conduite automobile, applicable à l'étude de la situation de suivi pour essayer de développer des aides à la conduite qui correspondent au comportement naturel du conducteur. Un système d'aide à la conduite qui n'est pas sûr et efficace peut nuire à l'acceptabilité du système voire à la sécurité automobile en général. C'est pourquoi, il est indispensable d'utiliser des données de conduite réelles dans la spécification des systèmes.

Le choix d'extraire de la connaissance sur le comportement du conducteur en situation de suivi à partir notamment d'expérimentations sur route se justifie par le fait que pour le moment, les résultats obtenus sur la situation de suivi sont théoriques (des modèles de suivi difficilement applicables) ou contradictoires entre les différentes études notamment sur l'impact de certains facteurs. Ces contradictions peuvent être dues à des différences de protocoles. En effet, ces études ont été faites soit en simulateur (Broughton, Switzer et al. 2007), soit sur route avec un véhicule instrumenté (Brackstone, Sultan et al. 2002) ou encore à partir d'un point de mesure fixe (Rajalin, Hassel et al. 1997). Le nombre de conducteurs est parfois limité (exemple : 6 conducteurs pour (Brackstone, Waterson et al. 2009)). Il serait donc particulièrement intéressant de caractériser l'impact de certains facteurs environnementaux (infrastructure, trafic...) et individuels (âge, sexe, personnalité, cognition...) sur la gestion de la situation de suivi par le conducteur.

Comme cet état de l'art l'a montré, peu d'informations précises sur les stratégies de conduite des conducteurs ou même simplement sur la description de leurs actions en situation de conduite nominale sont disponibles dans la littérature. En effet, la compréhension du comportement des conducteurs nécessite des connaissances sur le conducteur et la tâche de conduite. Or, d'une part la connaissance du fonctionnement de l'être humain est aujourd'hui encore imparfaite et d'autre part, l'étude de la tâche de conduite est complexe. En effet, la description de la conduite est difficile en raison du nombre considérable de situations à observer, de l'influence de nombreux paramètres sur le comportement des conducteurs, du peu d'outils d'automatisation de ce type d'analyse et des moyens expérimentaux considérables nécessaires pour la mise en place de plans d'études. De plus, l'étude des données obtenues nécessite le traitement de variables objectives, subjectives, quantitatives, qualitatives, temporelles et non-temporelles extrêmement diverses. Le recueil et le traitement des données subjectives posent particulièrement problème. Ils nécessitent une expertise certaine de la part de l'expérimentateur qui doit être capable d'interpréter correctement ce que dit ou fait le sujet. C'est pourquoi dans le chapitre suivant, nous allons détailler une méthodologie d'exploitation de données multivariées.

II. OBTENTION ET ANALYSES DES DONNEES

L'étude du comportement du conducteur en conduite automobile requiert le recueil de données de natures diverses : objectives vs. subjectives, temporelles vs. non-temporelles et issues d'échelles quantitative, ordinale ou nominale.

Une fois les objectifs de l'étude fixés, par exemple étude de relations de causes à effets, l'acquisition de connaissances à partir d'une approche statistique peut s'envisager par l'intermédiaire d'un processus reposant sur quatre étapes (Loslever, Guerra et al. 1997) :

- la mise en place des dispositifs de mesure pour des variables de natures différentes ;
- la planification de l'étude, autour d'un plan d'expérience ou d'observation ;
- le recueil des données ;
- l'analyse statistique des données et la présentation des résultats sous forme de connaissances exploitables par l'utilisateur final (ergonome, ingénieur,...).

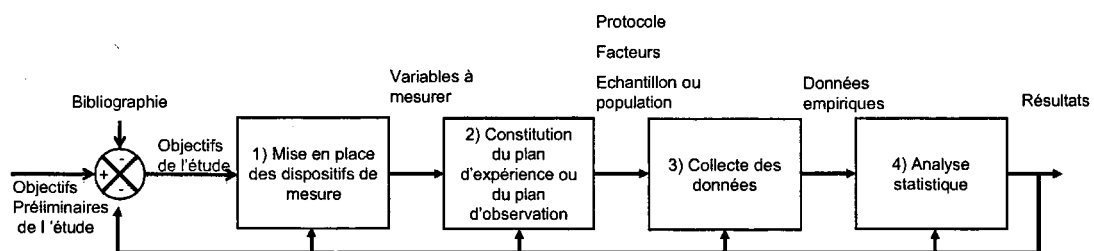


Figure 6. Acquisition progressive de connaissances sur le système étudié à partir d'une approche statistique (Loslever, Guerra et al. 1997)

Etant donné l'objectif de ce travail, principalement centré sur la mise en relation de données de natures différentes en conduite naturelle, nous allons nous focaliser dans ce chapitre sur les étapes 2 à 4 (cf. Figure 6).

1. METHODES DE PLANIFICATION D'UNE ETUDE

Il existe deux principales méthodes pour planifier une étude : un plan d'observation ou un plan d'expérience.

1.1. Méthode des plans d'observation

Dans un plan d'observation, l'information sur un phénomène est accumulée en l'observant dans son environnement naturel (Sheskin 2007). Cette méthode met l'accent sur la pertinence qui est conservée par l'étude du phénomène dans un cadre naturel. Mais cette méthode manque de précision. La précision est caractérisée par deux éléments : la quantification et le contrôle. En effet, la plupart du temps, les informations recueillies dans ce contexte de plan d'observation ne peuvent pas être transformées en données quantitatives qui peuvent être facilement analysées de manière statistique. En plus, cette méthode d'observation ne permet pas d'introduire le contrôle dans certaines situations étudiées et de ce fait, il est difficile ensuite de clairement identifier les causes et les effets du phénomène étudié.

1.2. Méthode des plans d'expérience

Dans un plan d'expérience, l'information sur un phénomène est accumulée à partir de situations en milieu contrôlé pour déterminer s'il existe des relations de cause à effets entre une variable indépendante (facteur) et une variable dépendante. L'information ainsi obtenue ne correspond pas toujours à ce qui se serait passé en milieu naturel. Il se pose donc un problème de validité externe. La validité externe correspond au degré avec lequel les résultats peuvent être généralisés au-delà du cadre dans lequel l'expérimentation a été conduite. Généralement il existe deux groupes, un groupe expérimental qui reçoit le « traitement » et un groupe de contrôle qui ne reçoit pas de « traitement » (Gray 2004). En outre il existe deux types de plans d'expérience (Sheskin 2007) :

- Le « vrai » plan d'expérience. Les sujets sont distribués de façon aléatoire dans les groupes et les variables dites « indépendantes » (Sheskin 2007) sont manipulées par le chercheur.
- Le plan quasi expérimental. L'assignation d'un sujet à un groupe ne peut être faite de manière aléatoire. Les variables indépendantes ne sont pas manipulées par le chercheur, ce sont des caractéristiques préexistantes (exemple : âge, sexe, race, fumeur, non-fumeur...).

Dans le premier cas, il y a un meilleur contrôle de la situation expérimentale par le chercheur. Comme les sujets sont distribués de manière aléatoire dans les groupes, les différences de résultats entre les groupes peuvent être attribuées à la variable indépendante manipulée. Il est donc possible de conclure sur des relations de cause à effet contrairement au plan quasi expérimental. En effet, dans ce cas, se pose un problème de validité interne qui réfère à la valeur qui peut être assignée à la conclusion d'une relation de cause à effet entre une variable indépendante et une variable dépendante, cette relation ayant été établie dans un contexte particulier d'étude (Reis 2000). La question est de savoir si les changements dans la variable dépendante sont dus aux changements de la variable indépendante (manipulée dans le cas d'un plan expérimental) ou à ceux d'une troisième variable masquée.

Pour faciliter la compréhension, le système de notation suivant va être utilisé tout au long de la thèse :

- Une lettre double désigne un ensemble de données, par exemple, l'ensemble E .
- Une lettre capitale indique la taille de l'ensemble, par exemple, $E = \text{card}(E)$, où card désigne la fonction cardinal.
- Du fait de la présence de plusieurs jeux de données et de plusieurs types de transformations, un indice indique le label du jeu de données et un exposant indique le label de la transformation (par exemple, un jeu initial set E_i devient E_i^a si la méthode de transformation a est utilisée en premier, E_i^{ab} si la méthode b est utilisée ensuite, etc...).
- Une lettre en caractère gras désigne un vecteur ou une matrice (exemple : $\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3)'$ ou $\mathbf{X} = \mathbf{x} * \mathbf{x}'$).

En résumé, que ce soit dans le contexte du plan d'expérience ou du plan d'observation, deux ensembles essentiels peuvent être définis :

- un relatif aux variables dites indépendantes (de l'expression anglaise indépendant variables), $U = \{X_u, u=1, \dots, U\}$. Dans un plan d'expérience, $U = U_m + U_c + U_n$ où U_m est le nombre de variables contrôlées et manipulées, U_c est le nombre de variables contrôlées mais non manipulées et U_n est le nombre de variables non-contrôlées. Dans un plan d'observation, $U_m = 0$. Dans la suite, le contenu de U sera appelé variable d'entrée ou facteur.
- un relatif aux variables dites dépendantes (dépendant variables en anglais), $V = \{Y_v, v=1, \dots, V\}$, celles-ci pouvant être liées aux trois composantes du système Conducteur-Véhicule-Environnement (CVE). Dans la suite, on appellera variable de sortie ou simplement variable toute grandeur enregistrée in situ ou toute grandeur, fonction de ces grandeurs enregistrées (comme la moyenne arithmétique d'un signal).

En gardant à l'esprit la Figure 6, l'objectif essentiel de l'étude est alors l'analyse

- 1) des influences des facteurs sur les variables enregistrées et/ou
- 2) des relations entre les variables enregistrées.

Le système étudié peut être modélisé de la façon suivante :

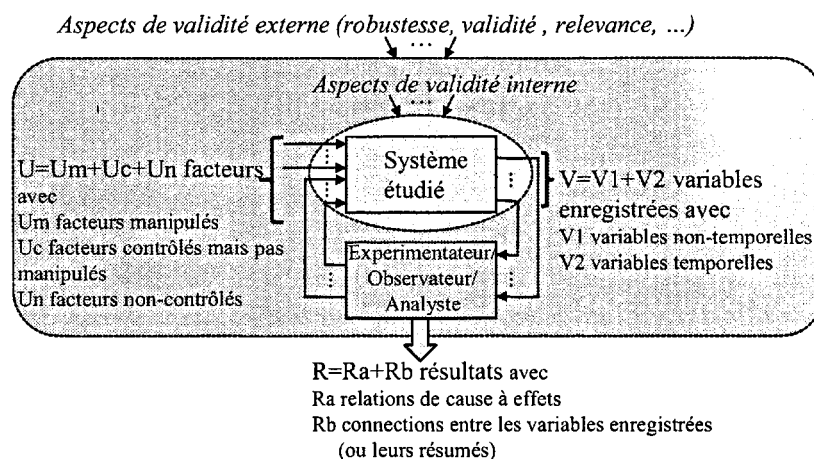


Figure 7. L'étude est vue comme l'analyse d'un système

Après avoir spécifié l'organisation spatio-temporelle d'acquisition des données — pour résumer, avec quelles combinaisons de modalités de facteurs et, dans quel ordre, tel ou tel

individu va générer un ensemble de données — se pose le problème du recueil opérationnel de données.

2. METHODES DE RECUEIL DE DONNEES

S'agissant ici, de l'étude d'un système à composante humaine, il importe de garder à l'esprit une grande diversité dans ces méthodes (enregistrement en temps réel vs. différé, données objectives vs. subjectives, quantitatives vs. qualitatives, absolues vs. relatives, etc.). A l'instar du paragraphe précédent, vu le contexte spécifique du système CVE, considérons ici une dimension taxinomique essentielle, données temporelles vs. non-temporelles.

2.1. Méthodes produisant des données non-temporelles

Les données non-temporelles sont soit fournies par l'opérateur lui-même soit souvent codées par l'expérimentateur lorsqu'elles sont relatives au véhicule et à l'environnement.

2.1.1. Données fournies par l'opérateur

Pour accéder aux caractéristiques de l'opérateur et à son ressenti, les questionnaires sont souvent utilisés en ergonomie (charge physique ou mentale (NASA-TLX), confort) (Hart, 1988), en psychologie (tests neuropsychologiques, de personnalité (Recherche de sensations (Zuckerman 1994),...) ou encore en physiologie (Test de temps de réaction (Collet, Guillot et al. 2003)). Cependant ces données sont très sensibles aux variations intra- et inter-individuelles. Les questionnaires utilisent la plupart du temps des systèmes d'échelles capables de prendre en compte les sensibilités des sujets. Par exemple, dans le calcul du quotient intellectuel, les scores obtenus à la WAIS (Wechsler Adult Intelligence Scale, (Wechsler 1944)) ont été standardisés pour être comparables entre les personnes en fonction de leur âge, de leur sexe.

Pour répondre à un questionnaire, il existe quatre types d'échelles (Stevens 1974):

- l'échelle nominale comporte un certain nombre de catégories toutes différentes les unes des autres (exemple : oui/non...). Le questionnaire sur la recherche de sensations utilise ce type d'échelle (Zuckerman 1994). Les sujets doivent choisir entre deux affirmations celle qui correspond le plus à leurs préférences.

Exemple :

- Proposition A : « Je rêve souvent que je pourrais être un alpiniste »
- Proposition B : « Je ne comprends pas les gens qui risquent leur vie à escalader les montagnes ».
- l'échelle ordinale est composée en revanche, de catégories munies d'une structure d'ordre, établie en fonction d'un critère donné. Par exemple, dans le Driver Behavior Questionnaire (Reason, Baxter et al. 1990), les sujets doivent indiquer dans quelle mesure il leur arrive d'avoir certains comportements selon 6 propositions ordonnées de « jamais » à « toujours ». De même, dans le test de personnalité NEO-PI, les sujets doivent exprimer leur accord avec des affirmations selon 5 propositions entre « fortement en désaccord » et « fortement en accord » (Costa Jr and McCrae 1994).

- l'échelle d'intervalle permet de mesurer l'intensité de certaines propositions. Par exemple, dans l'évaluation de la charge mentale, la méthode NASA-TLX (Hart and Staveland 1988) permet au sujet d'auto-évaluer certains critères de demande mentale ou physique en mettant une croix sur une échelle continue allant de « faible » à « élevée ».
- l'échelle de rapport est une échelle qui présente un zéro absolu (qui caractérise l'absence de phénomène). Cette échelle est utilisée par exemple pour obtenir l'âge ou encore le kilométrage parcouru.

En psychologie, l'évaluation des fonctions exécutives comme la capacité d'inhibition ou de flexibilité est réalisée grâce à des tests qui mesurent des temps de réaction. Les sujets doivent ainsi le plus rapidement possible répondre à des stimuli proposés (Ridley Stroop 1935). Par exemple, dans le test Stroop qui mesure l'inhibition, les volontaires doivent nommer une couleur dans laquelle est écrite un mot, et le mot lui-même étant le nom d'une autre couleur. On mesure donc la rapidité avec laquelle le volontaire donne la bonne réponse.

2.1.2. Données relatives au véhicule et à l'environnement

Des données non-temporelles concernant le véhicule et la caractérisation de l'environnement sont également disponibles. Elles sont généralement utilisées comme des facteurs dans les analyses.

Par exemple, pour le véhicule, il peut être intéressant d'avoir des informations sur le type de véhicule ou sur les aides qui équipent celui-ci comme l'ESP, l'ABS ou l'ACC. Il est ainsi possible de comparer les comportements avec ou sans système et d'en déduire son impact sur la conduite (Kassaagi 2001; Page and Cuny 2006).

Pour l'environnement, on relève généralement la présence de certaines sources de perturbations comme le GPS, l'autoradio, des conditions météorologiques dégradées (Broughton, Switzer et al. 2007) ou un trafic important (Brackstone, Waterson et al. 2009) pour caractériser les modifications de comportement qu'elles entraînent.

2.2. Méthodes produisant des données temporelles

Gardant à l'esprit les 3 définitions essentielles du mot temps — chronologie, durée et simultanéité (Barreau 1987)—, on considère ici comme données temporelles toutes celles qui peuvent correspondre à la première notion, c'est-à-dire toutes celles pour lesquelles l'influence du temps peut faire l'objet d'une analyse.

L'implémentation de capteurs physiques sur le conducteur ou dans le véhicule permet l'enregistrement de différents signaux pendant des durées prolongées.

2.2.1. Signaux relatifs au conducteur

Des signaux de nature physiologique ou les mouvements du corps (ou d'une partie du corps) permettent la caractérisation du comportement du conducteur.

Les mesures physiologiques sont généralement des électrocardiogrammes, des électroencéphalogrammes ou des mesures de l'activité électrodermale (Collet, Guillot et al. 2003). Elles permettent de caractériser l'état du conducteur (sa charge de travail, son état de stress, sa vigilance...). Elles sont utilisées notamment dans les études mesurant l'impact d'un système d'aide à la conduite sur la charge de travail (Ramon, Clarion et al. 2008), sur la

distracted d'un conducteur (Petit, Clarion et al. 2008) ou encore pour détecter l'hypovigilance (Papadelis, Chen et al. 2007). Les mouvements oculaires pour connaître la répartition de l'attention dans l'espace visuel de conduite ou pour détecter l'hypovigilance (Todoskoff 1999). L'enregistrement et l'analyse de ces mesures permettent ainsi d'avoir une représentation du travail perceptif du conducteur. On peut notamment utiliser cette mesure pour évaluer la part d'attention visuelle nécessaire pour utiliser un système d'aide embarqué.

Les mouvements du corps peuvent être enregistrés pour être mis en relation, par exemple, avec l'état d'hypovigilance (Rogé, Pebayle and al. 2001).

La caractérisation du comportement du conducteur passe obligatoirement par l'enregistrement de signaux relatifs au véhicule et à sa situation dans l'environnement. En fonction des l'objectifs de l'étude, les signaux enregistrés peuvent être différents.

Dans les études sur le suivi ou la vigilance, les informations relevées concernant le véhicule sont généralement la vitesse et l'accélération (Rajalin, Hassel et al. 1997). Ces données sont couplées aux mesures faites par un radar de l'interdistance et de la différence de vitesse avec le véhicule suivi (Brackstone, Sultan et al. 2002).

Le recueil de données en situation d'urgence nécessite l'enregistrement de signaux de dynamique véhicule (vitesses, accélérations...), de signaux relatifs aux actions du conducteur sur les pédales (pression maître-cylindre, enfoncement de la pédale de frein...) et sur le volant (angle au volant) (Bousslimi 2006).

Pour déterminer l'impact d'un système d'aide à la conduite, la vitesse, les accélérations longitudinale et transversale, l'utilisation du clignotant, l'angle au volant et la position dans la voie sont souvent enregistrées (Hoedemaeker and Brookhuis 1998; Rudin-Brown and Parker 2004).

Pour les études faites sur routes ouvertes regroupant des véhicules de particuliers équipés (FOT), il est indispensable de récupérer les signaux issus du GPS pour pouvoir localiser le véhicule dans l'environnement et pouvoir ainsi caractériser le type de route emprunté et la limitation de la vitesse (Francher, Ervin et al. 1998).

2.2.2. Evaluations produites par les participants à l'étude

Les sujets ont parfois du mal à répondre avec la plus grande « honnêteté » aux évaluations par questionnaire notamment sur les infractions ou accidents commis. Il est donc parfois plus facile d'obtenir des informations grâce à la verbalisation en temps réel (directement en situation de conduite) ou en différé lors d'entretiens. Les informations ainsi obtenues sont relatives à une situation précise dans le temps.

La verbalisation, comme le propose Saad ou Villame, permet d'aborder la signification par l'action en demandant au sujet de « penser tout haut » en même temps qu'il effectue une tâche de conduite naturelle (Saad 1992; Villame and Theureau 2001). La verbalisation permettrait donc d'accéder au sens que le conducteur donne à ses actions. Elle vise essentiellement à révéler quels sont les éléments de l'environnement que le conducteur prend en compte dans telle ou telle situation, quels éléments sont saillants...

L'entretien d'autoconfrontation a le même but que la verbalisation en conduite. Il est réalisé après la phase de conduite. Il est demandé au sujet de se remémorer une situation et de l'expliquer avec de la vidéo qui rejoue la situation (Cahour 2006). L'entretien d'explication permet lui de donner la parole aux personnes sur des sujets particuliers (intérêt pour un système d'aide, importance de la voiture...) pour approcher au plus près les représentations,

les ressentis, les buts et percevoir le sens donné à leurs comportements (présents ou absents) et cela sans support mnésique (Vermersch 1994).

2.2.3. Synthèse

En résumé, concernant le recueil des données, le protocole détermine d'abord comment les facteurs évoluent (aléatoirement, avec des valeurs spécifiques, avec tels ou tels individus...) parmi les conditions successives du plan de recherche. Par exemple, avec deux facteurs j et k avec respectivement J et K niveaux, et avec un plan d'expérience sur un système à composante humaine avec I individus, un plan d'expérience complet spécifie dans quel ordre les $Q=I*J*K$ triplets sont testés. Le protocole définit notamment la chronologie des jeux de données qui sont enregistrés pour chaque condition q ($q=1, \dots, Q$). En gardant à l'esprit que l'on peut recueillir des données temporelles et des données non-temporelles, une séquence souvent utilisée est l'enregistrement d'un jeu de données non-temporelles en premier (exemple : données subjectives sur l'état mental et physique du sujet ou encore des données générales sur le système), et ensuite une alternance entre données temporelles et données non-temporelles (cf. Figure 8). Dans quelques rares cas, les deux types de données sont présents en même temps (exemple : cas de l'étude d'une tâche secondaire dans les études de systèmes à composantes humaines dans lesquelles le conducteur est surchargé mentalement par des questions cognitives (Meshkati, Hancock et al. 1990; Stanton, Salmon et al. 2000).

Une fois, le recueil de données terminé, il faut les exploiter. La méthode d'exploitation choisie dépend de l'objectif de l'étude et du type de données disponibles. Le paragraphe suivant présente succinctement différentes méthodes d'exploitation des données.

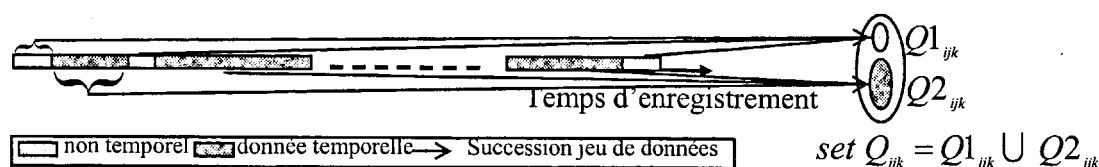


Figure 8. Existence d'un protocole qui définit la chronologie d'enregistrement des données pour une unité statistique i donnée (ici un être humain) qui teste chaque paire de combinaison de modalités de facteurs j et k (exemple avec un triplet donné (i,j,k)) (la taille de l'ovale figure celle de l'ensemble)

3. METHODES D'EXPLOITATION DES DONNEES

Il existe une multitude de méthodes statistiques. Elles sont en général classifiées, selon les trois dimensions taxinomiques suivantes (Loslever 2001) :

- le facteur *temps* peut être introduit ou non dans le modèle statistique. S'il est introduit, les méthodes d'analyses classiques des séries temporelles et de systèmes dynamiques sont utilisées ;
- l'aspect *probabiliste* peut également être pris en compte ou non dans le modèle statistique. Si c'est le cas, des méthodes de la statistique inférentielle sont utilisées, sinon on se trouve dans le domaine de la statistique descriptive ;
- l'aspect *multidimensionnel* peut être introduit dans le modèle. En présence de N variables, deux démarches s'opposent : une analyse N -variée (multivariée) vs. N

analyses univariées (monovariés), l'analyse multivariée est plus complexe à mettre en place.

En combinant les trois aspects présentés ci-dessus, il est possible de classer les méthodes en 8 catégories. En fonction des aspects qui nous intéressent dans une étude, des méthodes différentes vont être utilisées. Par exemple, les méthodes monovariées inférentielles, ne prenant pas en compte l'aspect temporel et qui ont pour but de tester des hypothèses, sont souvent utilisées sur les systèmes à composante humaine (Analyse de la variance paramétrique via le test de Fisher-Snedecor, tests non-paramétriques de Mann-Whitney ou de Wilcoxon (Saporta 2006)). Les méthodes issues de l'automatique et de l'analyse des séries temporelles permettent pour leur part de conserver le temps. Cependant, la complexité des bases de données rencontrées dans les systèmes à composante humaine conduit généralement à aborder le problème de leur exploitation à partir d'une démarche descriptive et multivariée. Les techniques les plus souvent utilisées sont des méthodes multidimensionnelles comme les méthodes factorielles ou de classification automatique.

3.1. Méthodes inférentielles

Dans les revues d'ergonomie, de psychologie ou sur la conduite automobile, les méthodes basées sur les tests d'hypothèses sont majoritairement utilisées. C'est pourquoi nous allons dans un premier temps nous intéresser à ces méthodes.

Ce sont des méthodes inférentielles qui ont pour but de vérifier une hypothèse déterminée a priori et d'étendre les propriétés constatées sur l'échantillon à la population toute entière (Saporta 2006).

Il existe de nombreux tests d'hypothèses qui peuvent être classés selon trois principales dimensions taxinomiques :

- Les méthodes *paramétriques* vs. *non-paramétriques*. Si les distributions des populations sont de type Laplace-Gauss, les méthodes paramétriques peuvent être utilisées (Morineau 1995).
- L'application à des *Echantillons appariés* vs. *échantillons non appariés*. Deux échantillons appariés sont rendus comparables en recrutant leurs membres selon des critères jugés pertinents pour l'étude, et en s'assurant que les répartitions sur ces critères soient les mêmes de l'un à l'autre.
- Le *nombre de facteurs* pris en compte. Il est possible d'étudier l'influence d'un facteur sur les données ou de l'interaction de plusieurs facteurs.

Par exemple, L'analyse de la variance (terme souvent abrégé par le terme anglais ANOVA : *ANalysis Of VAriance*) est une technique statistique paramétrique permettant de comparer les moyennes de deux populations ou plus. Il s'agit d'une généralisation à k populations du test de Student de comparaison de moyennes de deux échantillons. L'ANOVA a pour but d'estimer la crédibilité de l'hypothèse selon laquelle les moyennes des populations étudiées sont égales. Pour cela, elle donne une réponse qualitative à la question de savoir si les moyennes mesurées sur les groupes sont significativement différentes ($p < 0,05$, en général) (Dodge 2004). Notons que pour bon nombre de tests paramétriques monovariés, la version multivariée existe (exemple MANOVA). Néanmoins, elles sont peu utilisées car donnent des résultats relativement complexes.

Si ces conditions ne sont pas réunies, les tests non paramétriques peuvent être utilisés. En effet, ils ont pour intérêt que leur validité dépend seulement d'un nombre réduit de conditions

générales beaucoup moins contraignantes que celles requises pour la mise en œuvre des tests paramétriques (Capéraà, Van Cutsem et al. 1988).

De manière synthétique, pour tous ces tests, la probabilité « p » calculée correspond à la probabilité de rejet de l'hypothèse « nulle » H_0 . Le test est considéré significatif (l'hypothèse « nulle » H_0 est rejetée) si la probabilité « p » est inférieure à 0,05 (ou 5 %).

Il existe aussi la statistique bayésienne qui est présentée comme un raffinement de la statistique paramétrique (Saporta 2006). On nomme inférence bayésienne la démarche logique permettant de calculer ou réviser la probabilité d'une hypothèse. Cette démarche est régie par l'utilisation de règles strictes de combinaison des probabilités, desquelles dérive le théorème de Bayes. Dans la perspective bayésienne, une probabilité n'est pas interprétée comme le passage à la limite d'une fréquence, mais plutôt comme la traduction numérique d'un état de connaissance (par exemple, le degré de confiance accordé à une hypothèse). La statistique bayésienne est une approche qui permet d'incorporer de l'information au préalable et se révèle particulièrement utile dans les cas limites comme dans les essais de fiabilité où l'on ne constate que très peu de défaillances (voire aucune) sur n essais. Les estimations classiques paramétriques du taux de défaillance sont impossibles ou très imprécises.

L'avantage des modèles probabilistes est qu'ils permettent une généralisation des résultats à la population dont l'échantillon est issu. Par contre, ces méthodes inférentielles prennent peu en compte l'aspect temporel. La partie suivante aborde donc les méthodes temporelles issues de l'automatique.

3.2. Méthodes issues de l'automatique et de l'analyse des séries temporelles

Deux principaux types de modèles utilisés soit en contrôle-commande, soit en traitement du signal peuvent être repris pour l'étude de la conduite.

Premièrement, ceux utilisés en contrôle commande par les automaticiens se présentent généralement sous forme de schémas blocs. Certains ne font pas apparaître d'expressions mathématiques. Ce sont des modèles essentiellement descriptifs. Par exemple, la méthode SADT (Structured Analysis and Design Technic) est une démarche systémique de modélisation d'un système complexe (cf. Figure 9) ou d'un processus opératoire qui permet une décomposition organisationnelle et temporelle. Cette méthode d'analyse est l'un des standards de description graphique d'un système complexe par analyse fonctionnelle descendante, c'est-à-dire que l'analyse chemine du général (dit "niveau A-0") vers le particulier et le détaillé (dits "niveaux Aijk").

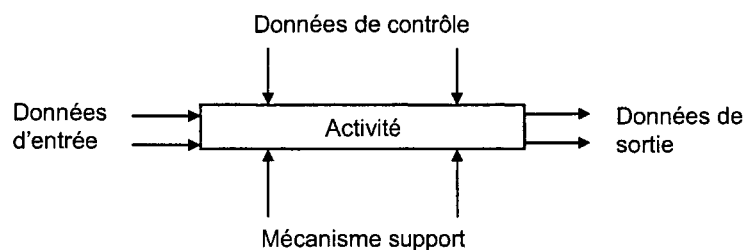


Figure 9. Représentation d'un actigramme de la méthode SADT

L'utilisation des réseaux de Pétri permet une modélisation du comportement des systèmes dynamiques à événements discrets. Ils décrivent les relations existantes entre des conditions et des événements. Ces modèles peuvent être appliqués à l'activité humaine. En effet, le modèle

de Rasmussen a été construit selon les lois du contrôle de processus dynamique (Rasmussen 1986). L'opérateur détecte une situation anormale, évalue la situation en observant les informations disponibles et en identifiant (diagnostic) ou anticipant (pronostic) l'état du système. Il élabore ensuite une solution en fonction des contraintes et des risques encourus. Cette solution est planifiée en buts, sous-butts et procédures de mise en œuvre, ce qui constitue la tâche à exécuter (Millot 1999).

Dans un deuxième groupe de modèles issus du contrôle-commande, le temps reste dans le modèle. Dans ce cas, le système étudié est représenté à l'aide de fonctions de transfert. Ce sont par exemple des systèmes du premier ou du deuxième ordre avec ou sans retard pur. Dans ce cas, le modèle est décidé a priori. Les expérimentations permettent de tester l'influence de certains facteurs sur les paramètres du modèle (Praamstra, Zaai et al. 2008).

En traitement du signal, l'étude des séries temporelles fait appel à des modèles mathématiques dans lesquels le temps apparaît. Ce sont des modèles tels que $x(t)=a.t + b$ ou alors des modèles plus complexes du type ARIMA (Autoregressive integrated moving average) (Mills 1990). Ces modèles permettent de prévoir les points futurs de la série.

Ces modèles (type ARIMA) font intervenir le temps mais malheureusement ils permettent difficilement la prise en compte, conjointe, de données multifactorielles et multivariées.

3.3. Méthodes multidimensionnelles préservant l'aspect multifactoriel et multivarié

Comme le paragraphe précédent le montre, les modèles issus de l'automatique ne permettent de répondre que partiellement à notre problématique. Les méthodes factorielles, de classification ou de discrimination gardent l'aspect multifactoriel et multivariée (MFMV) (Benzecri 1992; Jobson 1992; Fontaine and Gourlet 1997; Mabunda, Swart et al. 2008).

Les techniques de classification automatique sont destinées à produire des groupements de lignes ou de colonnes d'un tableau (Lebart, Morineau et al. 2004). Lorsque l'on utilise des techniques de classification automatique, on suppose que quelques regroupements peuvent exister ou au contraire on exige que certains regroupements soient effectués. Les techniques de classification sont basées sur une démarche algorithmique constituée d'une série d'opérations définies de façon récursive et répétitive.

On désigne sous le nom d'analyse discriminante une famille de techniques destinées à classer (affecter à des classes préexistantes) des individus caractérisés par un certain nombre de variables numériques ou nominales (Lebart, Morineau et al. 2004). L'analyse factorielle discriminante est une méthode à la fois descriptive et prédictive, qui donne lieu, comme les méthodes factorielles à des calculs d'axes principaux. Elle peut être considérée comme une extension de la régression multiple dans le cas où la variable à expliquer est nominale et constitue la variable de partition.

Les méthodes factorielles, comme l'Analyse en Composantes Principales (ACP) ou l'Analyse des Correspondances Multiples (ACM) gardent l'aspect MFMV (Loslever 2009). En effet, ce sont des méthodes descriptives dont le but est de synthétiser l'information contenue dans des tableaux de données où, souvent, les colonnes correspondent aux variables et les lignes aux observations. La grande différence entre l'ACP et l'ACM est que la seconde permet de mettre en exergue des relations complexes, par exemple entre des variables quantitatives préalablement découpées en fenêtres spatiales (les colonnes correspondent alors à des fenêtres, il est alors possible de faire apparaître des relations non linéaires) ou entre des

variables quantitatives et qualitatives. Une analyse statistique basée sur l'ACM permet alors de détecter les données douteuses lors de la phase de découpage (notamment grâce à l'étude des histogrammes). L'utilisation d'éléments dits « supplémentaires » ou « illustratifs » permet de prendre en compte toute l'information susceptible d'aider à comprendre ou à interpréter la typologie induite par les éléments actifs (Lebart, Morineau et al. 2004). L'aspect multifactoriel peut ainsi être étudié via la projection de points-lignes ou de points-colonnes illustratifs.

Cependant, l'ACM présente certains inconvénients. C'est une méthode longue et complexe (découpage en fenêtres) et elle est parfois décrite comme mettant en lumière des résultats triviaux. Cependant, les méthodes inférentielles nécessitent des hypothèses a priori pouvant parfois être difficiles à formuler, surtout si l'analyse statistique en est à ses débuts.

3.4. Synthèse

Il n'y a pas de méthode miracle, il faut utiliser la plus adaptée en fonction du problème, voire les enchaîner.

En général, il faut donc passer par une approche dite « exploratoire » essentiellement basée sur les méthodes descriptives pour relever des phénomènes et ensuite utiliser l'approche dite « confirmatoire », offerte par des méthodes inférentielles (Lebart, Morineau et al. 2004).

Le paragraphe suivant présente les étapes de base d'un chemin d'analyse des données et deux exemples de chemins basés sur la description et sur l'inférence.

4. ANALYSE VIA UNE SUITE DE CHEMINS DE PLUS EN PLUS SPECIFIQUES

4.1. Les étapes de base d'un chemin

Dans le processus d'analyse statistique, le problème essentiel provient du fait que dans la grande majorité des cas, la structure de données initiale ne peut pas être appréhendée telle quelle. L'analyse, étape 4 de la Figure 6, ne pouvant se faire directement, il est nécessaire de caractériser, de coder et de mettre en forme pour obtenir une structure simplifiée, généralement un tableau à deux dimensions. La présentation des résultats est la dernière étape de l'analyse statistique (cf. Figure 10). La démarche progressive en cinq étapes d'extraction des connaissances va donc être présentée (Loslever, Guerra et al. 1997).

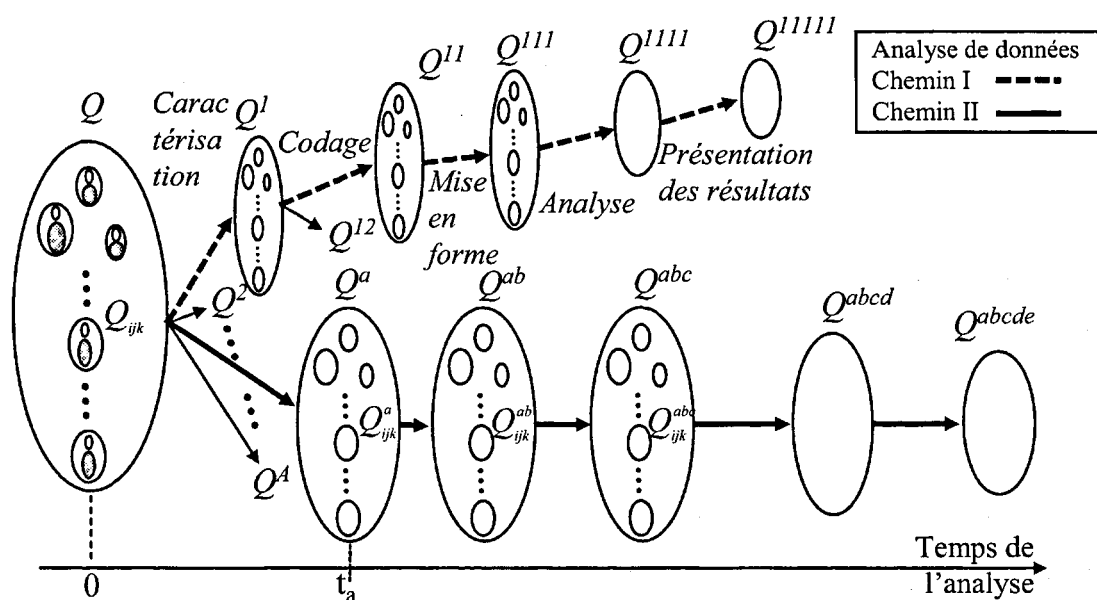


Figure 10. Principe de transformation des données et analyse statistique en vue d'extraire des connaissances

4.1.1. Caractérisation des données

La caractérisation a pour objet de construire des nouvelles variables « pertinentes » à partir des variables mesurées (VM) qui deviendront les variables de l'analyse (VA) afin de résumer les données sous forme d'un ou plusieurs indicateurs en conservant le maximum d'informations. Il s'avère que l'étape de caractérisation des VM peut aboutir à une multitude de nouvelles variables possibles. Cette étape est donc fondamentale car elle est génératrice des variables de l'analyse statistique proprement dite.

Dans la plupart des cas (Chemin I basé sur l'ANOVA, Figure 10), l'ensemble des valeurs d'une variable mesurée est représenté par un indicateur global : une moyenne (arithmétique, quadratique...) ou un écart-type. Dans le cas des données temporelles, des indicateurs locaux peuvent être utilisés (calculs spécifiques dans des fenêtres temporelles). Lorsque l'on caractérise de manière « classique », on obtient l'ensemble Q^1 . Les analyses monovariées comme l'analyse de la variance ou un test d'hypothèse non paramétrique, peuvent directement être appliquées après cette étape de caractérisation. Dans le cas d'une analyse multidimensionnelle, une étape de codage sera nécessaire.

Dans l'optique d'une approche multidimensionnelle visant à conserver les aspects MFMV (Chemin II basé sur l'ACM, Figure 10), un découpage en fenêtres spatiales et/ou temporelles peut être intéressant (Loslever, Simon et al. 2008). Lorsque l'on utilise des fenêtres spatio-temporelles pour la caractérisation, on obtient Q^a . Le nombre et la forme du découpage des fenêtres dépendent de la précision que l'on souhaite atteindre dans l'analyse, des valeurs prises par les variables et des phénomènes que l'on souhaite étudier. Un grand nombre de fenêtres affine l'étude, mais peut la complexifier inutilement et rendre le découpage moins robuste (l'effectif d'une classe peut être très petit). Le choix des classes et des bornes doit essentiellement se faire à partir de l'étude de la distribution de la variable. L'étude des histogrammes est longue mais cela permet de repérer des données aberrantes dues à des erreurs de mesure ou à une erreur matérielle ou humaine. Chaque classe est définie par une

fonction d'appartenance. Pour un codage binaire, la fonction d'appartenance est égale à 1 entre les deux bornes de la classe sinon elle est nulle. Le codage binaire peut faire perdre de l'information notamment lorsqu'une valeur tombe juste sur la frontière entre deux classes. Le concept de découpage flou a été introduit pour autoriser des éléments à ne pas appartenir à une seule classe. Le découpage flou associe une fonction d'appartenance à chaque classe (Bouchon-Meunier and Zadeh 1995). Dans l'optique d'une analyse statistique, il est préférable de respecter la contrainte suivante : la somme des valeurs d'appartenance vaut 1. Lorsque l'on dispose de données temporelles, on peut également découper les données selon des fenêtres temporelles. Ce découpage peut être formalisé sur le même principe que le découpage spatial, les fenêtres temporelles sont généralement identiques pour toutes les variables, ce qui permet de rendre les variables de l'analyse synchrones.

Pour faire un parallèle entre des données temporelles et des données non-temporelles, des valeurs avec un même modèle mathématique peuvent être utilisées, par exemple l'échelle des valeurs d'appartenance. Ainsi chaque échelle initiale $v = (v=1, \dots, V)$ est découpée en plusieurs fenêtres spatiales (Loslever 2001; Loslever, Simon et al. 2008). Cette possibilité de fenêtres floues offre de nombreuses perspectives intéressantes d'analyse des données. On peut également considérer plusieurs fenêtres temporelles.

Deux types de découpage spatial peuvent être considérés :

- 1) Un découpage global (FSg) : les fenêtres spatiales d'une variable sont les mêmes pour toutes les situations ayant engendré un ensemble de données ; par exemple tous les triplets (i,j,k) , si on reprend le cas considéré plus haut où i correspond à l'individu et j et k indiquent 2 facteurs expérimentaux, (cf. Figure 8)
- 2) Un découpage local (FSl) : les fenêtres spatiales d'une variable sont différentes pour des sous-ensembles de situations (exemple : par individu (Loslever 1988) ou par infrastructure routière).

FSg est plus rapide et plus facile à mettre en œuvre que FSl. En effet, il n'y a qu'une seule distribution à analyser par variable. Cependant, FSl caractérise mieux des données car il est adapté à un sous-ensemble de données.

En outre, deux stratégies principales existent dans le choix des fenêtres :

- 1) un découpage adapté à l'histogramme (Dh)
- 2) en tenant compte de données externes (De), par exemple une réglementation (vitesse maximale ou une recommandation (distance inter-véhicule minimale en conduite urbaine à 50km/h).

Le choix de la stratégie dépend principalement de l'objectif de l'étude. Si l'analyse est purement comportementale, la stratégie Dh est plutôt à privilégier. Par contre, si l'objectif est la prise de risque, le respect des consignes, la deuxième stratégie (De) est à privilégier. De plus, pour pouvoir comparer les différentes variables entre elles, il est plus intéressant de choisir la même stratégie de découpage pour toutes les variables. Cependant, il n'existe pas pour toutes les variables de recommandations particulières. La deuxième stratégie est donc plus difficile et pas toujours possible à mettre en place.

Pour simplifier la notation, supposons que le nombre de fenêtres temporelles est le même pour tous les Q triplets (i,j,k) , notons T ce nombre et, soit S le nombre de fenêtres spatiales, supposé identique pour toutes les variables. Ainsi, pour chaque variable temporelle v ($v=1, \dots, V$), chaque triplet (i,j,k) est caractérisé par $S \cdot T$ moyennes de valeur d'appartenance à des fenêtres spatiales (Loslever 2001). Dans la perspective de mettre celles-ci en relation avec des

données non-temporelles, les valeurs d'appartenance initiales peuvent être résumées sur le temps (comme avec $T=1$) (Loslever, Simon et al. 2008).

4.1.2. Codage des données

Cette étape n'est pas toujours nécessaire. En effet, si Q^a ne contient que des valeurs d'appartenance le codage n'est plus nécessaire ($Q^{ab}=Q^a$). Il en est de même si l'on veut appliquer une méthode monovariée à partir de Q^1 ($Q^1=Q^{11}$). A contrario, le codage est indispensable si l'on dispose de données mesurées sur des échelles différentes et que l'on veut appliquer une méthode multivariée. Q^1 est alors transformé en Q^{11} (Lebart, Morineau et al. 2004). Un codage possible est l'opération de « normalisation » qui est réalisée en deux étapes : une translation d'échelle (par exemple, centrage autour de la moyenne) puis une division par un nombre de même unité que la VM (généralement l'écart-type). Cependant, ce type de normalisation risque de dilater artificiellement les données ce qui peut amplifier des phénomènes qui seraient uniquement imputables aux bruits d'un capteur.

4.1.3. Structuration des données sous formes de tableaux

Un cas typique est la présence d'un tableau à 2 entrées comme :

- Un *tableau individus x variables*. Les L lignes correspondent aux observations (échantillons temporels, fenêtres temporelles, individus,...) et les C colonnes aux variables quantitatives.
- Un *tableau de contingence* (ou de correspondance). Les lignes et les colonnes correspondent respectivement aux L et C modalités de 2 variables qualitatives. Le tableau contient les effectifs relatifs aux L*C paires de modalités.
- Un *tableau disjonctif complet*. Toujours avec N variables qualitatives, L=nombre d'observations et C=M, le tableau contenant des 0 ou des 1 selon que la modalité est prise ou non (sachant qu'une seule modalité peut être prise pour une variable).
- Un *tableau de valeurs d'appartenance*. On reprend le cas précédent mais l'appartenance à une modalité est comprise entre 0 et 1.
- Un *tableau de Burt*. Ce tableau est construit à partir du tableau disjonctif complet (ou de valeurs d'appartenance) $Z(n,p)$, il est noté B et d'ordre (p,p) et rassemble les croisements deux à deux de toutes les variables ($B=Z'Z$).

Souvent, à l'issue de la phase de récolte de données, plusieurs tableaux à 2 entrées sont à considérer. C'est notamment le cas où chaque situation (i,j,k) génère un signal multidimensionnel. En vue d'exploiter toutes les données, une alternative peut consister à placer les tableaux à deux entrées l'un sous l'autre ou l'un à côté de l'autre, ce qui permet donc de se retrouver face à un tableau à 2 entrées (Jambu 1991).

Dans le cas du chemin I, le tableau utilisé est souvent le tableau *individus x variables*. Q^{11} devient alors Q^{111} . Dans le cas du chemin II, la plupart du temps c'est le *tableau disjonctif complet* qui est utilisé. Q^{ab} devient alors Q^{abc} .

4.1.4. Exploitation des tableaux de données

Les étapes précédentes ont été conditionnées par le type d'analyse que l'on veut obtenir. Les différents types de méthodes d'exploitation des données ont été présentés dans le paragraphe précédent. Dans le cas du chemin I, l'analyse de Q^{111} est souvent faite à l'aide

d'une ANOVA (on obtient Q^{1111}). Dans le cas du chemin II, l'analyse de Q^{acb} est faite en utilisant une ACM (on obtient Q^{abcd}).

4.1.5. Présentation des résultats

Il existe trois formes de modèles de résultats (Walliser 1977) : mathématique, graphique ou verbale. Un résultat peut contenir un, deux ou même les trois types de modèle.

Modèle mathématique : Des trois types de modèles, le modèle mathématique est celui qui est le plus hautement estimé (exemple : régression multiple temporelle ou modèle ARMA). Mais dans le cas d'une structure de données complexe comprenant des milliers de situations empiriques qui sont décrites par des signaux multidimensionnels, il est préférable d'utiliser dans un premier temps un modèle qui montre les tendances générales.

Modèle graphique : Ce sont les graphiques de séries temporelles qui sont le plus souvent utilisés dans la représentation graphique. Mais de nombreuses autres formes peuvent être utilisées pour montrer les données temporelles (histogramme, arbre hiérarchique, vue étoile) (Bertin 1973) (Tufté 1983; Tufté 1990). Ces graphiques permettent de montrer si la composante est stationnaire, monotone, présente des classes ou encore si des composantes sont liées.

Modèle verbal : La majorité des résultats de méthodes numériques sont présentés sous forme verbale, comme par exemple pour les tests d'hypothèse. (« L'hypothèse nulle H_0 est rejetée, $p < 0.05$ »). En fait, une analyse statistique est toujours accompagnée d'un modèle verbal. Par exemple, dans une analyse en correspondances multiples, les tables aident à l'interprétation (contribution partielle à l'inertie, cosinus carrés, coordonnées...) mais ne sont pas montrées. Elles sont expliquées verbalement. Ainsi les tableaux et les plans principaux sont résumés verbalement avec des phrases du type « Les variables les plus informatives sont v et v' ». « La variable v augmente plus ou moins linéairement avec le temps » ou « Les variables v et v' évoluent de manière différente ».

Dans le cas du chemin I, Les résultats sont présentés sous forme verbale (Q^{1111}). Dans le cas du chemin II, les résultats sont présentés dans un premier temps sous forme verbale et ensuite sous forme graphique pour rendre la compréhension plus facile (Q^{acbd}). Ces deux chemins vont être détaillés dans le paragraphe suivant.

4.2. Exemples de chemins en vue de l'analyse de données temporelles et de données non-temporelles

On rappelle qu'on utilise le caractère « 1 » ou « 2 » pour désigner des données non temporelles (DNT) et les données temporelles (DT) respectivement, et que ce caractère sera omis quand on se retrouve face à des données issues de DNT&DT, les DT ayant été préalablement caractérisées de façon à pouvoir analyser simultanément les 2 types de données. Deux exemples correspondant aux chemins décrits sur la Figure 10 vont être présentés. Le premier est basé sur l'inférence et le second est basé sur la description.

4.2.1. Chemin basé sur l'inférence statistique

Le premier chemin (cf. Chemin I en pointillés sur la Figure 10), se caractérise par l'utilisation de méthodes principalement inférentielles et monovariées (les DT et DNT sont analysées séparément). Si on considère toujours le contexte composé de trois facteurs (i, j et k) avec des DNT et DT quantitatives, le chemin d'analyse suivant pourrait être suivi :

données non-temporelles, les valeurs d'appartenance initiales peuvent être résumées sur le temps (comme avec $T=1$) (Loslever, Simon et al. 2008).

4.1.2. Codage des données

Cette étape n'est pas toujours nécessaire. En effet, si Q^a ne contient que des valeurs d'appartenance le codage n'est plus nécessaire ($Q^{ab}=Q^a$). Il en est de même si l'on veut appliquer une méthode monovariée à partir de Q^1 ($Q^1=Q^{11}$). A contrario, le codage est indispensable si l'on dispose de données mesurées sur des échelles différentes et que l'on veut appliquer une méthode multivariée. Q^1 est alors transformé en Q^{11} (Lebart, Morineau et al. 2004). Un codage possible est l'opération de « normalisation » qui est réalisée en deux étapes : une translation d'échelle (par exemple, centrage autour de la moyenne) puis une division par un nombre de même unité que la VM (généralement l'écart-type). Cependant, ce type de normalisation risque de dilater artificiellement les données ce qui peut amplifier des phénomènes qui seraient uniquement imputables aux bruits d'un capteur.

4.1.3. Structuration des données sous formes de tableaux

Un cas typique est la présence d'un tableau à 2 entrées comme :

- Un *tableau individus x variables*. Les L lignes correspondent aux observations (échantillons temporels, fenêtres temporelles, individus,...) et les C colonnes aux variables quantitatives.
- Un *tableau de contingence* (ou de correspondance). Les lignes et les colonnes correspondent respectivement aux L et C modalités de 2 variables qualitatives. Le tableau contient les effectifs relatifs aux L*C paires de modalités.
- Un *tableau disjonctif complet*. Toujours avec N variables qualitatives, L=nombre d'observations et C=M, le tableau contenant des 0 ou des 1 selon que la modalité est prise ou non (sachant qu'une seule modalité peut être prise pour une variable).
- Un *tableau de valeurs d'appartenance*. On reprend le cas précédent mais l'appartenance à une modalité est comprise entre 0 et 1.
- Un *tableau de Burt*. Ce tableau est construit à partir du tableau disjonctif complet (ou de valeurs d'appartenance) $Z(n,p)$, il est noté B et d'ordre (p,p) et rassemble les croisements deux à deux de toutes les variables ($B=Z'Z$).

Souvent, à l'issue de la phase de récolte de données, plusieurs tableaux à 2 entrées sont à considérer. C'est notamment le cas où chaque situation (i,j,k) génère un signal multidimensionnel. En vue d'exploiter toutes les données, une alternative peut consister à placer les tableaux à deux entrées l'un sous l'autre ou l'un à côté de l'autre, ce qui permet donc de se retrouver face à un tableau à 2 entrées (Jambu 1991).

Dans le cas du chemin I, le tableau utilisé est souvent le tableau *individus x variables*. Q^{11} devient alors Q^{111} . Dans le cas du chemin II, la plupart du temps c'est le *tableau disjonctif complet* qui est utilisé. Q^{ab} devient alors Q^{abc} .

4.1.4. Exploitation des tableaux de données

Les étapes précédentes ont été conditionnées par le type d'analyse que l'on veut obtenir. Les différents types de méthodes d'exploitation des données ont été présentés dans le paragraphe précédent. Dans le cas du chemin I, l'analyse de Q^{111} est souvent faite à l'aide

d'une ANOVA (on obtient Q^{1111}). Dans le cas du chemin II, l'analyse de Q^{acb} est faite en utilisant une ACM (on obtient Q^{abcd}).

4.1.5. Présentation des résultats

Il existe trois formes de modèles de résultats (Walliser 1977) : mathématique, graphique ou verbale. Un résultat peut contenir un, deux ou même les trois types de modèle.

Modèle mathématique : Des trois types de modèles, le modèle mathématique est celui qui est le plus hautement estimé (exemple : régression multiple temporelle ou modèle ARMA). Mais dans le cas d'une structure de données complexe comprenant des milliers de situations empiriques qui sont décrites par des signaux multidimensionnels, il est préférable d'utiliser dans un premier temps un modèle qui montre les tendances générales.

Modèle graphique : Ce sont les graphiques de séries temporelles qui sont le plus souvent utilisés dans la représentation graphique. Mais de nombreuses autres formes peuvent être utilisées pour montrer les données temporelles (histogramme, arbre hiérarchique, vue étoile) (Bertin 1973) (Tufté 1983; Tufté 1990). Ces graphiques permettent de montrer si la composante est stationnaire, monotone, présente des classes ou encore si des composantes sont liées.

Modèle verbal : La majorité des résultats de méthodes numériques sont présentés sous forme verbale, comme par exemple pour les tests d'hypothèse. (« L'hypothèse nulle H_0 est rejetée, $p < 0.05$ »). En fait, une analyse statistique est toujours accompagnée d'un modèle verbal. Par exemple, dans une analyse en correspondances multiples, les tables aident à l'interprétation (contribution partielle à l'inertie, cosinus carrés, coordonnées...) mais ne sont pas montrées. Elles sont expliquées verbalement. Ainsi les tableaux et les plans principaux sont résumés verbalement avec des phrases du type « Les variables les plus informatives sont v et v' ». « La variable v augmente plus ou moins linéairement avec le temps » ou « Les variables v et v' évoluent de manière différente ».

Dans le cas du chemin I, Les résultats sont présentés sous forme verbale (Q^{1111}). Dans le cas du chemin II, les résultats sont présentés dans un premier temps sous forme verbale et ensuite sous forme graphique pour rendre la compréhension plus facile (Q^{acbd}). Ces deux chemins vont être détaillés dans le paragraphe suivant.

4.2. Exemples de chemins en vue de l'analyse de données temporelles et de données non-temporelles

On rappelle qu'on utilise le caractère « 1 » ou « 2 » pour désigner des données non temporelles (DNT) et les données temporelles (DT) respectivement, et que ce caractère sera omis quand on se retrouve face à des données issues de DNT&DT, les DT ayant été préalablement caractérisées de façon à pouvoir analyser simultanément les 2 types de données. Deux exemples correspondant aux chemins décrits sur la Figure 10 vont être présentés. Le premier est basé sur l'inférence et le second est basé sur la description.

4.2.1. Chemin basé sur l'inférence statistique

Le premier chemin (cf. Chemin I en pointillés sur la Figure 10), se caractérise par l'utilisation de méthodes principalement inférentielles et monovariées (les DT et DNT sont analysées séparément). Si on considère toujours le contexte composé de trois facteurs (i, j et k) avec des DNT et DT quantitatives, le chemin d'analyse suivant pourrait être suivi :

1) Les DT sont caractérisées en utilisant la moyenne arithmétique et les DNT sont conservées telles qu'elles sont. Cette méthode est caractérisée par l'indicateur 1. Chaque jeu de données Q_{ijk} devient donc Q_{ijk}^1 (plus globalement Q devient Q^1).

2) Les valeurs résultantes sont alors remplacées par leurs rangs. Si cette étape de transformation d'échelle est caractérisée par le label 1, Q^1 devient Q^{11} .

3) Les rangs sont organisés dans un tableau à double entrée, les R lignes correspondent à tous les triplets existants (i,j,k), les C colonnes correspondent aux U facteurs et aux variables ($V=V1+V2$ colonnes). Donc $R=Q$ et $C=U+V$. Si la mise en forme des données est caractérisée avec le label 1, Q^{11} devient Q^{111} .

4) Les effets des facteurs sur les variables sont étudiés en utilisant des tests non-paramétriques (exemple : Analyse de variance par rangs de Friedman (Sheskin 2007)), ainsi V tests sont réalisés. Si l'étape d'analyse est caractérisée par l'indicateur 1, Q^{111} devient le jeu de résultats Q^{1111} (e.g. chaque résultat contient les valeurs empiriques et théoriques du test statistique de Friedman, la dernière valeur a été calculée avec un seuil de risque $\alpha=5\%$).

5) Ces résultats peuvent être présentés sous forme verbale (en spécifiant par exemple si l'hypothèse a été acceptée ou rejetée) et/ou sous forme graphique (par exemple, un graphique bivarié, l'axe horizontal correspondant à un facteur et l'axe vertical à une variable).

Ce chemin, basé sur l'inférence statistique, est le chemin qui est le plus souvent utilisé car il est rapide et les résultats peuvent être généralisés. Cependant, des hypothèses initiales doivent être déterminées et il est possible de ne pas explorer un phénomène non soupçonné. C'est pourquoi, on propose un chemin basé sur la description.

4.2.2. Chemin basé sur la description statistique

Le deuxième chemin d'analyse (cf. Chemin II proposé sur la Figure 10) est basé sur la description. Il est composé des 5 étapes suivantes :

1) Les données temporelles sont caractérisées en utilisant des valeurs d'appartenance à des fenêtres spatiales sans ou avec un découpage temporel, en utilisant respectivement les équations (1) et (2)

$$\mu_{ijk,vs} = \frac{1}{N_{ijk,v}} \sum_{n=1}^{N_{ijk,v}} \mu_s(y_{ijkn,v}) \quad (1)$$

$$\mu_{ijkt,vs} = \frac{1}{N_{ijk,v}} \sum_{n=1}^{N_{ijk,v}} \mu_t(t_{2n}) \times \mu_s(y_{ijkn,v}) \quad (2)$$

Où μ correspond à la valeur d'appartenance, t_{2n} est la valeur temporelle du $n^{\text{ième}}$ échantillon temporel ($n=1, \dots, N_{ijk,v}$), t indique la fenêtre temporelle (ici $t=1, \dots, T$ et dans de nombreux cas, des fonctions d'appartenance binaires aux fenêtres temporelles sont utilisées) et un point (.) indique que le résumé a été fait sur l'indicateur qu'il remplace (soit t dans l'équation (1)).

Les données non-temporelles sont transformées en valeurs d'appartenance à des fenêtres spatiales, ainsi pour une variable v ($v=1, \dots, V1$), la valeur générique est $\mu_{ijk,vs}$. Supposons qu'un choix de fenêtre temporelle est réalisé et notons a le label de la méthode correspondante de caractérisation. Ainsi chaque triplet (i,j,k) est caractérisé par un jeu de données avec :

$$Q_{ijk}^a = \sum_{v=1}^{V1} S1_v + T \sum_{v=1}^{V2} S2_v \quad (3)$$

valeurs d'appartenance au lieu d'un jeu de données avec $V=V1+V2$ valeurs dans le premier chemin d'analyse. Le jeu complet Q^a contient des valeurs d'appartenance moyennes pour les données temporelles et les données non-temporelles. Bien sûr, la taille de Q^a et le temps pour obtenir Q^a , sont plus grands que pour Q^1 .

2) Les données obtenues sont homogènes, l'étape de codage n'est donc pas nécessaire (dans la Figure 10, la méthode est libellée en utilisant l'indicateur b qui peut être vu comme une « méthode identité »).

3) Les valeurs d'appartenance sont placées dans trois tableaux à double entrée :

- la table **Z1** contient les valeurs d'appartenance aux fenêtres spatiales pour les données non-temporelles, les R1 lignes correspondent à tous les triplets existants (i,j,k), les C1 colonnes correspondent aux facteurs et aux fenêtres spatiales des variables non-

$$C1 = \sum_{v=1}^{V1} S1_v$$

temporelles, tel que $R1=Q$ et

- la table **Z2** contient les valeurs d'appartenance aux fenêtres spatiales pour les données

$$C2 = \sum_{v=1}^{V2} S2_v$$

temporelles qui peuvent être mises en relation avec Z1, tel que $R2=R1$ et

- la table **ZT2** contient les valeurs d'appartenance aux fenêtres spatio-temporelles, $R2'=Q*T$ lignes et $C2'=C2$.

4) Les analyses de ces 3 tables peuvent être menées en utilisant une méthode capable de traiter des valeurs d'appartenance et de montrer l'influence de facteurs (ici : i, j, k et t) et les relations entre les variables. L'ACM est adaptée à ce type de traitement et permet de positionner des points supplémentaires sur les axes construits à partir des données initiales. Dans notre cas, les points-lignes supplémentaires sont calculés en moyennant sur un ou plusieurs facteurs. Par exemple, pour comparer I profils individuels pour les données temporelles et non-temporelles, les valeurs d'appartenance sont moyennées sur j et k pour **Z1** et **Z2** tel que

$$\mu 1_{i..,vs} = \frac{1}{JK} \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \mu 1_{ijk,vs} \quad \text{and} \quad \mu 2_{i..,vs} = \frac{1}{JK} \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \mu 2_{ijk,vs} \quad (4)$$

Et les I lignes supplémentaires sont placées juste en-dessous de **Z1** pour les données non-temporelles et de **Z2** pour les données temporelles.

5) La sortie de l'ACM est relativement complexe, des graphiques spécifiques montrant des résultats plus quantitatifs, peuvent être faits.

Ce chemin, basé sur la description, prend en compte les aspects multifactoriels et multivariés de l'analyse. Mais les résultats issus de ce chemin ne peuvent pas être généralisés. C'est pourquoi on propose un chemin associant une analyse descriptive et une analyse inférentielle.

4.3. Chemin associant une analyse descriptive et une analyse inférentielle

Le troisième chemin proposé (cf. Figure 11) est une succession des deux premiers. Il vise à répondre aux principales critiques qu'on peut émettre sur les deux chemins pris individuellement. Il semble en effet intéressant dans un premier temps d'utiliser des méthodes descriptives (Chemin II) afin de dégager les relations qui existent entre les différentes variables et de déterminer les variables les plus discriminantes. Dans un deuxième temps, dans une optique confirmatoire des phénomènes mis en lumière précédemment, il est intéressant d'associer des méthodes inférentielles (Chemin I).

Comme cela a été vu précédemment, les données ne sont pas caractérisées (et éventuellement codées) de la même manière en fonction de la méthode d'analyse utilisée. Ainsi pour réaliser une analyse descriptive suivie d'une analyse inférentielle, différents tableaux de données sont nécessaires.

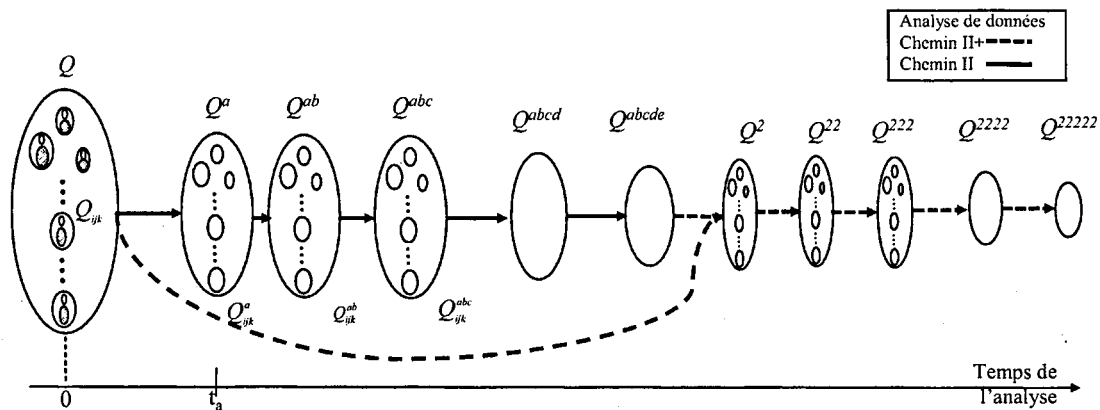


Figure 11. Principe de transformation des données et analyse statistique en vue d'extraire des connaissances : association d'une analyse descriptive (cf. Chemin II, Figure 10) suivie d'une analyse inférentielle

Prenons en exemple le cas précédent où l'on n'a que i, j et k . On dispose de données non-temporelles avec, par exemple, un plan d'expérience complet où chaque individu i ($i=1, \dots, I$) teste chaque paire de combinaisons de modalités de facteurs (j, k) (ex : réponse à des questionnaires). La Figure 12 représente les différents tableaux que l'on peut obtenir à partir de cet exemple. Dans le cas de données temporelles, on peut ajouter au cas cité ci-dessus un indice (l) pour indiquer le facteur temps (ex. signaux multidimensionnels).

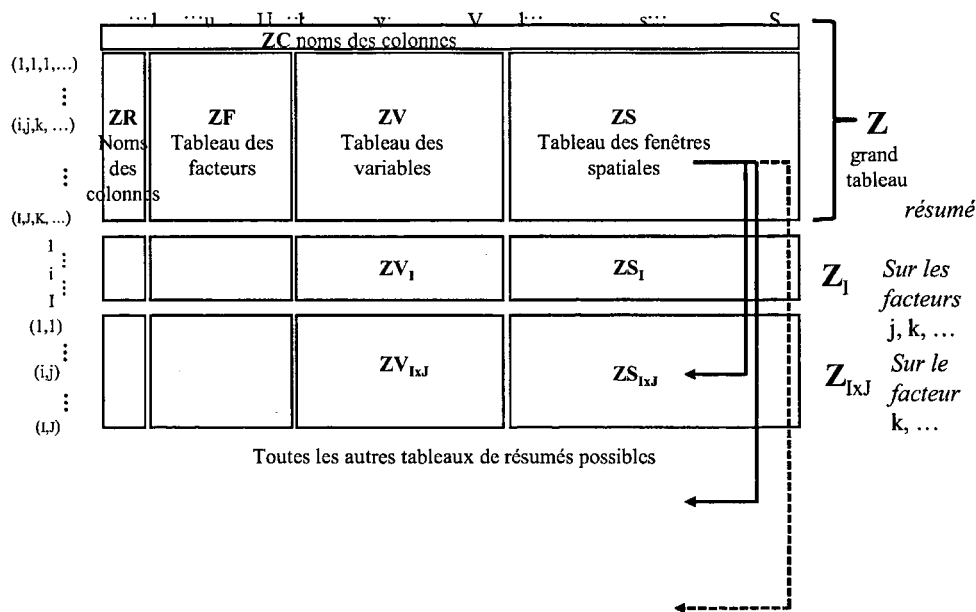


Figure 12. Résumé des différents tableaux utilisables dans une analyse statistique

En fonction de l'analyse qui est faite, des tableaux utilisés sont différents. Par exemple :

- Pour faire une ANOVA, les tableaux ZF et ZV sont utilisés (on teste l'influence des U facteurs sur chacune des V variables).
- Pour l'ACP, c'est le tableau ZV qui est utilisé. Des colonnes de ZV peuvent être utilisées comme points-colonnes en supplémentaires si l'on ne souhaite pas qu'elles contribuent à la formation des axes. De même, les tableaux ZV_1 ou $ZV_{i \times j}$ peuvent être utilisés comme points lignes supplémentaires pour déterminer l'influence du facteur i ou de la combinaison $i \times j$.
- C'est le tableau ZS qui est utilisé pour l'ACM. Il est possible comme pour l'ACP d'utiliser des variables supplémentaires ou des individus supplémentaires ($ZS_1, ZS_{i \times j}, \dots$) pour déterminer l'influence des facteurs.
- Dans le cas de l'AFD ou de la CAH, c'est le tableau ZV qui est utilisé.

5. CONCLUSION

Ce chapitre a eu pour objectif de présenter les différentes étapes de l'étude d'un système à composante humaine, de la planification de l'étude à l'exploitation informatique et statistique des données.

La planification d'une étude peut être faite selon un plan d'expérience ou d'observation en fonction des objectifs à atteindre. Cependant, il est important de ne pas négliger des problèmes de validité interne ou externe qui peuvent être engendrés selon le type de plan utilisé.

Les méthodes de recueil de données sont nombreuses dans l'étude de la conduite automobile (questionnaires, capteurs, verbalisation...). Le choix de méthodes produisant des données temporelles ou non-temporelles, le choix des facteurs ou encore de leurs modalités,

implique une combinatoire importante de chemins possibles pour obtenir une base de données MFMV.

Face à une telle base, de nombreux chemins d'analyse sont possibles tant au niveau de la caractérisation, du codage et de la mise en forme des tableaux, de la mise en relation des données ou de la présentation des résultats. Ces étapes sont longues et relativement complexes si l'on veut extraire le maximum de connaissances du jeu de données, notamment lorsque plusieurs types de données sont disponibles. Ces étapes sont bien sûr conditionnées par la méthode d'exploitation de tableaux de données que l'on souhaite appliquer.

Concernant les méthodes d'analyse, il semble intéressant d'associer des méthodes descriptives et des méthodes inférentielles. Dans le cas de présence de données temporelles et non-temporelles, l'ACM semble la méthode factorielle la plus adaptée pour l'analyse exploratoire MFMV. Les méthodes inférentielles sont utilisées dans une optique confirmatoire d'un phénomène plus local.

Le chapitre suivant présente la méthodologie utilisée pour étudier la conduite de la planification à la préparation des données.

III. EXPERIMENTATION

1. INTRODUCTION

L'état de l'art a mis en évidence l'intérêt de l'étude de la conduite naturelle pour la spécification de systèmes d'aide à la conduite. En effet comme on l'a vu précédemment, de nombreux systèmes (notamment de sécurité active) fondent leur déclenchement sur le comportement du conducteur. Ainsi une très bonne connaissance du comportement des conducteurs en situation de conduite normale et d'urgence (Brissart 2004) permet de déterminer une frontière entre ces deux situations et évite des déclenchements intempestifs du système.

De plus, les systèmes agissent en interaction constante avec le conducteur. Ils doivent donc s'intégrer de la manière la plus harmonieuse possible pour le conducteur. L'inverse pourrait nuire au bon déroulement de la tâche de conduite et pourrait même engendrer des situations accidentogènes, d'où la nécessité de mieux connaître la tâche de conduite et les différences inter-individuelles en termes de stratégies de conduite elles-mêmes probablement fonction du profil psychologique du conducteur.

L'étude expérimentale menée va donc permettre de créer une base de données MFMV et va nécessiter la mise en place d'une méthodologie d'extraction de connaissances à partir de données non-temporelles et de données temporelles. On décrit ci-dessous le plan d'expérience, le protocole expérimental ainsi que toutes les données recueillies. Toutes ces données n'ont pas fait l'objet d'une analyse dans le cadre de cette thèse (Adrian 2008; Moessinger and Kassaagi 2008). Les données dont l'analyse fait l'objet du chapitre IV seront précisées à la fin de ce chapitre.

2. MISE EN PLACE DE L'EXPERIMENTATION

2.1. Environnement

2.1.1. Choix du contexte

Trois environnements sont possibles pour l'étude de la conduite : le simulateur, la piste et la route ouverte. Chacun offre des possibilités d'études différentes.

Faire une étude sur simulateur permet de placer le conducteur dans des conditions particulières, bien définies et parfaitement reproductibles. En effet, l'environnement est artificiel et complètement paramétrable. De plus, il est possible d'analyser des situations à risques (conduite sous l'emprise de médicaments ou d'alcool, situations accidentogènes...) sans en faire courir aux participants. Cependant, la principale limite des simulateurs est qu'ils ne sont pas encore suffisamment réalistes. En effet, des études ont montré, par exemple, que les profils de freinage sont différents sur simulateur par rapport à ceux observés sur route (Rock, Harris et al. 2006; Leclerc, Petit et al. 2008).

Les études sur piste permettent également de placer les sujets dans des situations répétables et connues dans un espace sécurisé. Pour utiliser ce moyen d'essai, il faut avoir pour objectif d'étudier une situation de conduite particulière comme, par exemple, une situation d'urgence (Boulimi 2006). Comme il est difficile de reconstruire un environnement naturel, ce moyen d'essai ne convient donc pas pour notre étude.

Les études sur route ouverte permettent d'observer les conducteurs dans leur environnement habituel. Les plans d'observations permettent d'explorer la réalité de façon brute, laissant leur place à toutes les situations de conduite, même les plus insolites. En contre partie, l'interprétation des données peut être ambiguë, car certaines situations sont peu représentées ou le nombre de variables changeant en même temps est trop grand.

En conclusion, les essais sur route ouverte permettent d'étudier une grande diversité de situations réelles de conduite que ne peuvent pas offrir des essais sur piste ou sur simulateur. Aujourd'hui, peu de données existent dans la littérature sur le comportement des conducteurs en conduite normale. Il est donc intéressant de déterminer une base de situations de conduite nominale.

2.1.2. Méthode d'étude sur route ouverte

Dans la littérature, plusieurs méthodes d'étude de la conduite sur route ouverte ont été utilisées.

La première consiste à étudier le comportement d'un conducteur dans un véhicule équipé, sur un parcours imposé, avec une population d'étude choisie en fonction de critères spécifiques (Brissart 2004).

Une autre méthode consiste à équiper une flotte de véhicules de particuliers pendant une longue période. Il s'agit d'enregistrer le contexte à l'aide d'une vidéo et les paramètres véhicules à l'aide d'une boîte noire (Neale and Administration 2006; Festa Consortium 2008).

Une troisième méthodologie propose d'instrumenter un véhicule pour observer les véhicules environnants ((Sivak, Olson et al. 1982), cité par (Malaterre and Saad 1986)). Ce véhicule se déplace sur un parcours défini et observe tous les autres véhicules et leurs

réactions en fonction de certaines actions du véhicule d'observation. Le véhicule d'étude roule par exemple à vitesse réduite sur autoroute et observe la façon dont les autres conducteurs réagissent.

Une dernière manière de procéder est d'étudier essentiellement une zone particulière de l'infrastructure en équipant par exemple un carrefour avec différents capteurs (Amrani 1999).

L'objectif principal de notre étude étant de mettre en relation les données de conduite et le profil psychologique du conducteur, seules les deux premières techniques d'étude sont envisageables. Cependant la deuxième méthodologie ne permet pas de questionner les conducteurs sur leurs stratégies de conduite. De plus le parcours n'étant pas imposé, il serait difficile de comparer les conducteurs entre eux. La première méthodologie est donc retenue.

2.1.3. Parcours

Le parcours choisi est une boucle qui a pour point de départ et d'arrivée le LAB à Nanterre en passant par Evreux (cf. Figure 13). Ce parcours de 250 km est composé de différents types d'infrastructures : routes nationales, autoroutes et ville (cf. Figure 14).

L'expérimentation sur route s'est déroulée pour tous les conducteurs durant le même créneau horaire afin de limiter les différences de trafic.

Les conditions météorologiques n'ont pas influencé le choix des dates des essais, mais la détermination d'un indicateur « météo » permet de prendre en compte ce critère dans les analyses.

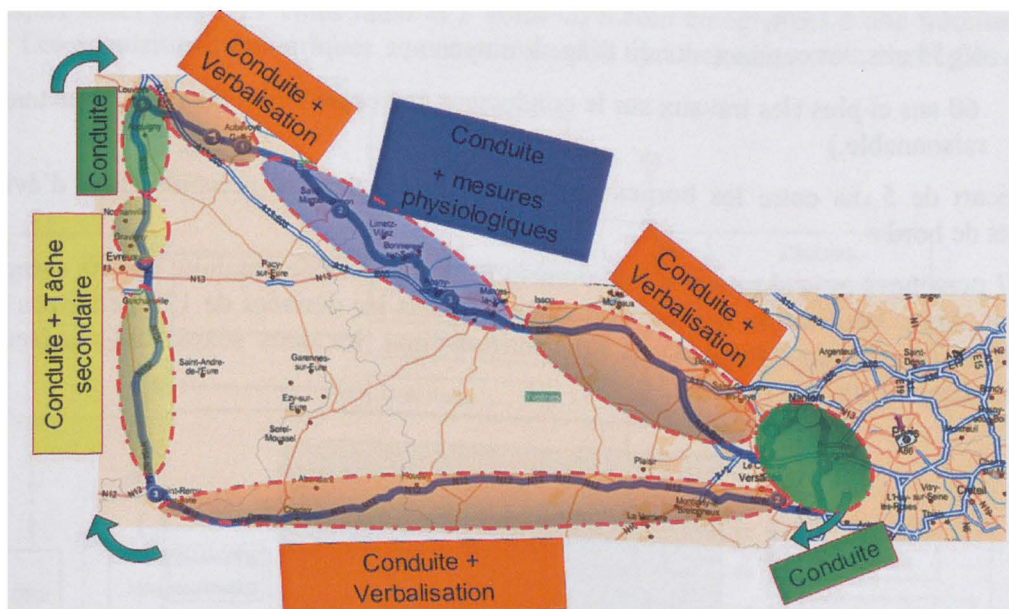


Figure 13: Parcours routier et phases associées

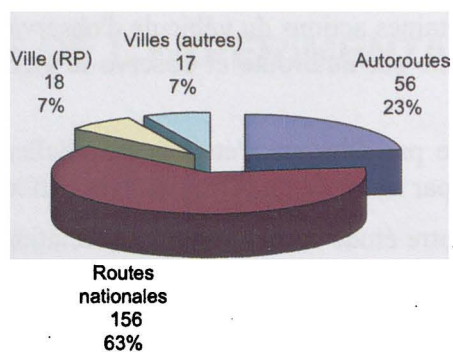


Figure 14: Répartition du parcours par type d'infrastructure

2.2. Participants

Les participants ont été recrutés au sein de la population de la région parisienne par l'intermédiaire d'une annonce publicitaire parue dans le journal « Le Parisien » ainsi que par affichage d'annonces dans les universités. Pour des raisons de sécurité et pour réduire au minimum l'effet de l'inexpérience, ils devaient posséder leur permis de conduire depuis plus de deux ans et faire plus de 5 000 km par an.

Nous avons choisi de sélectionner les participants selon les 3 classes d'âges classiquement retrouvées dans la littérature :

- 20-35 ans, les conducteurs « jeunes »,
- 40-55 ans, les conducteurs dit d'âge « moyen »,
- 60 ans et plus (les travaux sur le conducteur âgé considèrent 60 ans comme une limite raisonnable.)

L'écart de 5 ans entre les bornes des classes est également préconisé afin d'éviter les « effets de bord ».

177 personnes ont été retenues initialement et 155 phases de conduite ont été enregistrées au total. Après vérification des enregistrements, seules les données de 123 personnes ont été recueillies à la fin de l'étude. Dans l'échantillon final, les deux sexes sont représentés de manière équivalente (cf. Figure 15).

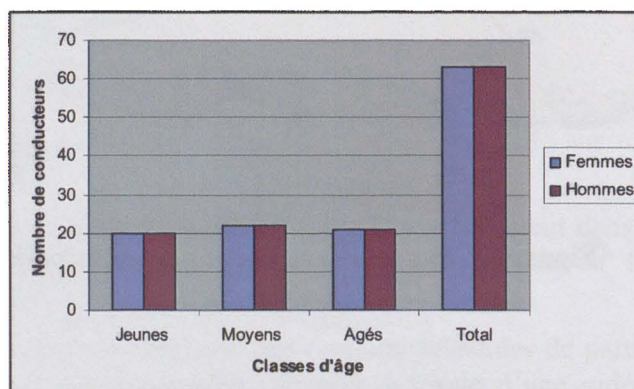


Figure 15: Répartition des sujets par classes d'âge et par sexe

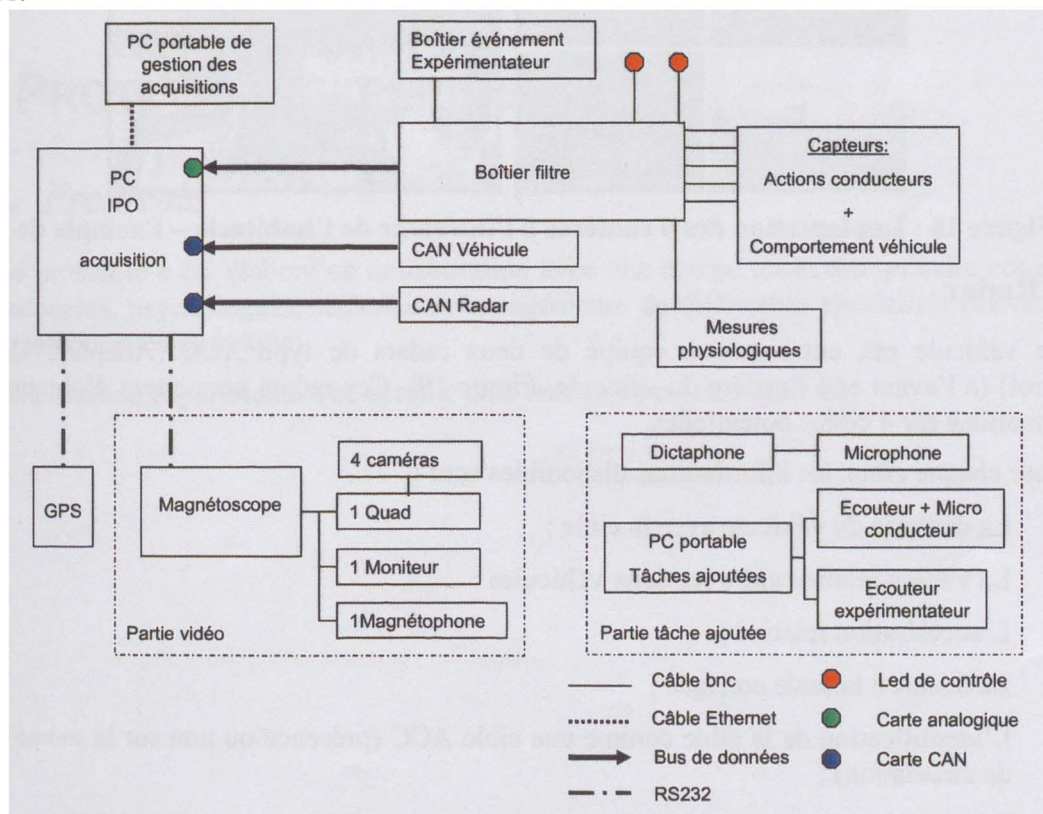
2.3. Véhicule

2.3.1. Caractéristiques générales

Les systèmes de confort sont principalement installés sur les véhicules du segment M2. C'est une des raisons qui explique le choix d'une Renault Laguna II (phase 2, 2.2L DCI, 150 chevaux) comme véhicule d'essai. Celui-ci est de série, avec une boîte de vitesse manuelle et équipé des systèmes de sécurité active et passive d'origine (tels que l'ABS, l'ESP, les airbags frontaux et latéraux...). Pour des raisons de sécurité, le véhicule est équipé d'un double pédalier de type auto-école qui permet au copilote, assis en place de passager avant, de prendre le contrôle du véhicule en cas de danger.

2.3.2. Instrumentation

L'ensemble du matériel (cf. Figure 16) a été installé dans le véhicule de la manière la moins intrusive possible pour ne pas constituer une source de gêne pour le conducteur. Le véhicule est instrumenté afin d'enregistrer les actions des sujets sur les commandes (volant, pédalier...), ainsi que les paramètres dynamiques (vitesses, accélérations...). Les appareils d'acquisition et d'enregistrement embarqués dans la voiture sont fixés de façon rigide dans le coffre. La chaîne d'acquisition (cf. Figure 17) installée dans le véhicule comprend un PC embarquable équipé d'une carte d'acquisition, un rack de filtres analogiques anti-repliement, des conditionneurs et des alimentations stabilisées. Ainsi 11 voies analogiques, 4 voies digitales, 21 voies CAN, 21 voies radar et 3 voies GPS sont enregistrées à une fréquence de 100Hz. Les acquisitions numériques sont naturellement synchronisées avec l'enregistrement vidéo.



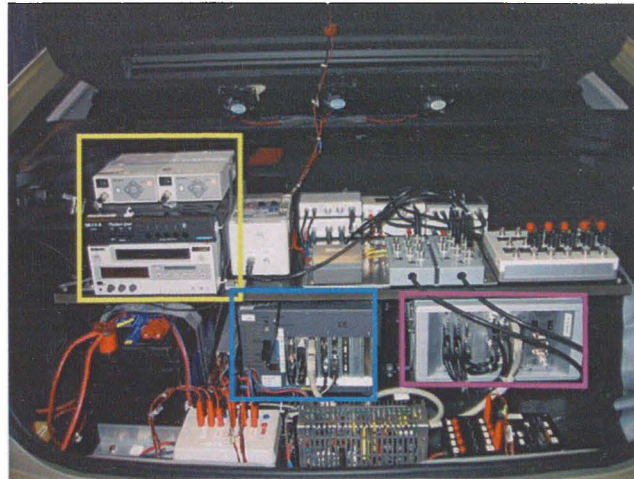


Figure 17. Chaîne d'acquisition embarquée (dans le coffre du véhicule d'essai)

(i) Vidéo

Quatre caméras à faible encombrement sont implantées dans l'habitacle pour filmer la route (vues avant et arrière), le visage et les mains du sujet (cf. Figure 18). De plus, le véhicule d'essai est équipé d'un microphone enregistrant les commentaires des sujets.



Figure 18 : Implantation des 4 caméras à l'intérieur de l'habitacle – Exemple de vue

(ii) Radar

Le véhicule est, entre autres, équipé de deux radars de type ACC (Adaptive Cruise Control) (à l'avant et à l'arrière du véhicule, Figure 19). Ces radars permettent d'obtenir des informations sur 4 cibles potentielles.

Pour chaque cible, les informations disponibles sont :

- La distance du véhicule avec la cible ;
- La vitesse relative entre les deux véhicules ;
- L'accélération relative ;
- La distance latérale corrigée ;
- L'identification de la cible comme une cible ACC (présence ou non sur la même voie de circulation) ;
- La crédibilité (pourcentage de croyance pour que la cible soit une cible ACC).

Ces informations permettent de décrire les relations entre le véhicule instrumenté et les véhicules du trafic et ainsi de caractériser l'environnement.



Figure 19 : Implantation du radar arrière

(iii) Signaux conducteurs

Les paramètres conducteurs enregistrés proviennent soit du CAN soit de capteurs analogiques installés dans le véhicule. Il existe des doublons qui permettent notamment de vérifier les mesures analogiques et de détecter un éventuel capteur défaillant.

(iv) GPS

Les données GPS sont enregistrées afin de connaître à tout moment la position exacte du véhicule et donc le type d'infrastructure concerné.

Le tryptique Conducteur-Véhicule-Environnement étant décrit, le protocole expérimental est présenté dans le paragraphe suivant.

3. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

3.1. Protocole

Le protocole a été élaboré en collaboration avec une équipe multi-disciplinaire composée de médecins, psychologues, techniciens et ingénieurs de différentes spécialités (mécanique, automatique et électronique).

La passation expérimentale se déroule en 3 rendez-vous (cf. Figure 20).

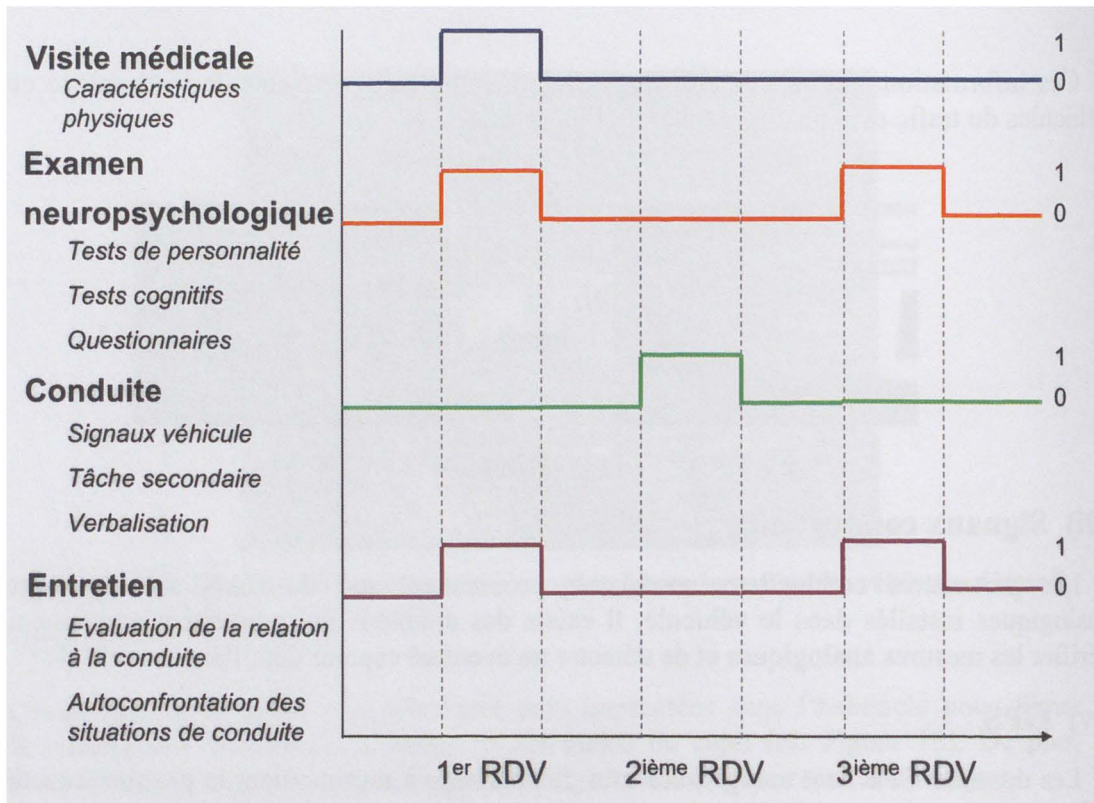


Figure 20. Chronogramme des activités des sujets et des données enregistrées associées

3.1.1. 1^{er} rendez-vous (4h) : sélection de l'échantillon

Le 1^{er} rendez-vous est un rendez-vous de présélection constitué d'une visite médicale effectuée sur place par un médecin. Cette visite permet de vérifier que le sujet ne présente aucune contre-indication. Une évaluation neuropsychologique basique est effectuée. Elle a pour finalité de détecter une éventuelle pathologie évolutive. L'avis du médecin et les résultats de l'examen neuropsychologique conditionnent l'inclusion à l'étude. Lors de ce rendez-vous, un entretien avec une psychologue clinicienne a été effectué sur la population âgée afin de relever leurs besoins, habitudes et stratégies en conduite automobile (données utilisées dans le cadre d'une thèse sur le conducteur âgé). Conformément à la Loi Huriet-Serusetat (loi bioéthique), le protocole d'étude a été validé par le CCPPRB¹ de Versailles. Les participants ont tous reçu une indemnisation.

3.1.2. 2^{ème} rendez-vous (1 journée) : conduite sur route

Le 2^{ème} rendez-vous se déroule selon le protocole ci-dessous :

- Avant le départ, nous nous assurons que le sujet est « apte à conduire ». Pour cela, nous lui demandons de compléter le questionnaire « 24 dernières heures » afin de s'assurer qu'il a eu une quantité suffisante de sommeil, qu'il n'a pas pris de médicaments ou encore qu'il a déjeuné le matin, puis nous réalisons un test d'alcoolémie.

¹ Comités Consultatifs de Protection des Personnes qui se prêtent à une Recherche Biomédicale. La nouvelle appellation est CCP ou comité de protection des personnes)

- Une fois ces formalités vérifiées, le conducteur s'installe au volant. Le conducteur est invité à conduire naturellement, comme il l'aurait fait avec son propre véhicule. In signe d'ailleurs un formulaire avant le départ l'engageant à respecter le code de la route et précisant qu'il est responsable des comportements contrevenants qu'il pourrait avoir. Le participant débute ensuite une phase de familiarisation avec la voiture. Cette phase de prise en main du véhicule comprend des routes départementales, urbaines et une route nationale sinueuse. L'expérimentateur cherche dans cette partie à créer une ambiance sereine et mettre en confiance le sujet.
- Une fois le véhicule pris en main, une phase de conduite avec verbalisation commence. Cette phase se passe sur autoroute puis sur route nationale. Le conducteur est invité à justifier et motiver tous ses choix stratégiques et ses actions à chaque fois qu'il « inter-réagit » avec son environnement ;
- Après une pause, le sujet doit conduire et réaliser une tâche secondaire simultanément sur une route nationale où le trafic est faible. La première tâche est une tâche verbale (le sujet entend des lettres et doit dire s'il s'agit d'une consonne ou d'une voyelle), la deuxième est une tâche spatiale (le sujet répond par « ouverte » ou « fermée » à la forme majuscule de chacune des lettres entendues). L'étude de l'influence sur la conduite de la tâche secondaire ne relève pas de ce travail de recherche ;
- Après une pause-déjeuner, et un repos d'une demi-heure dans une chambre d'hôtel, une nouvelle phase de conduite avec tâche secondaire sur route nationale débute. Il s'agit d'une simulation de conversation téléphonique ;
- Une nouvelle phase de conduite avec verbalisation sur route nationale a ensuite lieu ;
- Après une pause, le conducteur est équipé d'électrodes pour faire des relevés de mesures physiologiques. Ces mesures associées au comportement de conduite, permettent d'en affiner la compréhension ;
- Après ces mesures, une dernière phase de conduite avec verbalisation sur autoroute commence ;
- Le retour à Nanterre se fait via des routes nationales et départementales.

3.1.3. 3^{ème} rendez-vous (4h30)

Le 3^{ème} rendez-vous a lieu le matin au lendemain de la conduite. Dans un premier temps, une autoconfrontation est réalisée. Certaines situations de conduite relevées par l'expérimentateur lors de la conduite sont montrées au sujet qui doit se remémorer la situation et l'expliquer. Ensuite, un psychologue assure la passation des derniers tests et questionnaires.

3.2. Mesures

Des mesures de différentes natures ont été réalisées durant l'ensemble de l'étude.

3.2.1. Mesures hors conduite

Les tests et les questionnaires utilisés dans cette étude permettent une évaluation psychologique du sujet. Ils permettent d'évaluer l'état mental, les fonctions perceptives, l'intelligence, les fonctions exécutives et conatives (Cf. Tableau 1). La présentation des tests et questionnaires se trouve en annexe (Annexe 2. Evaluation psychologique). Ces tests ont été

choisis d'une part pour leur aptitude à évaluer telle ou telle fonction et d'autre part parce qu'ils ont déjà été utilisés dans des études sur la conduite automobile et que nous pouvions disposer ainsi de quelques informations quant à leur mise en relation avec tel ou tel comportement.

Caractéristique psychologique évaluée	Test ou questionnaire utilisé
Capacités cognitives	
Quotient intellectuel verbal (QIV)	WAIS - Dimension QIV (Wechsler, 1944)
Quotient intellectuel de performance (QIP)	WAIS - Dimension QIP (Wechsler, 1944)
Inhibition (Inh)	Stroop (Stroop, 1935)
Flexibilité (Flex)	Plus Minus task (Spector et Biederman (1976))
Mise à jour (Maj)	Letter memory task (Morris & Jones, 1990)
Attention divisée (AttDiv)	Paradigme de tâche duelle (Pashler, 1994)
Personnalité	
Névrosisme (NPiN)	NEOPI dimension N (Costa et McCrae, 1992)
Extraversion (NPiE)	NEOPI dimension E (Costa et McCrae, 1992)
Conscience (NPiC)	NEOPI dimension C (Costa et McCrae, 1992)
Type A (TyA)	Bortner Type A (Bortner, 1969)
Estime de soi (EstSoi)	Rosenberg Self Esteem (1965, RSE).
Attribution causale interne (LocI)	Echelle de Rotter - Dimension interne (Rotter, 1966)
Attribution causale externe (LocE)	Echelle de Rotter - Dimension externe (Rotter, 1966)
Coping orienté vers la tâche (CissT)	Ciss dimension Tâche (Lazarus et Folkman, 1984)
Coping orienté vers l'émotion (CissE)	Ciss dimension Emotion (Lazarus et Folkman, 1984)
Coping orienté vers l'évitement (CissEv)	Ciss dimension Evitement (Lazarus et Folkman, 1984)
Recherche de sensations (RSens)	Sensations seeking (Zuckerman, 1994)
Connaissances et habitudes de conduite	
Reconnaissance de panneaux (PanRout)	Road Sign Recognition Test (Nouri & Lincoln, 1992)
Erreurs déclarés en conduite (DBQE)	DBQ - Dimension Erreurs (Reason, 1990)
Infractions déclarées en conduite (DBQI)	DBQ - Dimension Infractions (Reason, 1990)
Stress en conduite (Stress)	Questionnaire conducteur- Dimension Stress
Réduction de la conduite (RedCond)	Questionnaires conducteur -Dimension Réduction

Tableau 1. Récapitulatif des tests réalisés lors de l'étude

3.2.2. Mesures objectives en conduite

Les mesures numériques objectives permettant de décrire le triptyque CVE peuvent avoir plusieurs sources : capteurs analogiques, réseau CAN du véhicule, radars avant et arrière ou encore GPS (cf. Tableau 2).

Composante du système	Type d'enregistrement	Variable enregistrée	Unité	filtre (en Hz)
Conducteur	Données analogiques	Course accélérateur	mm	50
		Course frein	mm	50
		Angle volant	°	50
		Conductance	μS	20
	CAN	Consigne accélération	%	10
		Contact frein	0/1	10
		Contact embrayage	0/1	100
		Point mort	0/1	100
Véhicule	CAN	Clignotants droit et gauche	1/-1	100
		Vitesse de lacet	°/s	50
		Accélération longitudinale	g	50
		Accélération transversale	g	50
		Pression maître-cylindre	bar	50
		Régime moteur	tr/min	10
		Vitesse longitudinale	km/h	40
		ASR	0/1	20
		AYC	0/1	20
		ABS	0/1	40
		Consommation instantanée	mm3	100
Environnement	Données radar 1 cible avant et 1 cible arrière	Odomètre	m	100
		Vitesse relative	m/s	40
		Distance avec le véhicule cible	m	40
		Distance latérale corrigée	m	40
		Identification	0/1/2/3	40
		Crédibilité	0 à 63	40
		Angle	°	40
	Indice interne	0 à 255	40	
	GPS	Latitude	°	1
		Longitude	°	1
Donnée analogique	Frein copilote		0/1	

Tableau 2. Liste des mesures objectives réalisées en conduite

3.2.3. Mesures subjectives en conduite : la verbalisation

Dans cette étude, nous faisons l'hypothèse que la verbalisation permet d'accéder au sens que le conducteur donne à ses actions. Nous demandons donc au sujet de nous faire part de ses réflexions en rapport avec l'action qu'il est en train d'effectuer (un dépassement, par exemple), avec celles des autres usagers (les véhicules qui l'entourent, s'il s'agit d'un camion ou d'un 2-roues), avec l'environnement (s'il s'agit d'une route de campagne ou d'une autoroute) et de la situation en elle-même. Les expérimentateurs ont suivi une formation sur la technique de verbalisation préconisée par Vermersch (Vermersch 1994).

3.2.4. Mesures lors de la tâche annexe

Lors de la conduite avec tâche annexe, en plus des mesures habituelles, les réponses et les temps de réaction des conducteurs sont relevés.

3.2.5. Mesures physiologiques

Les mesures physiologiques permettent d'appréhender les processus attentionnels et émotionnels en situation de conduite. Nous mesurons lors d'une phase de conduite sur route l'activité électrodermale liée à diverses situations (intersection, changements de direction, ronds-points...).

4. PRE-TRAITEMENT DES DONNEES

4.1. Récupération des signaux

Dans un premier temps, on prend en compte d'éventuelles défaillances des capteurs. Lorsqu'un capteur est défaillant et qu'un autre signal peut s'y substituer (CAN), ce dernier signal est utilisé et les variables calculées à partir de valeurs présentant des défaillances sont invalidées.

Il est nécessaire pour certaines données, d'appliquer un filtrage pour supprimer les hautes fréquences qui ne caractérisent pas l'action que l'on veut étudier.

Pour les capteurs analogiques, le zéro des capteurs varie. On applique donc un offset pour recalculer le signal. Une fois ces opérations terminées, on peut calculer des variables supplémentaires issues de la combinaison de variables (exemple : le temps intervéhiculaire ou TIV).

Le TIV est le temps mis par un véhicule pour parcourir la distance séparant, à un moment donné, l'avant de son véhicule de l'arrière du véhicule qui le précède sur la même voie. Il est approximé par la formule ci-dessous :

$$TIV = \text{Interdistance entre les deux véhicules} / \text{Vitesse du sujet}$$

La différence avec la limitation de vitesse (SL) est calculée en soustrayant la limitation de vitesse en cours à la vitesse du conducteur.

$$SL = \text{Vitesse du conducteur} - \text{Limitation de vitesse}$$

4.2. Filtrage

Les données enregistrées dans le véhicule sont échantillonnées à 100Hz. Afin d'atteindre les objectifs de l'étude, un ré-échantillonnage à une fréquence moins élevée est à envisager. Afin de ne pas supprimer d'informations, le choix de la fréquence de ré-échantillonnage est basé sur les données issues du véhicule. L'intégralité des variables enregistrées a été ré-échantillonnée à 10Hz.

4.3. Vérification

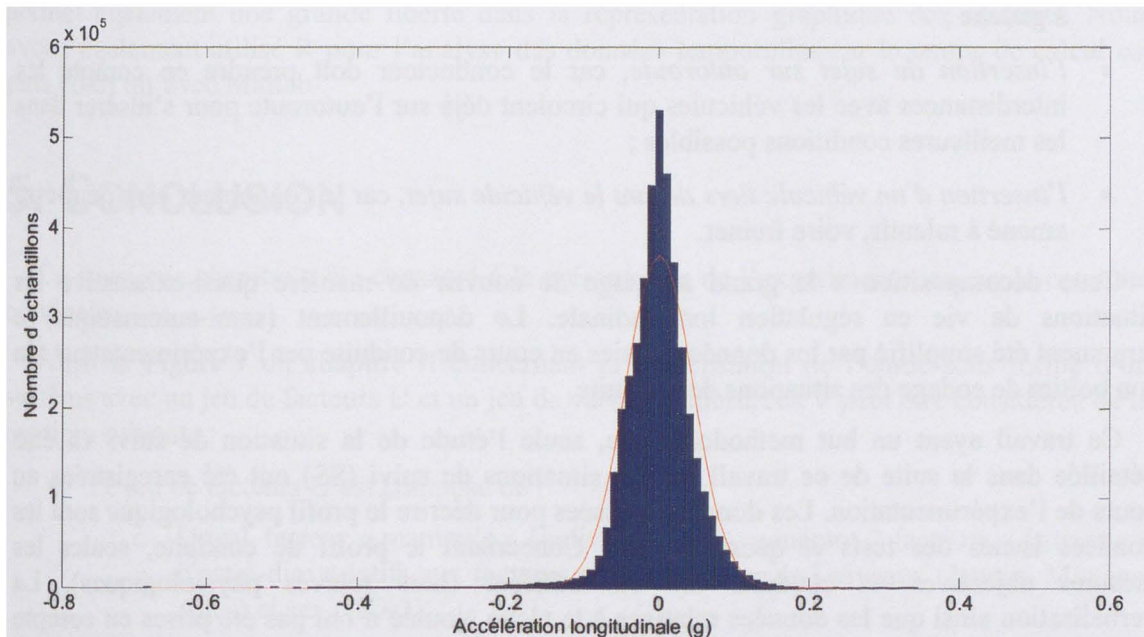


Figure 21. Histogramme de la variable accélération longitudinale du véhicule

La Figure 21 comme la plupart des courbes a une allure de gaussienne (Test de normalité: $p < 0,001$). L'histogramme de la variable d'accélération longitudinale est centré sur 0. L'amplitude varie entre -0,6 g en décélération (freinage d'urgence) et 0,34g en accélération. Cet histogramme ne montre aucune incohérence pour cette variable.

L'étape de vérification visuelle est renouvelée pour toutes les variables enregistrées, ce qui permet d'accroître la confiance dans les données enregistrées pour l'ensemble des sujets. Cette vérification de toutes les variables est indispensable car le système de mesure (capteurs, calculateurs ou programmes informatiques) peut avoir été défaillant sans que ce soit visible.

4.4. Détermination des situations de conduite à étudier

L'expérimentation a eu lieu sur route. Le parcours était composé à la fois de zones urbaines, de routes nationales et d'autoroutes. Se pose alors une première interrogation sur la manière d'organiser les données. Le choix de découper le parcours en portions présentant des caractéristiques homogènes a été retenu. Les caractéristiques prises en compte sont le type d'infrastructure, le nombre de voies et la limitation de vitesse. Ainsi, le comportement du conducteur dans un environnement particulier va pouvoir être observé.

Ensuite, sur une même section, les sujets ont rencontré des conditions météorologiques et de trafic diverses et ils ont donc dû faire face à des situations de conduite différentes. Afin de pouvoir comparer les conducteurs entre eux, des situations de conduite type qui ont été rencontrées par tous les sujets ont été déterminées. L'étude du comportement du conducteur en régulation longitudinale est le but principal de cette étude. Suite à plusieurs séances de brainstorming, de consultations d'experts, quatre situations ont été retenues :

- *le suivi*, car le conducteur doit constamment gérer ses distances de sécurité avec le véhicule qui le précède ;

- *le dépassement*, car le conducteur doit prendre en compte les distances de sécurité avec la voiture qui le précède mais également avec celles qui arrivent sur une voie plus à gauche ;
- *l'insertion du sujet sur autoroute*, car le conducteur doit prendre en compte les interdistances avec les véhicules qui circulent déjà sur l'autoroute pour s'insérer dans les meilleures conditions possibles ;
- *l'insertion d'un véhicule tiers devant le véhicule sujet*, car le conducteur sera peut-être amené à ralentir, voire freiner.

Cette décomposition a le grand avantage de couvrir de manière quasi-exhaustive les situations de vie en régulation longitudinale. Le dépouillement (semi-automatique) a largement été simplifié par les données saisies en cours de conduite par l'expérimentateur via son boîtier de codage des situations de conduite.

Ce travail ayant un but méthodologique, seule l'étude de la situation de suivi va être détaillée dans la suite de ce travail. 12803 situations de suivi (SS) ont été enregistrées au cours de l'expérimentation. Les données utilisées pour décrire le profil psychologique sont les données issues des tests et questionnaires. Concernant le profil de conduite, seules les mesures objectives en conduite ont été utilisées (hors relevés physiologiques). La verbalisation ainsi que les données relatives à la tâche ajoutée n'ont pas été prises en compte dans cette étude.

4.5. Sélection de l'outil d'exploitation informatique et statistique des données

Le plan d'expérience qui vient d'être décrit a généré une base de données d'une taille gigantesque (plus de 100 Go) et complexe (présences de DT et DNT, QL et QT, objectives et subjectives.). Face à une telle base de données, se pose donc le problème du choix d'outils d'exploitation informatique et statistique. D'une manière synthétique, les différentes familles d'outils qui peuvent être envisagés sont :

- le SGBD (Oracle, MySQL, Access, Sybase...) (Gardarin and Valduriez 1991)
- le tableur (Excel avec/sans VBA ...) (Mesters 2009)
- le « package » généraliste en mathématique appliquée pour l'ingénieur (Matlab, Labwindows, Labview, Scilab...) (Adrian and Moshe 2004)
- le logiciel de statistique « clef en main », c'est à dire où l'on a rien à programmer (Statistica, Statlab, Spad ...) (<http://www.statsoft.fr/>)
- le « package » généraliste en statistique appliquée (Sas, R, ...) (Cornillon 2008).

Dans l'étape de caractérisation, de nombreuses opérations mathématiques sont nécessaires, notamment pour le découpage en FST floues. Matlab semble être le plus approprié pour cette étape. Une fois les tableaux de données créés sous Matlab, plusieurs solutions s'offrent à nous pour le traitement statistique. L'ACM est disponible dans les différents logiciels de statistiques tels que Statistica mais le choix des options est limité (impossibilité d'utiliser des individus supplémentaires par exemple). Statlab propose ces options, nous avons donc commencé avec ce logiciel pour comprendre l'articulation d'une ACM (il y a de nombreuses sorties graphiques et sous formes de tableaux à analyser). Cependant, la taille de la base de données ne permettait pas l'utilisation de ce logiciel pour traiter l'ensemble des données.

Nous avons donc développé sous Matlab, le programme pour traiter les données avec l'ACM permettant la prise en compte de lignes et de colonnes supplémentaires. Utiliser Matlab permet également une grande liberté dans la représentation graphique des résultats. Nous avons également utilisé R pour l'analyse des données temporelles car le temps de calcul est plus court qu'avec Matlab.

5. CONCLUSION

Ce troisième chapitre a été consacré à la présentation de l'expérimentation sur la conduite nominale.

Ainsi la Figure 7 du chapitre II concernant la modélisation de l'étude sous forme d'un système avec un jeu de facteurs U et un jeu de variables mesurées V peut être considérée de la manière suivante :

- Le jeu de facteurs U est composé de :
 - $U_m=1$ facteur « manipulé » (individu $I=123$), générant 2 facteurs « étiquette » c'est-à-dire relatifs aux facteurs sujet : âge avec $J=3$ niveaux (Jeunes, Moyens, Agés) et sexe ($K=2$)
 - $U_c= 4$ facteurs « contrôlés » : infrastructure avec $L=2$ niveaux (ville/autoroute), moment de la journée avec $M=2$ (matin/après-midi), conditions météorologiques $N=2$ (beau/mauvais temps) et trafic $O=2$ (fluide/chargé) et
 - $U_n= k$ facteurs « non-contrôlés » : Motivation du conducteur, type de véhicule suivi...
- Les $V_1=23$ variables non-temporelles proviennent des tests et questionnaires réalisés pour déterminer les capacités cognitives, la personnalité et les habitudes de conduite des participants.
- 35 signaux temporels sont enregistrés lors de la phase de conduite. Mais tous ces signaux ne sont pas utiles à l'étude d'une situation de suivi. Seules $V_2=9$ variables temporelles sont conservées pour l'étude suivante.

Le chemin d'analyse qui sera présenté dans le chapitre suivant est celui proposé dans le chapitre II, Figure 11. $Q=I=123$ jeux de données individuelles sont considérés (chacun étant composé de deux sous-ensembles de données : un pour les données non-temporelles (DNT) relatives aux V_1 variables et un pour les données temporelles (DT) relatives aux V_2 variables. Dans la suite, quand il sera fait référence aux 2 ensembles de données, le sigle DNT&DT sera utilisé.

IV. ANALYSES DES DONNEES PSYCHOPHYSIOLOGIQUES ET DES SIGNAUX DE CONDUITE

Dans ce quatrième chapitre, le chemin utilisé pour les différentes analyses menées et les résultats associés vont être présentés. Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés à l'étude des données relatives au profil psychologique des conducteurs. En effet, les données psycho-physiologiques sont non-temporelles (DNT) donc plus facilement analysables. De plus, elles vont permettre de bien décrire notre population. Dans un deuxième temps, nous allons analyser les données temporelles (DT) pour caractériser la situation de suivi en conduite. La dernière partie sera consacrée à la mise en relation de ces deux types de données (DNT&DT) pour déterminer une éventuelle influence de la personnalité et du niveau cognitif sur le profil de conduite lors des situations de suivi.

Dans les trois analyses successives, le chemin d'analyse utilisé est celui qui a été présenté dans le chapitre II (cf. Figure 11). Il est composé d'une analyse descriptive (chemin II) suivie d'une analyse inférentielle (chemin II+). Les chemins II et II+ se déroulent chacun en 5 étapes : 1) Caractérisation, 2) Codage, 3) Mise en forme des données, 4) Analyse des tableaux et 5) Présentation des résultats. Dans l'optique d'être synthétique, dans l'étape de présentation des résultats du Chemin II, on donnera également ceux du II+.

Pour finir, précisons que, le cumul des trois analyses de données —DNT, DT et DNT&DT— étant relativement long (notamment de part la présence de plusieurs plans principaux), uniquement la première analyse (celle relative aux DNT) sera présentée dans sa totalité (on insistera notamment tant sur l'aspect méthodologique conduisant à l'obtention de résultats que sur les résultats eux-mêmes). Pour les deux analyses suivantes, uniquement les points essentiels seront présentés.

1. ANALYSE DES DONNEES NON-TEMPORELLES

Le profil psychologique des sujets est caractérisé à l'aide de $V1=23$ variables. L'ensemble Q1 regroupant les données psychologiques est donc composé de $V1=23$ variables et de $I=123$ individus.

1.1. Caractérisation

Les données psychologiques ont été mesurées sur des échelles différentes. Il est donc indispensable d'homogénéiser les échelles si l'on veut réaliser une analyse multivariée. Dans la perspective d'une analyse multivariée avec des phénomènes relationnels pouvant être non linéaires, les DNT sont transformées en valeur d'appartenance à des fenêtres spatiales. Pour perdre le moins d'informations possible, un codage flou des données est appliqué. Le choix du nombre de fenêtres est délicat. Un grand nombre de fenêtres affine l'étude mais peut la complexifier inutilement et rendre le découpage moins robuste. Le choix des classes et des bornes doit donc se faire essentiellement à partir de l'étude de la distribution de la variable. Le premier intérêt de cette étape est de vérifier les données et de renforcer la confiance que l'on a en elles. En effet, les données caractérisant le profil psychologique sont des données de tests et de questionnaires qui ont été saisies la plupart du temps par un expérimentateur. C'est pourquoi, une erreur de frappe peut facilement être faite. Le tracé de l'histogramme permet donc de détecter d'éventuelles valeurs aberrantes. Les différents types d'histogrammes rencontrés ainsi que les codages associés vont maintenant être présentés.

1.1.1. Découpage d'une variable dont la distribution est gaussienne

Le premier type d'histogramme rencontré est celui de la distribution de Laplace-Gauss comme celui de la variable *Recherche de sensations* (cf. Figure 22). Le découpage spatial peut donc se faire selon trois fenêtres. Le découpage est centré sur le mode (ici 18). Le minimum est 5 et le maximum est 31. On choisit un découpage à largeurs égales, le seuil minimum est égal à 5 et le seuil maximum à 31.

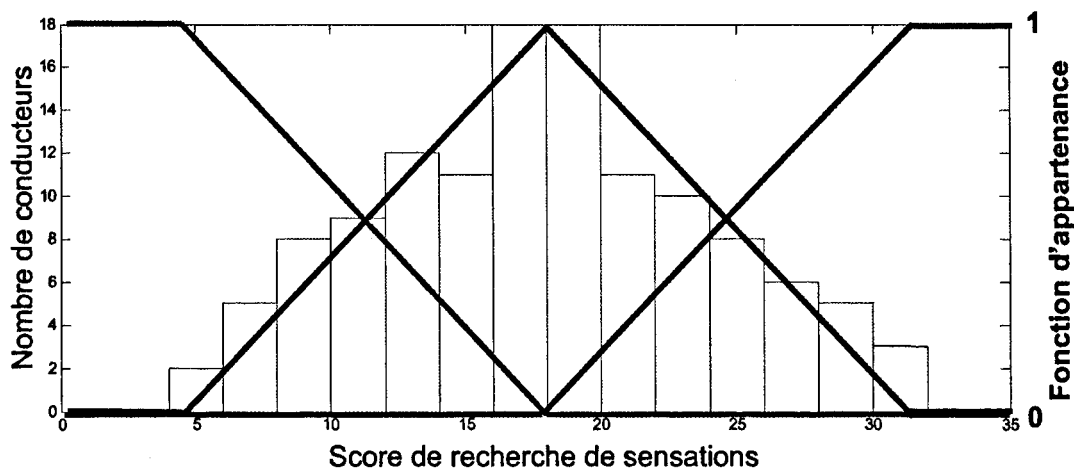


Figure 22. Exemple de découpage de la variable *Recherche de sensations*

1.1.2. Découpage d'une variable dont la distribution n'est pas gaussienne

Le deuxième type d'histogramme rencontré est celui correspondant à la distribution d'un temps de réaction comme pour l'évaluation de la *Flexibilité* (cf. Figure 23). Le temps de réaction ne peut pas être inférieur à zéro. L'histogramme est borné à gauche et dissymétrique. Il n'est donc pas idéal de centrer le découpage sur le mode. Pour ce type de variable, un découpage à largeurs égales est réalisé. Pour que le fenêtrage ne soit pas perturbé, outre mesure, par des valeurs « anormalement » grandes, on ne prend pas en compte 2% des valeurs

les plus extrêmes dans la détermination des bornes, la borne minimum de la fenêtre intermédiaire est donc 6, la borne intermédiaire 56,5 et la borne supérieure 107.

Pour les $I=123$ individus, les $V1=23$ variables sont transformées en valeurs d'appartenance à des fenêtres spatiales. Le jeu complet $Q1^a$ contient donc $V1a=23*3=69$ valeurs d'appartenance pour chacun des $I=123$ individus.

Dans le cadre du chemin inférentiel II+, aucune caractérisation n'est nécessaire, $Q1^2=Q1$.

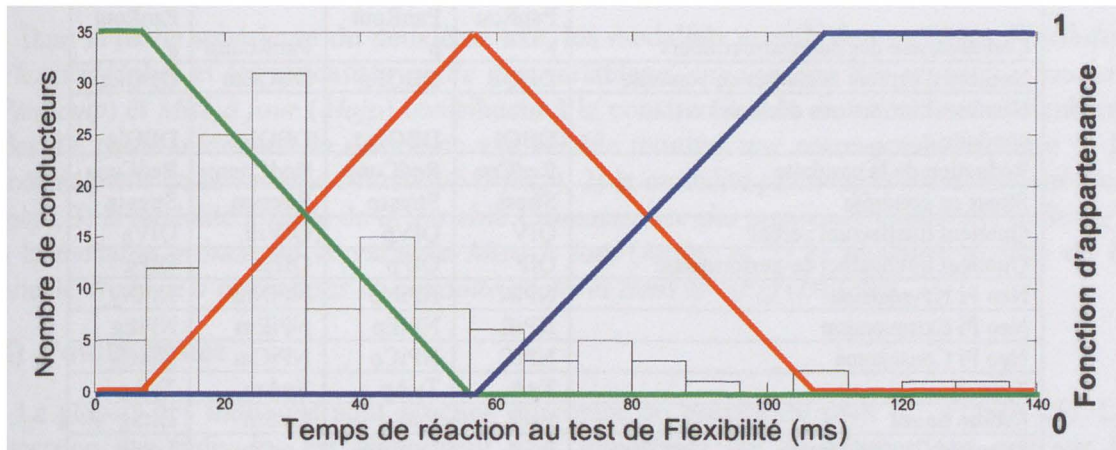


Figure 23. Exemple de découpage de la variable *Flexibilité*

1.2. Codage

Dans l'optique d'une analyse multivariée, les données obtenues sont homogènes, l'étape de codage n'est donc pas nécessaire ($Q1^{ab}=Q1^a$).

Pour le chemin II+, seules des analyses monovariées seront réalisées, donc il est inutile d'homogénéiser les échelles $Q1^{22}=Q1^2$.

1.3. Mise en forme des tableaux

En gardant à l'esprit la Figure 12 du chapitre II, voici les différents tableaux qui seront utilisés dans les analyses suivantes :

- Le tableau **ZF1** est composé de $CF1=2$ colonnes (Facteurs âge et sexe) et de $RF1=I=123$ lignes
- Le tableau **ZV1** est composé de $CV1=V1=23$ colonnes et de $RV1=I=123$ lignes.
- Le tableau **ZS1** est lui composé de $CS1=V1*3=69$ colonnes et de $RS1=I=123$ lignes.

Le tableau **ZS1_J** est le tableau où l'on moyenne sur tous les facteurs sauf le facteur j (âge). Idem pour les tableaux **ZS1_K** (tous les facteurs sauf k (sexe)) et **ZS1_{JxK}** (sur tous les facteurs sauf j et k). Les tableaux sont composés de $CS1_j=J=3$, $CS1_K=K=2$, $CS1_{JxK}=J*K=6$ lignes et de 69 colonnes.

L'ensemble des variables et des modalités est présenté dans la table ci-dessous.

<i>Variable</i>	<i>Label</i>	<i>Labels des fenêtres temporelles</i>		
Vitesse de traitement	VT	VTp	VTm	VTg
Flexibilité	Flex	Flexp	Flexm	Flexg
Mise à jour	Maj	Majp	Majm	Majg
Inhibition	Inh	Inhp	Inhm	Inhg
Attention divisée	AtDiv	AtDivp	AtDivm	AtDivg
Connaissance des panneaux routiers	PanRout	PanRoutp	PanRoutm	PanRoutg
Nombre d'erreurs déclarées en conduite	DBQE	DBQEp	DBQEm	DBQEG
Nombre d'infractions déclarées en conduite	DBQI	DBQIp	DBQIm	DBQIg
Réduction de la conduite	RedCon	RedComp	RedComm	RedCong
Stress en conduite	Stress	Stressp	Stressm	Stressg
Quotient intellectuel verbal	QIV	QIVp	QIVm	QIVg
Quotient intellectuel de performance	QIP	QIPp	QIPm	QIPg
Neo Pi Névrosisme	NPiN	NPiNp	NPiNm	NPiNg
Neo Pi Extraversion	NPiE	NPiEp	NPiEm	NPiEg
Neo Pi Conscience	NPiC	NPiCp	NPiCm	NPiCg
Type A	TyA	TyAp	TyAm	TyAg
Estime de soi	EstS	EstSp	EstSm	EstSg
Locus of Control Interne	LocI	LocIp	LocIm	LocIg
Locus of Control Externe	LocE	LocEp	LocEm	LocEg
Ciss Tâche	CisT	CisTp	CisTm	CisTg
Ciss Emotion	CisE	CisEp	CisEm	CisEg
Ciss Evitement	CisEv	CisEvP	CisEvm	CisEvG
Recherche de sensations	RS	RSp	RSm	RSg

Table 1. Liste des variables et des modalités associées qui composent ZS1

1.4. Exploitation du tableau de données

L'ACM est une méthode capable de traiter des valeurs d'appartenance et de montrer les relations entre les variables ainsi que l'influence de facteurs (ici : i, j, k). On peut alors commencer l'ACM en mettant en « actif » les individus (l'opération de recherche des axes principaux porte sur toutes les données individuelles). Puis il est possible de continuer en mettant en points supplémentaires les points relatifs aux facteurs autres que le facteur individu i sur les axes construits à partir des données initiales (ces nouveaux points ont un statut « passif » dans l'ACM). Pour déterminer les correspondances entre les variables psychophysiologiques, une ACM est réalisée sur le tableau ZS1(123,69). Les tableaux ZS1_j, ZS1_k et ZS1_{j,k} sont utilisés comme lignes supplémentaires.

1.4.1. Premier plan factoriel

Le premier plan factoriel représente $10+8=18\%$ de l'inertie totale. L'inertie observée n'est pas très importante mais cela est dû au fait que le nombre de colonnes ($C1=69$) est grand par rapport au nombre de lignes ($R1=123$).

(i) Points-colonnes

Le côté gauche du premier plan factoriel semble souligner une correspondance entre 1) la modalité *grande* de la variable *Névrosisme* (NPiNg), 2) la modalité *grande* de la variable

Gestion de la tâche par l'émotion (CisEg), 3) la modalité *grande* de la variable *Nombre d'erreurs déclarés en conduite (DBQEg)* et 4) la modalité *petite* de la variable *Conscience (NPiCp)* (cf. Figure 24).

Sur le côté droit de l'axe, une correspondance apparaît entre 1) la modalité *petite* de la variable *Névrosisme (NPiN)*, 2) la modalité *petite* de la variable *Gestion de la tâche par l'émotion (CisEg)*, 3) la modalité *petite* de la variable *Nombre d'erreurs déclarés en conduite (DBQEg)* et 4) la modalité *grande* de la variable *Conscience (NPiCp)*.

Dans la partie supérieure du deuxième axe, les modalités *grande* des variables *Flexibilité (Flexg)* et *Inhg)* et les modalités *petite* des variables *Connaissance des panneaux routiers (PanRoutp)* et *Mise à jour (Majp)* contribuent à la construction du deuxième axe et semblent liées. La partie inférieure du deuxième axe semble montrer une correspondance entre 1) la modalité *petite* de la variable *Flexibilité (Flexp)*, 2) la modalité *petite* de la variable *Inhibition (Inhp)*, 3) la modalité *grande* de la variable *Connaissance des panneaux routiers (PanRoutg)*, 4) la modalité *grande* de la variable *Mise à jour (Majg)* et 5) la modalité *grande* de la variable *Nombre d'infractions en conduite déclarés dans le DBQ (DBQIg)*.

(ii) Points-lignes

La plupart des individus sont proches du centre de gravité du plan (cf. Figure 25). La dispersion des individus est légèrement plus importante sur le premier axe que sur le deuxième. Sur le premier axe, les individus situés du côté gauche de l'axe sont, dans l'ensemble, situés plus près du centre de gravité ; ces individus sont ceux qui, par rapport à la moyenne ont une plus forte valeur d'appartenance pour les modalités situées sur le côté gauche du premier plan factoriel (*NPiNg, CisEg, DBQEg, NPiCp*). Une vingtaine de conducteurs sont situés de manière plus excentrée sur le côté droit, ce sont ceux qui ont de fortes valeurs d'appartenance pour les modalités situées sur la droite du plan qui ont les plus grosses contributions à la formation du premier axe factoriel (*NPiN, CisEg, DBQEg, NPiCp*). Les conducteurs sont répartis de manière homogène selon le deuxième axe.

(iii) Points-lignes placés en illustratif

Dans cette première analyse, le but est de caractériser la population de l'étude. Il est donc intéressant de déterminer l'impact possible de l'âge, du sexe et de la combinaison de ces deux facteurs.

Sur le premier axe (cf. Figure 26), le sexe et l'âge ne semblent pas permettre de différencier les individus. Par contre, lorsque l'on combine ces deux facteurs, on peut noter que les femmes âgées (FA) (sur le côté droit de l'axe) s'opposent sur le premier axe aux femmes jeunes (FJ) et d'âge moyen (FM) (sur le côté gauche de l'axe). Les femmes âgées semblent donc constituer une catégorie à part par rapport aux 5 autres combinaisons sexe-âge.

Sur le deuxième axe, l'âge semble avoir un impact sur le comportement des individus. En effet, les jeunes (Jeunes) sont situés vers le bas de l'axe, les personnes d'âge moyen (Moyens) sont proches du centre de gravité et les personnes âgées (Agés) sont situées vers le haut de l'axe.

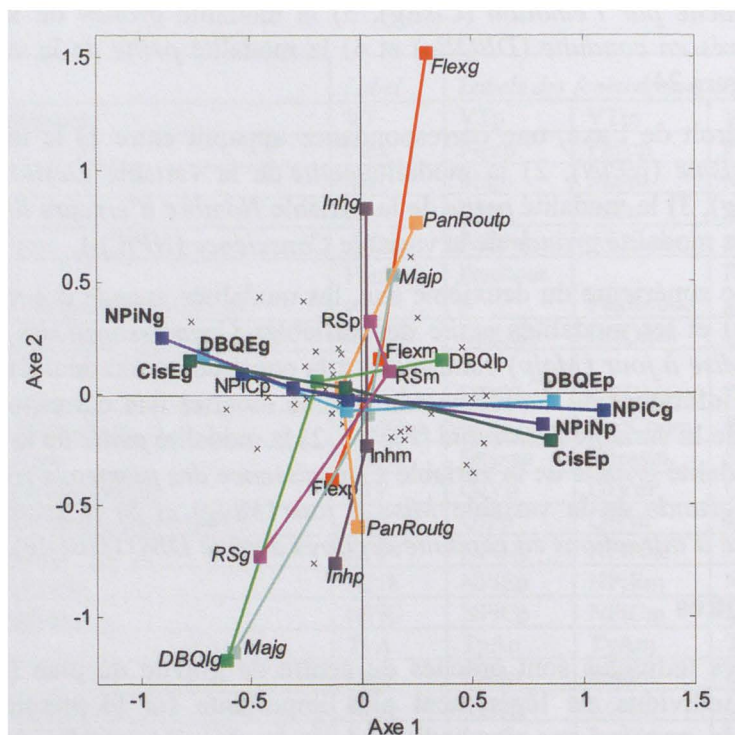


Figure 24. Plan (1, 2) de l'ACM pour le tableau ZS1(123, 69). Cas des 69 points colonnes. (10% d'inertie exprimée sur l'axe 1 et 8% sur l'axe 2) (Les points en gras représentent les variables qui ont les plus fortes contributions sur l'axe 1, les points en italique les fortes contributions sur l'axe 2)

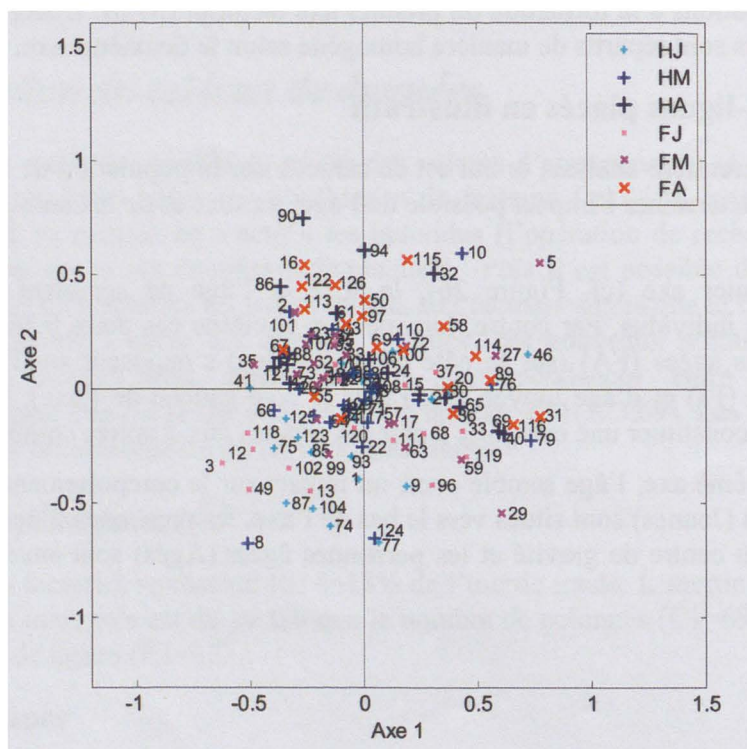


Figure 25. Plan (1, 2) de l'ACM pour le tableau ZS1(123, 69). Cas des 123 points lignes.

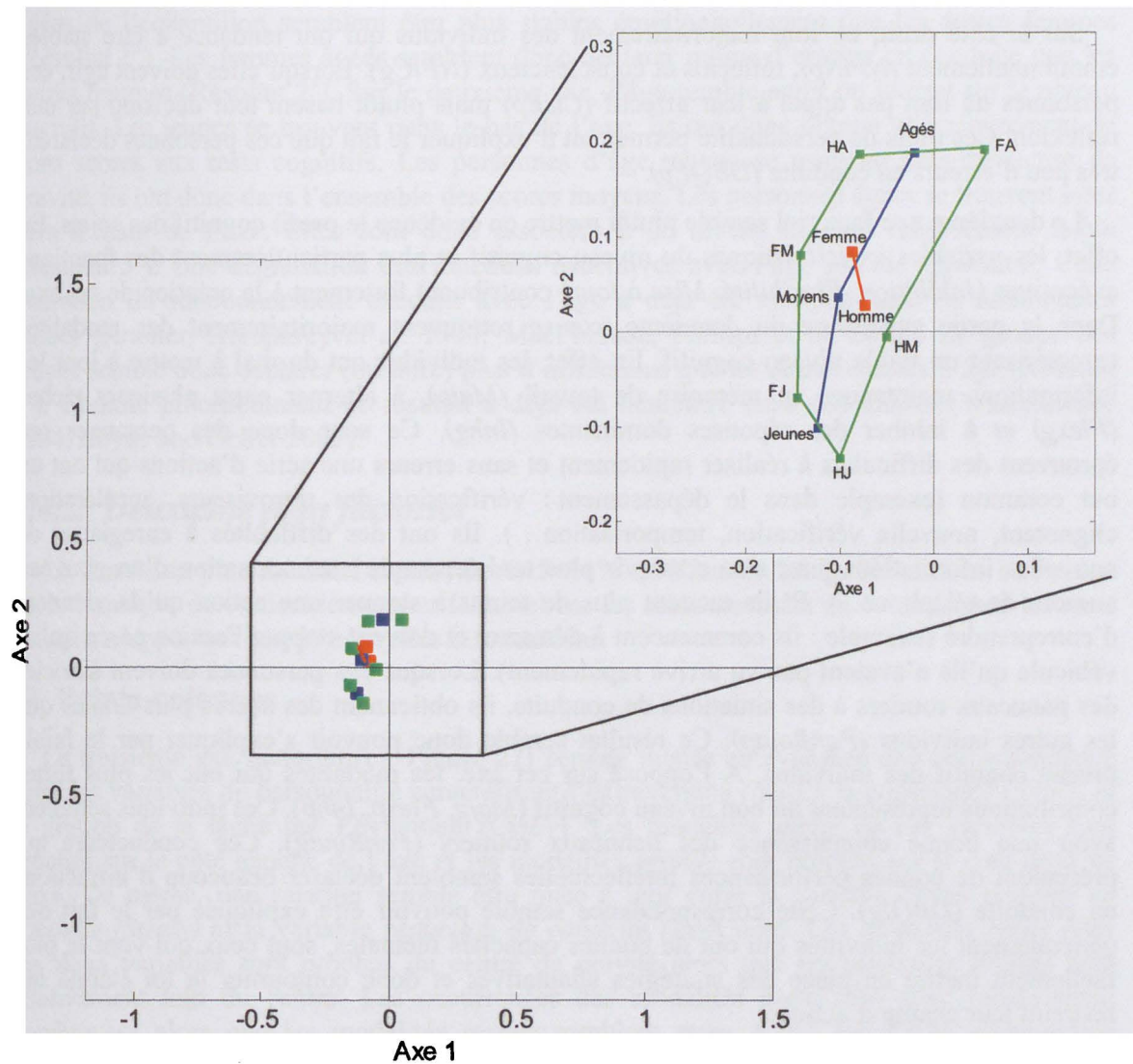


Figure 26. Plan (1, 2) de l'ACM pour le tableau ZS1(123, 69). Cas de points lignes supplémentaires correspondants aux profils moyens selon les facteurs d'âge (en bleu), de sexe (en rouge) et de la combinaison sexe-âge (en vert)

(iv) Interprétation

Les modalités qui contribuent le plus à la formation du premier axe appartiennent des variables (*Névrosisme*, *Conscience* et *Gestion de la tâche par l'émotion*) caractérisant la personnalité. Sur le côté gauche, ce sont les modalités caractérisant un haut niveau sur l'échelle de *Névrosisme* (*NPiNg*) et un niveau bas sur l'échelle de *Conscience* (*NPiCp*). Ces deux traits de personnalité permettent de caractériser des individus qui sont hédonistes, ils peuvent donc agir avec impulsivité pour accéder à cet état de plaisir. Ces personnes sont instables émotionnellement et ont du mal à gérer le stress. Ce sont des personnes qui ont des difficultés à se concentrer sur une tâche particulière. Ils ont tendance à agir en fonction de l'émotion et de l'affectivité qu'ils ressentent. Leur inattention et leur impulsivité peuvent expliquer que dans le cadre de la conduite, ils peuvent être amenés à faire de nombreuses erreurs (*DBQEg*).

Sur le côté droit, ce sont majoritairement des individus qui ont tendance à être stables émotionnellement (*NPiNp*), réfléchis et consciencieux (*NPiCg*). Lorsqu'elles doivent agir, ces personnes ne font pas appel à leur affectif (*CisEp*) mais plutôt basent leur décision sur une réflexion. Ces traits de personnalité permettent d'expliquer le fait que ces personnes déclarent très peu d'erreurs en conduite (*DBQEp*).

Le deuxième axe factoriel semble plutôt mettre en évidence le profil cognitif des sujets. En effet, les variables caractéristiques du niveau cognitif et plus particulièrement des fonctions exécutives (*Inhibition, Flexibilité, Mise à jour*) contribuent fortement à la création de cet axe. Dans la partie supérieure du deuxième axe se retrouvent majoritairement des modalités caractérisant un faible niveau cognitif. En effet, les individus ont du mal à mettre à jour les informations maintenues en mémoire de travail (*Majp*), à alterner entre plusieurs tâches (*Flexg*) et à inhiber des réponses dominantes (*Inhg*). Ce sont donc des personnes qui éprouvent des difficultés à réaliser rapidement et sans erreurs une série d'actions qui ont un but commun (exemple dans le dépassement : vérification des rétroviseurs, accélération, clignotant, nouvelle vérification, temporisation...). Ils ont des difficultés à enregistrer de nouvelles informations pour s'en resservir plus tard (exemple : mémorisation d'un nouveau numéro de téléphone...). Et ils mettent plus de temps à stopper une action qu'ils viennent d'entreprendre (exemple : ils commencent à démarrer et doivent stopper l'action parce qu'un véhicule qu'ils n'avaient pas vu arrive rapidement). Lorsque ces personnes doivent associer des panneaux routiers à des situations de conduite, ils obtiennent des scores plus faibles que les autres individus (*PanRoutp*). Ce résultat semble donc pouvoir s'expliquer par le faible niveau cognitif des individus. A l'opposé sur cet axe, les modalités qui ont les plus fortes contributions représentent un bon niveau cognitif (*Majg, Flexp, Inhp*). Ces individus semblent avoir une bonne connaissance des panneaux routiers (*PanRoutg*). Ces conducteurs qui présentent de bonnes performances intellectuelles semblent déclarer beaucoup d'infractions en conduite (*DBQIg*). Cette correspondance semble pouvoir être expliquée par le fait que généralement les individus qui ont de bonnes capacités mentales, sont ceux qui vont le plus facilement mettre en place des stratégies adaptatives et donc contourner la loi établie qui restreint leur champ d'action.

L'observation des points-lignes et des points-colonnes permet d'obtenir les résultats suivants :

- Résultat 1 : Le premier axe factoriel permet de caractériser la personnalité des conducteurs. Il oppose les conducteurs qui sont stables émotionnellement, réfléchis, consciencieux (à droite) aux conducteurs qui agissent en fonction de leur émotion, qui ont du mal à gérer le stress (à gauche).
- Résultat 2 : Les conducteurs réfléchis et consciencieux font moins d'erreurs en conduite (à droite) que les conducteurs stressés, impulsifs (à gauche).
- Résultat 3 : Le deuxième axe factoriel permet de caractériser le niveau cognitif des conducteurs. Il oppose les conducteurs avec un bon niveau cognitif (dans la partie basse de l'axe) aux conducteurs qui ont un niveau cognitif faible (dans la partie haute de l'axe).
- Résultat 4 : Les conducteurs qui ont un bon niveau cognitif ont tendance à faire plus d'infractions (dans la partie basse de l'axe) que les conducteurs avec un faible niveau cognitif (dans la partie haute de l'axe).

Des différences entre les différents groupes de sujets ont été observées. Sur le premier axe, les femmes âgées se trouvent sur la droite de l'axe à l'opposé des autres femmes. Les femmes

âgées de l'échantillon semblent être plus stables émotionnellement que les autres femmes (Résultat 1'). Les femmes âgées semblent donc déclarer moins d'erreurs en conduite que les autres femmes (Résultat 2'). Sur le deuxième axe, l'âge semble avoir un impact sur le niveau cognitif. Les jeunes se trouvent dans le bas de l'axe, ils ont donc obtenu majoritairement de bons scores aux tests cognitifs. Les personnes d'âge moyen se trouvent près du centre de gravité, ils ont donc dans l'ensemble des scores moyens. Les personnes âgées se trouvent elles vers le haut de l'axe. Elles sont donc associées à un niveau cognitif relativement faible (Résultat 3'). Une dégradation des fonctions exécutives avec l'âge semble apparaître. Cette altération du fonctionnement exécutif avec l'âge a déjà été montrée dans de nombreuses études (Kramer, Humphrey et al. 1994; MacPherson, Phillips et al. 2002). Le groupe des jeunes semble donc déclarer (ou faire) plus d'infractions que les autres classes d'âge (Résultat 4'). Comme précédemment ce résultat a déjà été démontré dans des études (Wasielowski 1984; Boyce and Geller 2002).

1.4.2. Deuxième plan factoriel

Le deuxième plan factoriel représente $6+5=11\%$ de l'inertie totale. Nous nous arrêterons après l'analyse de ce deuxième plan factoriel car les relations mise en évidence sur les axes suivants n'apportent pas de nouvelles informations.

(i) Points-colonnes

Le troisième axe factoriel (cf. Figure 27) semble mettre en évidence une correspondance entre les variables de personnalité caractérisant l'extraversion (*NpiE*), la conscience (*NPiC*) et la gestion de la tâche par l'évitement (*CisEv*). Les modalités *petite* de ces variables sont proches sur le côté gauche de l'axe et les modalités *grande* sont proches sur le côté droit de l'axe. De même, une relation semble être mise à jour entre la variable *Stress ressenti en conduite* (*Stress*) et la variable *réduction de conduite* (*RedCond*). Les modalités *petite* pour ces deux variables sont proches du centre de gravité alors que les modalités *grande* sont relativement loin du centre. Les occurrences des modalités *petite* sont donc relativement nombreuses alors que les modalités *grande* semblent rares. Cette spécificité géométrique constitue un point important de l'ACM, nommé effet barycentrique (Benzecri 1992), ce qui permet de montrer les occurrences de fenêtres spatiales positionnées dans un plan donné. Ces quatre variables ont les plus fortes contributions à la formation de cet axe.

Dans la partie haute du quatrième axe factoriel, une correspondance entre 1) la modalité *petite* de la variable *Lieu de contrôle externe* (*LocEp*), 2) la modalité *grande* de la variable *Recherche de sensations* (*RSg*), 3) la modalité *grande* de la variable *Quotient intellectuel verbal* (*QIVg*) et 4) la modalité *grande* de la variable *Quotient intellectuel de performance* (*QIPg*) semble apparaître. Le côté opposé de l'axe semble mettre en évidence une correspondance entre 1) la modalité *petite* de la variable *Recherche de sensations* (*RSp*), 2) la modalité *petite* de la variable *Quotient intellectuel verbal* (*QIVp*), 3) la modalité *petite* de la variable *Quotient intellectuel de performance* (*QIPp*) et la modalité *grande* de la variable *Lieu de contrôle interne* (*LocIg*).

(ii) Points-lignes

Sur le deuxième plan factoriel, la plupart des individus se trouvent proche du centre de gravité (cf. Figure 28). Une douzaine de conducteurs sont légèrement excentrés sur le côté droit du troisième axe factoriel. Sur le quatrième axe factoriel, quelques conducteurs sont situés vers le bas de l'axe (une dizaine). De nombreux conducteurs sont dispersés vers le haut.

(iii) Points-lignes placés en illustratif

Comme précédemment, des points supplémentaires représentant l'âge, le sexe et la combinaison de ces deux paramètres sont placés en illustratif. Sur ce deuxième plan factoriel, il ne semble pas y avoir de différences majeures entre les différents groupes. En effet, tous les points supplémentaires sont situés proches les uns des autres (cf. Figure 29).

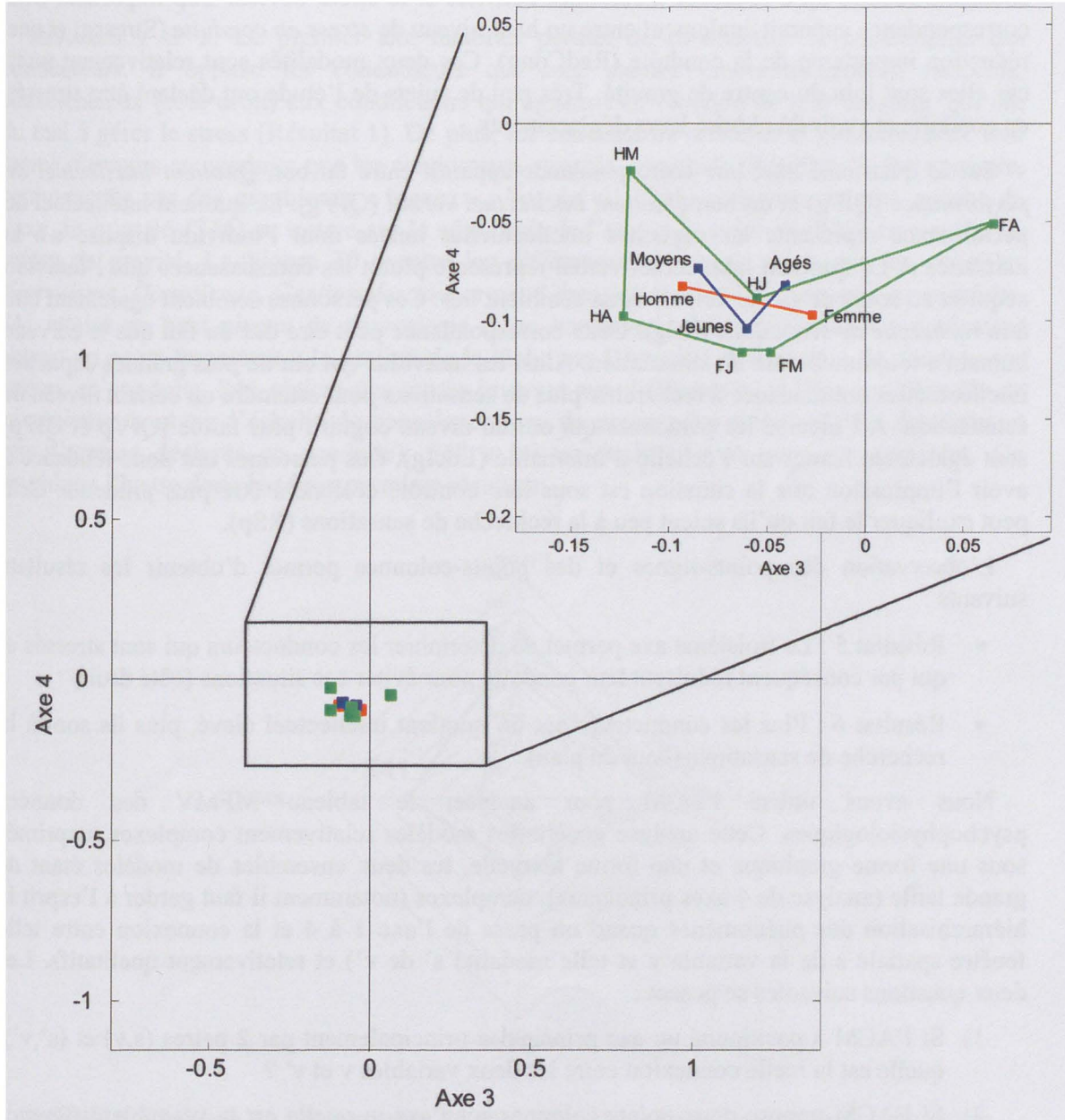


Figure 29. Plan (3, 4) de l'ACM pour le tableau ZS1(123, 69). Cas des points lignes correspondants aux profils moyens selon les facteurs d'âge, de sexe et de la combinaison âge-sexe

(iv) Interprétation

Le troisième axe reflète également la personnalité. Sur le côté droit, les traits de personnalité de *Conscience* (NPiCg) et d'*Extraversion* (NPiEg) ont les plus grandes contributions à la formation de l'axe. Ces individus consciencieux, réfléchis semblent avoir tendance à éviter les situations qui peuvent être stressantes pour eux (CisEv). Ils peuvent être amenés à réduire ou à renoncer à certaines activités si le stress devient trop important. Une correspondance apparaît également entre un haut niveau de *stress en conduite* (Stressg) et une réduction importante de la conduite (RedCong). Ces deux modalités sont relativement rares car elles sont loin du centre de gravité. Très peu de sujets de l'étude ont déclaré être stressés en conduite et avoir dû réduire leurs déplacements.

Sur le quatrième axe, une correspondance apparaît entre un bon *Quotient intellectuel de performance* (QIPg) et un bon *Quotient intellectuel verbal* (QIVg). Le quotient intellectuel de performance représente les capacités intellectuelles innées dont l'individu dispose « à la naissance ». Le quotient intellectuel verbal représente plutôt les connaissances que l'individu acquiert au cours de sa vie. Ici, les deux semblent liés. Ces personnes semblent également être à la *recherche de sensations* (RSg). Cette correspondance peut être due au fait que le cerveau humain a toujours besoin de stimulation. Ainsi les individus qui ont de plus grandes capacités intellectuelles ont tendance à rechercher plus de sensations pour atteindre un certain niveau de satisfaction. A l'inverse les personnes qui ont un niveau cognitif plus faible (QIVp et QIPp) sont également hautes sur l'échelle d'internalité (Loclg). Ces personnes ont donc tendance à avoir l'impression que la situation est sous leur contrôle et donc à être plus prudents. Cela peut expliquer le fait qu'ils soient peu à la recherche de sensations (RSp).

L'observation des points-lignes et des points-colonnes permet d'obtenir les résultats suivants :

- Résultat 5 : Le troisième axe permet de déterminer les conducteurs qui sont stressés et qui par conséquent réduisent leur conduite pour éviter ces situations (côté droit)
- Résultat 6 : Plus les conducteurs ont un quotient intellectuel élevé, plus ils sont à la recherche de sensations (haut du plan).

Nous avons utilisé l'ACM pour analyser le tableau MFMV des données psychophysiologiques. Cette analyse génère des modèles relativement complexes, exprimés sous une forme graphique et une forme textuelle, les deux ensembles de modèles étant de grande taille (analyse de 4 axes principaux), complexes (notamment il faut garder à l'esprit la hiérarchisation des phénomènes quand on passe de l'axe 1 à 4 et la connexion entre telle fenêtre spatiale s de la variable v et telle modalité s' de v') et relativement qualitatifs. Les deux questions suivantes se posent :

- 1) Si l'ACM a positionné un axe principal α principalement par 2 paires (s,v) et (s',v'), quelle est la réelle connexion entre les deux variables v et v' ?
- 2) Si l'ACM oppose deux points colonnes sur l'axe α , quelle est la véritable différence entre les deux jeux de données correspondants ?

Pour répondre à ces questions, il est nécessaire de retourner aux données initiales. Ainsi des graphiques spécifiques utilisant les échelles initiales (par exemple : distances, angles) doivent être utilisés. Nous allons donc dans une dernière étape présenter les résultats à l'aide de graphiques simples (monovarié, bivarié ou éventuellement trivarié) et des modèles verbaux (réponses à des tests statistiques usuels).

1.5. Présentations des résultats avec des graphiques explicites et des modèles verbaux

Six résultats principaux ont été obtenus par l'analyse des deux premiers plans factoriels de l'ACM de ZS1(123,69). Nous allons maintenant présenter ces résultats à l'aide de graphiques simples et les valider lors d'une étude confirmatoire (à l'aide des tableaux ZF1 et ZV1).

Résultats 1 & 2. Le premier axe factoriel permet de caractériser la personnalité des conducteurs. Il oppose les conducteurs qui sont stables émotionnellement, réfléchis, consciencieux (côté droit) aux conducteurs qui agissent en fonction de leur émotion, qui ont du mal à gérer le stress (Résultat 1). De plus, les conducteurs réfléchis et consciencieux font moins d'erreurs en conduite que les conducteurs stressés, impulsifs (Résultat 2). Par exemple, commençons par des graphiques « locaux » : le sujet 41 (S41) se trouve du côté gauche de l'axe, le sujet 46 (S46) se trouve sur le côté droit de l'axe et le sujet 48 (S48) est proche du centre de gravité. La Figure 30 montre les différences entre ces sujets sur les variables *Névrosisme*, *Conscience*, *Gestion des tâches par l'émotion* et *Nombre d'erreurs en conduite*. S41 atteint un haut niveau de névrosisme et un bas niveau de conscience. Il a également obtenu un score important à la gestion de la tâche par l'émotion et il déclare de nombreuses erreurs en conduite. S46 obtient des scores inverses aux différents tests (Bas sur l'échelle de névrosisme, haut sur l'échelle de conscience, peu de gestion des tâches par les émotions et peu d'erreurs déclarés en conduite). S48 a lui un profil moyen pour ces variables. Ce graphique illustre donc les deux premiers résultats.

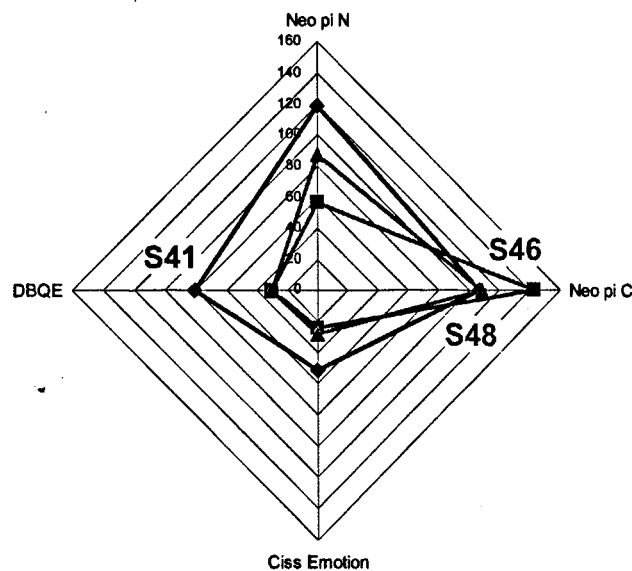


Figure 30. Exemple de présentation du résultat 1 (Opposition entre des conducteurs stables émotionnellement et des conducteurs qui ont du mal à gérer leur stress) et du résultat 2 (les conducteurs réfléchis et consciencieux font moins d'erreurs en conduite que les conducteurs stressés, impulsifs)

Résultat 3. Le deuxième axe factoriel permet de caractériser le niveau cognitif des conducteurs. Il oppose les conducteurs avec un bon niveau cognitif (vers le bas de l'axe) aux conducteurs qui ont un niveau cognitif faible (vers le haut de l'axe).

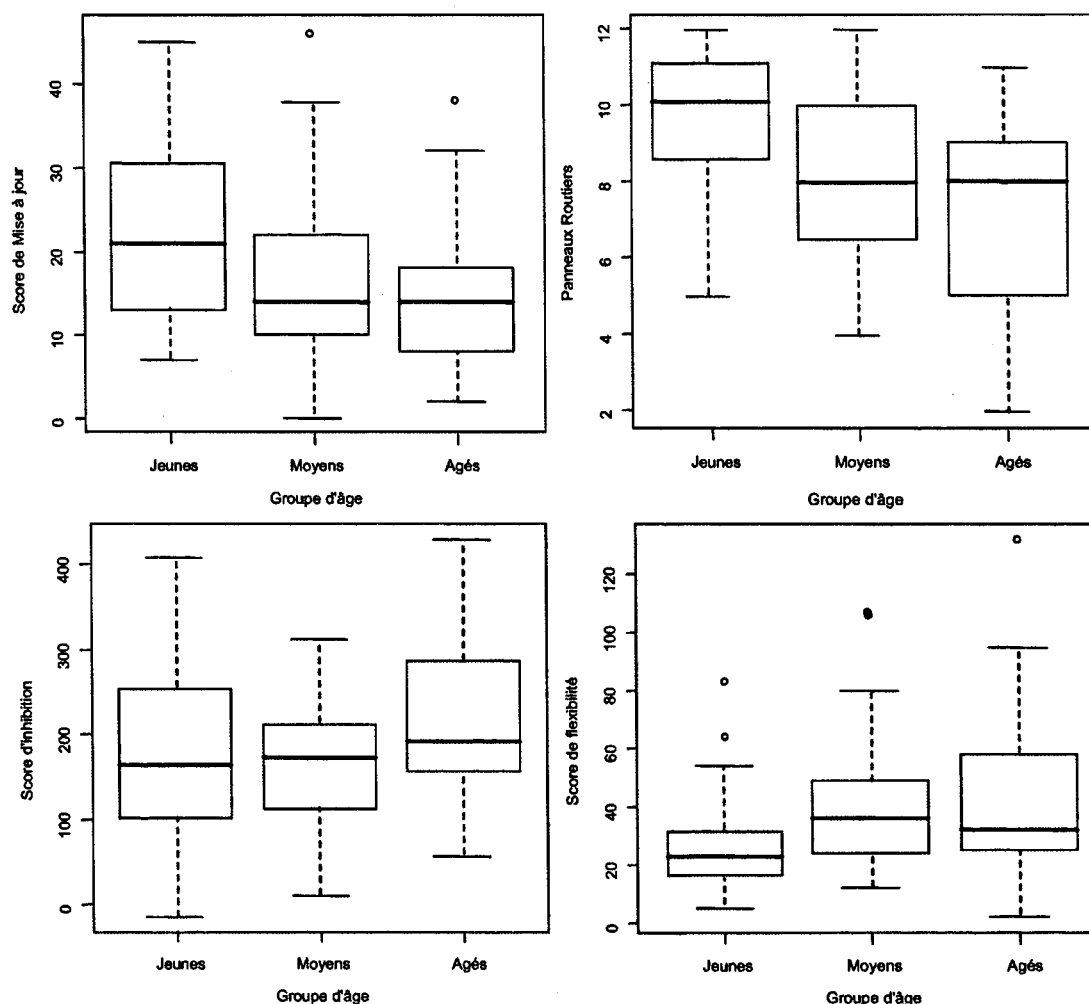


Figure 31. Exemple d'illustration du résultat 3 (Caractérisation du niveau cognitif) et du résultat 3' (Différence de niveau cognitif entre les classes d'âge)

On peut utiliser ici des graphiques plus « globaux » comme la Figure 31 qui montre les différences entre les trois groupes d'âge pour les trois principales fonctions cognitives (Flexibilité, Mise à jour et Inhibition). Le groupe des jeunes conducteurs a de meilleurs résultats en flexibilité et en mise à jour que les deux autres groupes. Les personnes âgées obtiennent elles les scores les plus faibles pour ces trois fonctions et notamment pour l'inhibition.

Ces trois résultats sont confirmés à l'aide d'un test non-paramétrique (ANOVA de Kruskal-Wallis par rangs), les distributions étant non-gaussiennes (Flexibilité : $H(2, N=123)=15,28$, $p<0.001$, Mise à jour : $H(2, N=123)=11,70$, $p<0.01$, Inhibition : $H(2, N=123)=8,14$, $p<0.05$).

Les personnes âgées ont les scores les plus faibles sur toutes les fonctions exécutives. Ce sont elles également qui obtiennent les scores les plus faibles à la reconnaissance des panneaux ($H(2, N=123)=19,57$, $p<0.001$).

Résultat 4. Les conducteurs qui ont un bon niveau cognitif ont tendance à faire plus d'infractions que les conducteurs avec un faible niveau cognitif. Ce sont les jeunes conducteurs qui déclarent le plus d'infractions en conduite ($H(2, N=123)=6,58$, $p=0.037$) (cf.

Figure 32) et ce sont également eux qui ont le meilleur niveau cognitif (cf. Résultat 3). Ce résultat issu de l'ACM est donc confirmé.

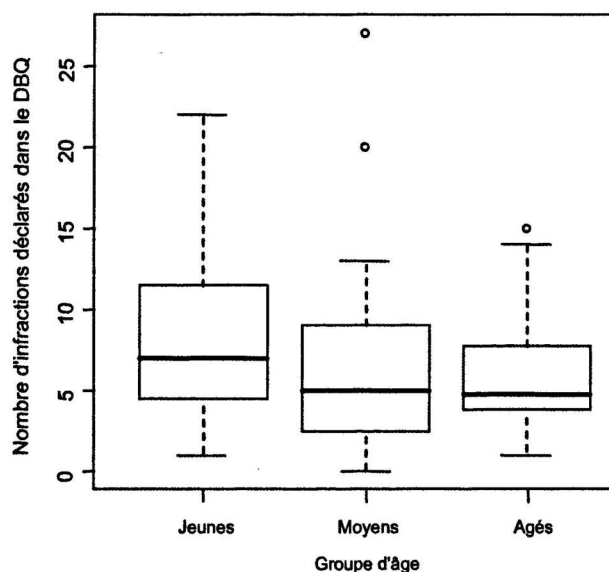


Figure 32. Exemple d'illustration du résultat 4 (Les conducteurs qui ont un bon niveau cognitif ont tendance à faire plus d'infractions que les conducteurs avec un faible niveau cognitif)

Résultat 5. Le troisième axe permet de déterminer les conducteurs qui sont stressés et qui par conséquent réduisent leur conduite pour éviter ces situations (abandonnent parfois la conduite (conduite de nuit, aux horaires chargés...) ou évitent de prendre un itinéraire qui les ferait rencontrer des situations stressantes (rond point...)). Ainsi le conducteur S70 se trouve sur la droite de l'axe, il devrait donc être stressé par la conduite et avoir tendance à réduire sa conduite dans des situations stressantes. Le conducteur S78 semble peu stressé par la conduite et n'est donc pas amené à réduire souvent sa conduite. Le conducteur S108 se trouve proche du centre de gravité. Il a donc un comportement moyen. La Figure 33 montre les scores de ces trois conducteurs aux questionnaires sur le stress et la réduction de la conduite et illustre les observations faites avec l'ACM.

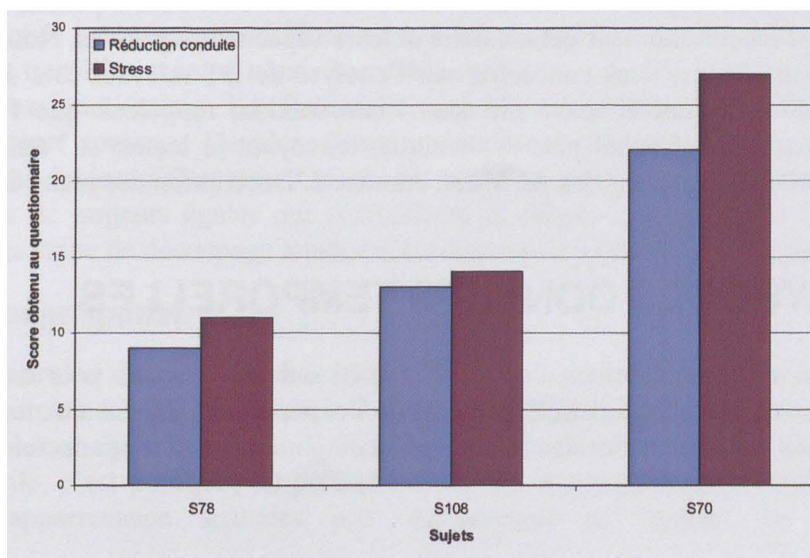


Figure 33. Exemple d'illustration du résultat 5 (Détermination des conducteurs qui sont stressés et qui par conséquent réduisent leur conduite pour éviter ces situations sur l'axe 3).

Résultat 6. Plus les conducteurs ont un quotient intellectuel élevé, plus ils sont à la recherche de sensations. La

Figure 34 ne semble pas montrer ce résultat. Le coefficient de corrélation entre les scores de *Quotient intellectuel verbal* (QIV) et de *Recherche de sensations* (RS) est très faible ($r=0.12$, NS). Il n'y a donc pas de relation entre le QIV et la recherche de sensations. Cette infirmation provient du fait qu'il y a une correspondance entre, non pas 2 paires (s,v), mais bien plus (cf. haut de l'axe 4) et que, comme cette correspondance n'apparaît qu'au quatrième axe, elle est nettement localisée, c'est-à-dire qu'elle n'est présente que pour un petit nombre d'individus (par exemple correspondance entre QIVg et RSg et LocEp et QIPg, uniquement les individus situés en haut de l'axe 4).

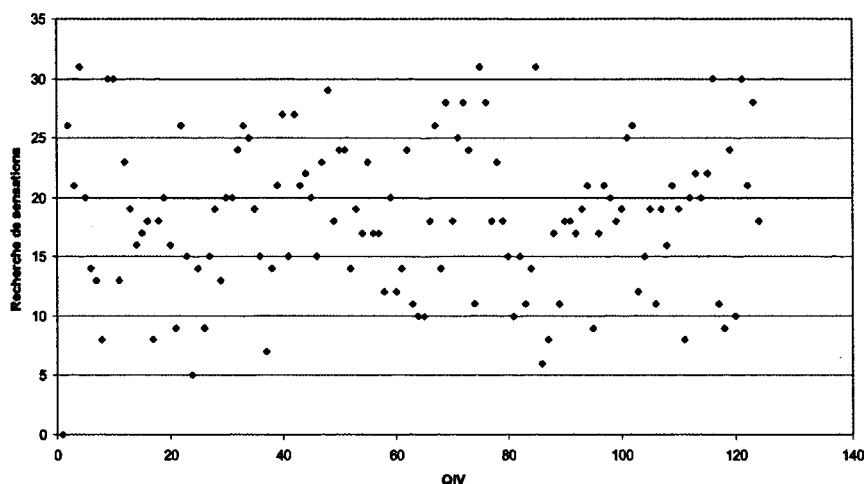


Figure 34. Exemple d'illustration du résultat 6 (relation entre le QIV et la recherche de sensations)

Jusqu'à présent, nous nous sommes intéressés aux DNT. Cela nous a permis de décrire les conducteurs de l'étude selon leur personnalité et leurs capacités cognitives. Nous allons donc dans un deuxième temps, nous concentrer sur l'analyse de DT relevées lors des phases de suivi en conduite. Comme il a été dit dans l'introduction, rappelons que l'analyse sera présentée de manière nettement plus synthétique, renvoyant le lecteur à l'annexe pour les analyses méticuleuses des plans des ACM (cf. Annexe 2. Description des plans de l'ACM).

2. ANALYSE DES DONNEES TEMPORELLES

V2o=9 voies de mesure principales (cf. Table 2) ont été retenues pour caractériser les 12803 situations de suivis enregistrées au cours de l'expérimentation. La situation de suivi va être étudiée puis nous nous focaliserons sur le comportement des conducteurs dans cette situation.

2.1. Analyse de la situation de suivi

Tout d'abord, ce sont les 12803 situations de suivi pour les $I=123$ individus qui vont être analysées. Le plus court signal multidimensionnel (SM) dure 1s et le plus long 590s.

<i>Nom de la variable</i>	<i>Label</i>	<i>Label de la fenêtre spatiale</i>
Angle volant (°)	SA	SA< SA^ SA>
Accélération longitudinale (m.s ⁻²)	LA	LAI LAm LAh
Accélération transversale (m.s ⁻²)	TA	TAI TAm TAh
Distance avec le véhicule suivi (m)	DV	DVl DVm DVh
Différence de vitesse avec le véhicule suivi (km/h)	RS	RSl RSm RSh
Différence de vitesse avec la limitation (km/h)	SL	SL- SL= SL+
Position de la pédale de frein (mm)	BP	BP0 BP1 BPm PBh
Position de la pédale d'accélération (mm)	GP	GP0 GP1 GPm GPh
Pression maître-cylindre (bar)	BPr	BPr0 BPr1 BPrm BPrh

Table 2. Définition des variables temporelles, leurs labels et fenêtres spatiales respectifs

2.1.1. Caractérisation

Dans le jeu de données initial Q2, $V2r=3$ variables sont supprimées car elles sont fortement corrélées avec une autre variable (la variable *angle volant* est corrélé avec la variable *accélération transversale*, la variable *position de la pédale de frein* avec la variable *pression de freinage* et la variable *position de la pédale d'accélération* avec la variable *accélération longitudinale*).

(i) Découpage temporel

Afin de pouvoir caractériser l'influence du temps sur les variables, un découpage temporel va être appliqué. La principale difficulté est le choix des bornes des différentes fenêtres. Aucun état de transition marqué n'est observable sur les V2 variables. Le suivi semble être un phénomène quasi-stationnaire. Les fenêtres temporelles ne peuvent donc pas être déterminées selon des critères spatiaux. De plus, l'expérimentation s'étant déroulée sur route, tous les suivis ont des durées différentes. On choisit donc de prendre $T=3$ fenêtres temporelles rectangulaires de largeurs égales qui symbolisent le début, le milieu et la fin du suivi. A l'issue de cette étape de découpage temporel, on dispose de 12803×3 fenêtres temporelles.

(ii) Découpage spatial

Comme pour les données psychologiques, les données relatives à la conduite ont été enregistrées sur des échelles différentes. Il est donc indispensable de transformer les données pour pouvoir les analyser ensemble. Déterminer les limites entre deux fenêtres spatiales s et $s+1$ est difficile, c'est pourquoi on préfère utiliser des fonctions d'appartenance floues. Les fonctions d'appartenance spatiales sont déterminées en étudiant les histogrammes

d'amplitude. Les différents histogrammes d'amplitude rencontrés (unimodal, bimodal...) ainsi que les découpages réalisés vont être présentés.

☞ *Découpage d'une variable dont la distribution est unimodale*

La distribution de la variable *Accélération longitudinale* présente un mode au niveau de 0, qui caractérise l'absence d'accélération et de décélération (cf. Figure 35). La distribution est unimodale et suit une courbe de Laplace-Gauss. Un découpage en $S=3$ fenêtres spatiales semble le plus approprié. Le seuil intermédiaire est donc fixé au niveau du mode soit 0. Ensuite pour définir la largeur des fenêtres, il ne faut pas oublier que des points aberrants peuvent être présents. On écarte donc 1% des valeurs extrêmes et on calcule les extremums de cette variable. Comme on choisit de faire un découpage à largeurs égales, le seuil supérieur est le maximum (0,11g) et le seuil minimum est égale à $-\text{maximum}$ (-0,11g).

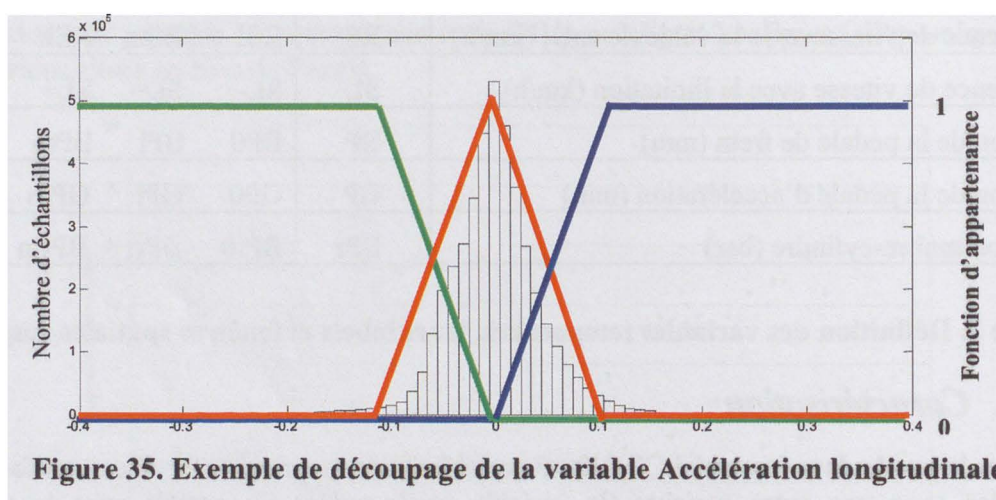


Figure 35. Exemple de découpage de la variable Accélération longitudinale

☞ *Découpage d'une variable dont l'histogramme est bimodal*

L'histogramme de la variable *Position de la pédale d'accélération* est bimodal (cf. Figure 36). Cette caractéristique peut être expliquée par le fait que deux situations sont possibles concernant la course de l'accélérateur :

- Le conducteur n'a pas le pied sur l'accélérateur ;
- Le conducteur est en train d'accélérer.

Cette variable renferme donc un aspect qualitatif et quantitatif. On peut alors proposer un découpage en $S=4$ fenêtres spatiales :

- Le conducteur n'a pas le pied sur l'accélérateur ;
- Le conducteur enfonce légèrement l'accélérateur ;
- Le conducteur enfonce moyennement l'accélérateur ;
- Le conducteur enfonce fortement l'accélérateur.

Pour les 3 dernières classes, on réalise un codage flou. On voit que la distribution (lorsque le conducteur appuie sur l'accélérateur) présente un mode à 9,5 mm. On fixe donc le seuil intermédiaire à cette valeur. On calcule ensuite les extremums en ne prenant pas en compte 1% des données les plus à droite et on obtient alors le seuil supérieur (16,5 mm). Comme on

veut réaliser un codage à largeurs égales, la borne inférieure est obtenue par symétrie par rapport au mode.

Ce type de découpage permet de mettre en lumière à la fois une information qualitative (le conducteur a le pied sur l'accélérateur vs. le conducteur n'a pas le pied sur l'accélérateur). Lorsque le conducteur a le pied sur l'accélérateur, une information quantitative est disponible concernant la course avec laquelle il actionne la pédale.

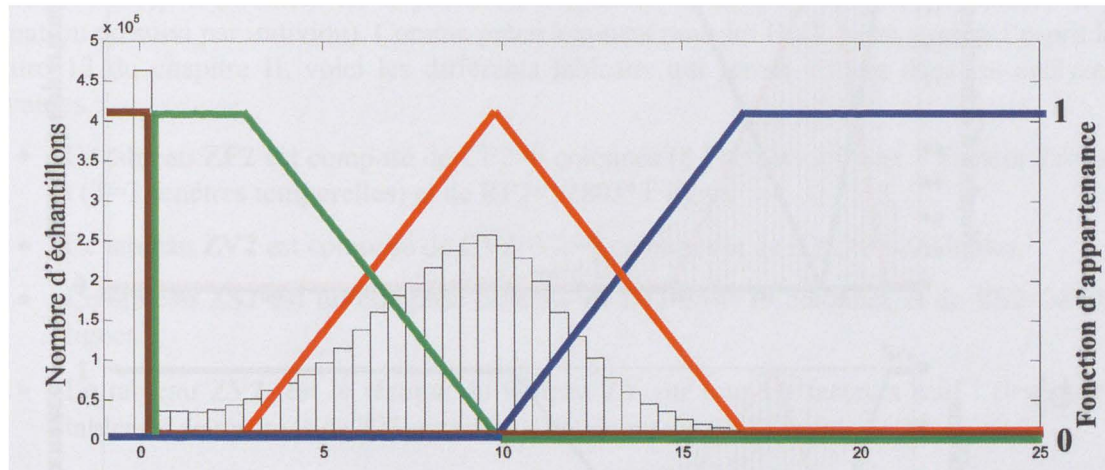


Figure 36. Exemple de découpage de la variable *Position de la pédale d'accélération*

🔗 *Découpage adaptatif d'une variable en fonction d'un facteur*

Pour que les fenêtres spatiales caractérisent le mieux possible les données initiales, il est parfois indispensable de réaliser un codage adaptatif en fonction d'un critère (individu, infrastructure...). Prenons comme exemple, la « distance entre les deux véhicules » (cf. Figure 37). La distance de suivi préconisée n'est pas la même en ville que sur autoroute. En effet, la législation française préconise un temps intervéhiculaire au moins égal à 2s. En ville (à 50km/h), cela représente 28m alors que sur autoroute (à 110km/h), cela correspond à 61m. Il est donc indispensable d'établir un fenêtrage différent en fonction de l'infrastructure (ville ou autoroute) sur laquelle le suivi a lieu (ce découpage sera désigné par FSI pour *Fenêtrage Spatial adapté à l'Infrastructure*).

Pour cette variable, une deuxième interrogation émerge concernant la stratégie de découpage. En effet deux stratégies principales sont possibles :

- Un découpage adapté à l'histogramme (D_h) (comme dans les cas présentés précédemment)
- Un découpage relatif à des données externes (D_e).

Dans notre cas, D_e serait possible puisque des consignes de sécurité existent concernant la distance à maintenir entre deux véhicules. Sur route sèche :

- 1) Avoir un TIV inférieur à 0.5s est extrêmement dangereux ;
- 2) Un TIV environ égal à 2s est préconisé par la réglementation française ;
- 3) Un TIV supérieur à 3s représente de la conduite libre.

Ces consignes seraient différentes sur route mouillée, il est donc difficile de baser le découpage sur ces valeurs, la stratégie *Dh* est donc privilégiée. La deuxième classe est donc centrée sur le mode.

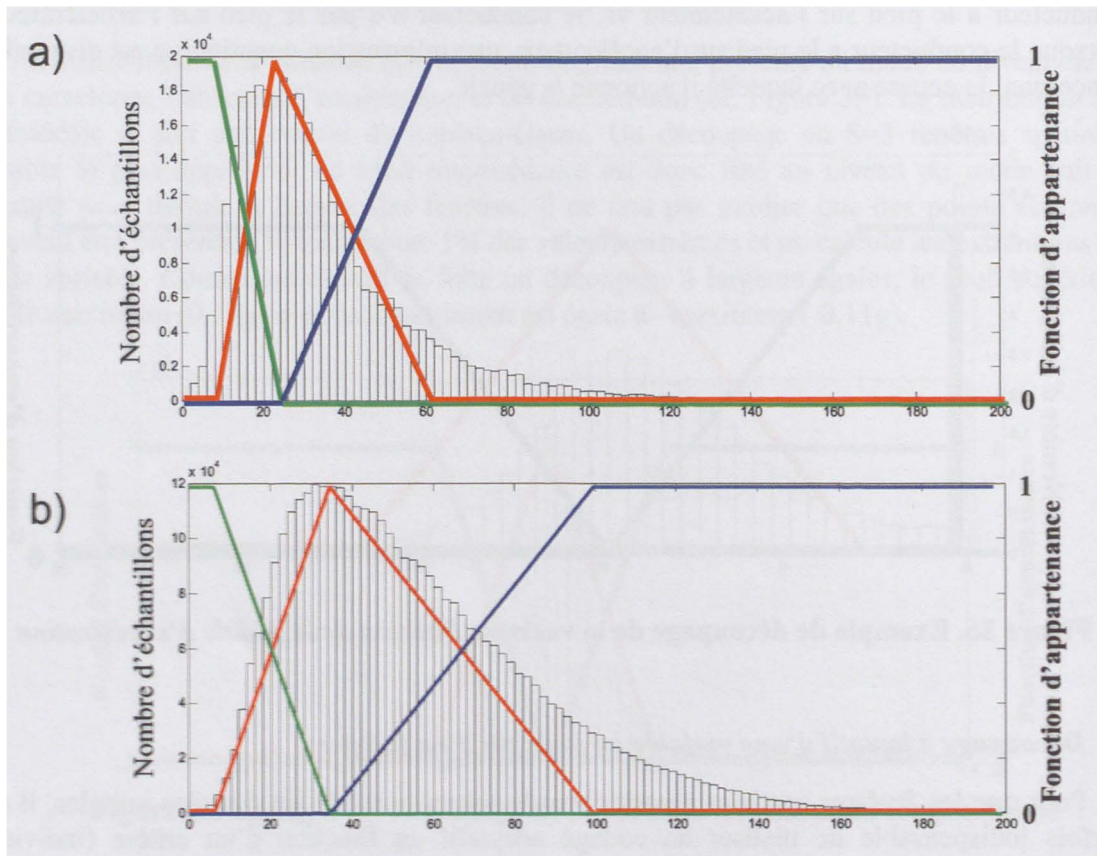


Figure 37. Exemple de découpage de la variable *distance avec le véhicule suivi* a) en ville, b) sur autoroute

Les différents types d’histogrammes rencontrés et le découpage associé ont été présentés. Une fois les bornes des fenêtres déterminées, l’étape de caractérisation transforme les valeurs initiales (vitesse, accélération, interdistance en valeurs d’appartenance (valeurs entre 0 et 1) à des fenêtres spatio-temporelles (S entre 3 et 4 fenêtres spatiales et T=3 fenêtres temporelles). L’ensemble des valeurs d’une variable pour une fenêtre temporelle est caractérisé par la moyenne des valeurs d’appartenance spatiales. Ainsi $Q2$ est transformé en $Q2^a$ avec $Q2$ cellules. Dans la perspective d’une analyse MFMV, les $Q2^a$ jeux de données compris dans la structure $Q2^a$ doivent être organisés pour être vus comme les entrées d’une méthode statistique MFMV.

Dans le cadre du Chemin II+, l’ensemble des valeurs d’une variable est caractérisé par un indicateur global : la moyenne arithmétique. $Q2$ est alors transformé en $Q2^2$.

2.1.2. Codage

L’étape de codage n’est pas nécessaire ici, car toutes les variables ont été transformées en valeurs d’appartenance dans l’étape précédente de caractérisation ($Q2^{ab} = Q2^a$).

Pour le chemin II+, seules des analyses monovariées vont être réalisées, l'étape de codage est donc inutile ($Q2^{22} = Q2^2$).

2.1.3. Mise en forme des tableaux

Rappelons que nous sommes en présence de 8 facteurs i (individu), j (âge), k (sexe), l (infrastructure), m (moment de la journée), n (conditions météorologiques), o (trafic) et p (situation de suivi par individu). Comme précédemment pour les DNT, si on garde à l'esprit la Figure 12 du chapitre II, voici les différents tableaux qui seront utilisés dans les analyses suivantes :

- Le tableau **ZF2** est composé de $CF2=9$ colonnes (8 Facteurs initiaux + Facteur Temps t (T=3 fenêtres temporelles) et de $RF2=12803*T$ lignes
- Le tableau **ZV2** est composé de $CV2=V2=9$ colonnes et de $RV2=38409$ lignes.
- Le tableau **ZS2** est lui composé de $CS2=(V2-1)*3+4=19$ colonnes et de $RS2=38409$ lignes.
- Le tableau **ZV2_I** est le résumé du tableau **ZV** sur tous les facteurs sauf i (les autres tableaux de résumés de **ZV** sont construits de manière similaire).
- Le tableau **ZS2_I** est le résumé du tableau **ZS** sur tous les facteurs sauf i (les autres tableaux de résumés de **ZS** sont construits de manière similaire).

En raison de limites technologiques (capacité RAM insuffisante de l'ordinateur disponible), le tableau **ZS2** ne peut pas être analysé tel quel. Les analyses des correspondances appliquées à un tableau disjonctif complet, un tableau de contingence ou un tableau de Burt, reposant sur la même information brute, donnent les mêmes axes factoriels, mais avec des valeurs propres différentes. Les représentations obtenues dans l'espace des premiers facteurs sont donc identiques à une dilatation près (Lebart, Morineau et al. 1997; Abdi and Valentin 2007). Si **B** est le tableau de Burt associé au tableau disjonctif complet **ZS2**, $B=ZS2' \times ZS2$ est un tableau carré composé de $CS2=19$ lignes et 19 colonnes.

2.1.4. Exploitation du tableau de données

Pour déterminer les correspondances entre les DT, une ACM est réalisée sur le tableau **B**. Pour déterminer l'impact des différents facteurs (individu, temps, trafic, infrastructure, âge, sexe, moment de la journée, conditions météorologiques), les tableaux **ZS2_I**, **ZS2_J**, **ZS2_K**, **ZS2_{JxK}**, **ZS2_L**, **ZS2_M**, **ZS2_N**, **ZS2_O** et **ZS2_T** sont utilisés comme lignes supplémentaires. Afin de ne pas trop alourdir ce chapitre, la description des plans de l'ACM est mise en annexe. Seuls les résultats sont présentés ici.

(i) Premier plan factoriel

Les trois principaux résultats issus de l'analyse de la position des points-lignes et des points-colonnes sur le premier axe sont :

- Résultat 7. Le premier axe oppose les situations de suivi dans lesquelles le conducteur va moins vite que la limitation et a des interdistances relativement faibles (sur la gauche de l'axe 1) avec les situations de suivi pour lesquelles le conducteur va plus vite que la limitation et suit le véhicule devant avec de grandes interdistances (sur la droite de l'axe 1).

- Résultat 8. Le deuxième axe permet de mettre en lumière les situations dans lesquelles le conducteur a freiné (bas de l'axe 2).
- Résultat 9. Le deuxième axe met en opposition les situations pour lesquelles le conducteur va plus vite que le véhicule suivi (haut de l'axe 2) et les situations dans lesquelles le conducteur va moins vite (bas de l'axe 2).

L'ACM permet également de montrer l'influence de différents facteurs en utilisant les points-lignes supplémentaires. Pour étudier l'homogénéité de l'échantillon d'individus, on va commencer avec l'analyse du facteur *i* uniquement. Cela peut être fait en projetant les $I=123$ profils individuels moyens comme points supplémentaires. Des différences entre les conducteurs apparaissent en termes de vitesse (Résultats 7' et 9'), d'interdistance (Résultat 7') et de freinage (Résultat 8').

L'infrastructure semble avoir une influence sur le comportement du conducteur. En effet, en ville, les conducteurs ont tendance à freiner plus souvent que sur autoroute (Résultat 8'). Les conducteurs semblent avoir de plus grandes interdistances sur autoroute qu'en ville (Résultat 7'). Ce résultat pourrait sembler trivial si le découpage de la variable *Distance entre les deux véhicules* avait été le même quelque soit l'infrastructure. Or nous avons choisi de faire un découpage adaptatif en fonction de l'infrastructure, ainsi cela signifie que par rapport à l'interdistance préconisée, les conducteurs ont une interdistance plus grande sur autoroute qu'en ville.

En ce qui concerne l'influence du temps, le principal résultat qui ressort est que les conducteurs ont tendance à freiner plus souvent dans la troisième partie du suivi.

Concernant l'influence du trafic, les conducteurs semblent conduire moins vite que la limitation et avoir des interdistances plus faibles par trafic chargé que lorsque le trafic est fluide (Résultat 7'').

Nous avons également cherché l'impact de la météo, de l'âge, du sexe et du moment de la journée. Les points supplémentaires ont été projetés sur le premier plan mais aucune influence sur la situation de suivi ne semble apparaître. Passons au deuxième plan factoriel.

(ii) Deuxième plan factoriel

Le résultat principal relatif à la position des différents points lignes et colonnes est :

- Résultat 10 : Les axes 3 et 4 semblent montrer une correspondance entre la modalité *petite* de la *distance entre les deux véhicules* et la modalité *moyenne* de la *différence de vitesse entre les deux véhicules*. Ainsi, les interdistances les plus faibles semblent apparaître lorsque les deux conducteurs vont sensiblement à la même vitesse.

Comme précédemment, nous allons présenter les résultats obtenus avec l'ACM à partir de graphiques simples.

2.1.5. Présentation des résultats avec des graphiques explicites et des modèles verbaux

Pour illustrer les résultats, nous construisons des graphiques utilisant les échelles initiales.

Résultat 7. Le premier axe permet de différencier les conducteurs (dans le cas des points supplémentaires) qui vont plus ou moins vite. Par exemple, le conducteur S2 va plus lentement et le sujet S125 va plus vite que la limitation. La Figure 38 présentant les histogrammes d'amplitude de la variable *différence de vitesse avec la limitation (SL)* pour ces

deux conducteurs illustre ce résultat. En effet, le conducteur S2 va généralement à 20km/h en dessous de la limitation alors que le conducteur S125 va généralement à la même vitesse que la limitation. Un test t de Student pour échantillons indépendants ($p < 0.01$) confirme ce résultat.

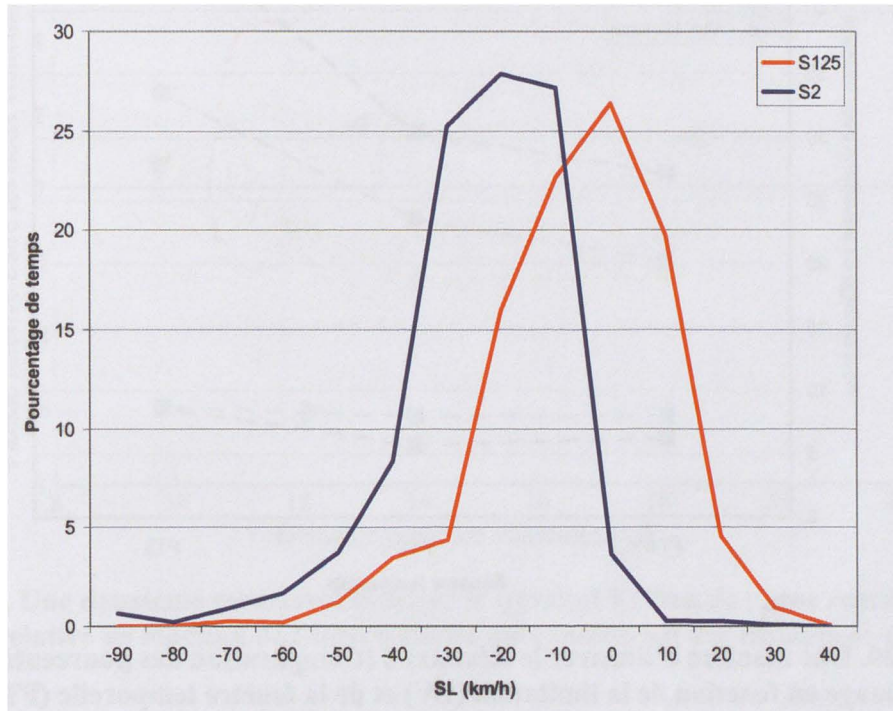


Figure 38. Une manière d’illustrer le Résultat 7 (Certains conducteurs vont plus ou moins vite par rapport à la limitation (SL))

Résultat 8. Le problème est de différencier les situations de suivi avec freinage des situations de suivi sans. Les deux résultats associés sont que les conducteurs freinent plus souvent dans la dernière partie du suivi et majoritairement en ville. Ainsi la Figure 39 permet de comparer le pourcentage de situations avec un freinage dans les différentes fenêtres temporelles et pour chaque limitation de vitesse. Le graphique montre que les conducteurs freinent plus souvent en zone urbaine et plus souvent dans la dernière partie du suivi. Un test t de Student pour échantillons appariés confirme ce résultat ($p < 0.05$).

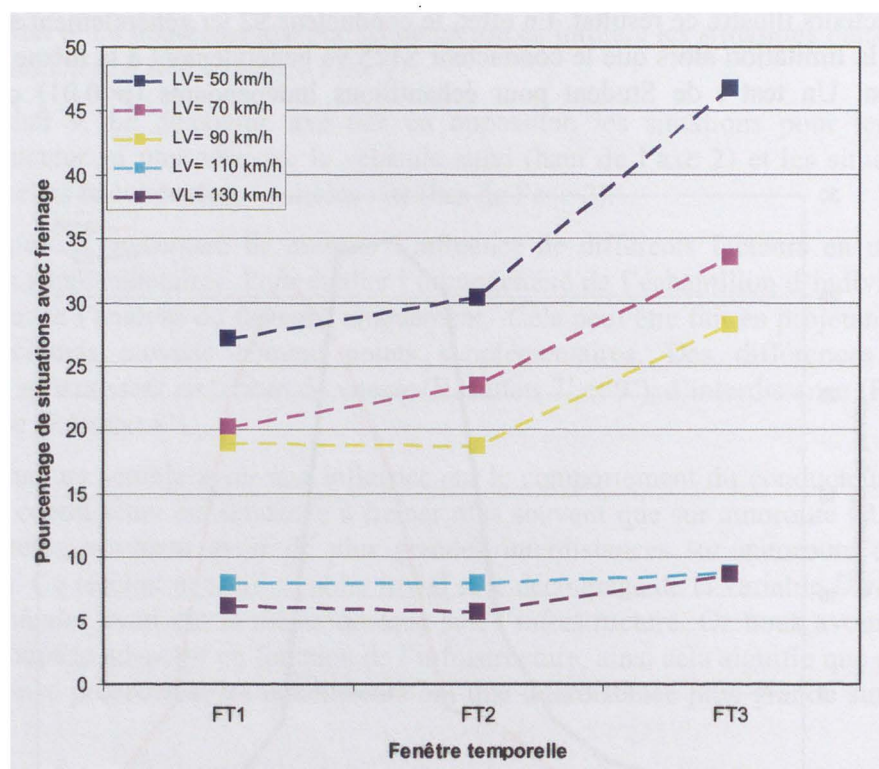


Figure 39. Une manière d'illustrer le Résultat 8 (Comparaison des pourcentages de freinage en fonction de la limitation (LV) et de la fenêtre temporelle (FT))

Une autre possibilité pour illustrer le résultat 8 est de considérer une figure qui montre des valeurs qui sont les plus proches des données initiales (i.e. des données temporelles) : le plan de phase. Par exemple, nous allons considérer deux conducteurs qui paraissent différents selon l'axe 2 (S99 dans la partie positive et S33 dans la partie négative) et le signal de la variable *pression de freinage* qui contribue au positionnement de cet axe. Le conducteur S99 semble donc freiner plus souvent que le conducteur S33 dans des conditions de vitesse et d'interdistance équivalentes. La Figure 40 présente un plan de phase qui couple les signaux de *vitesse relative* et d'*interdistance*. Les instants de freinage (*pression de freinage* > 0) sont également représentés. Cette figure montre que le conducteur S99 freine plus souvent que le sujet S33. En effet, dans des conditions quasi équivalentes de vitesse, de vitesse relative et d'interdistance, le conducteur S33 ne freine pas contrairement au conducteur S99. Ce plan de phase met bien en évidence les régulations mises en place par le conducteur S33 pour conserver une interdistance cohérente avec la vitesse relative. On obtient ainsi les spirales de suivi (Brackstone, Sultan et al. 2002).

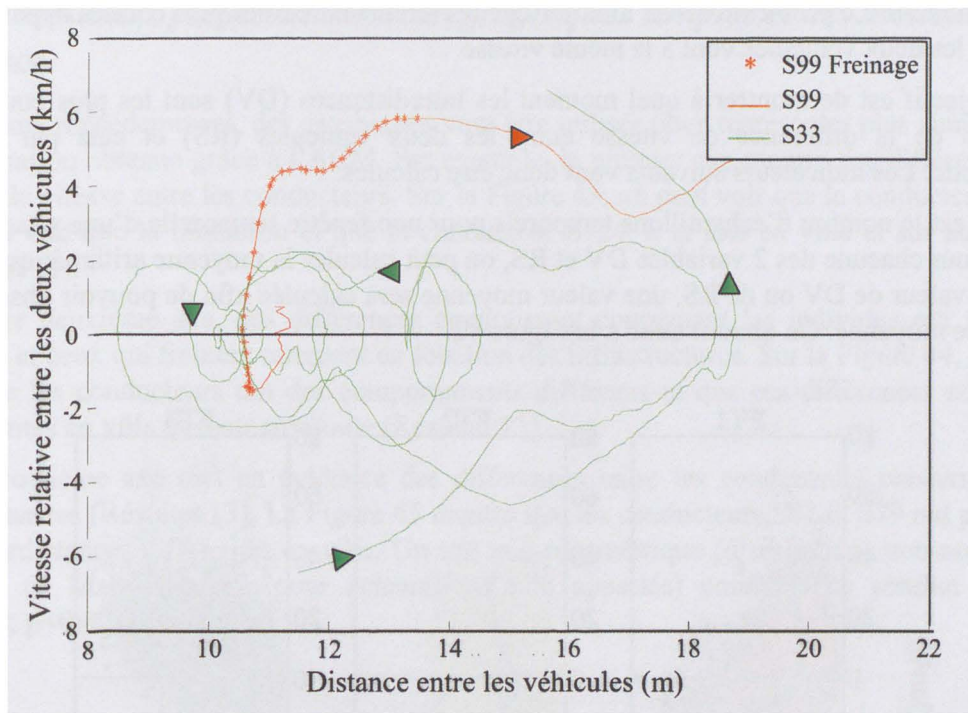


Figure 40. Une deuxième manière d'illustrer le Résultat 8 (Plan de phase représentant la vitesse relative en fonction de l'interdistance avec indication des instants de freinage)

Résultat 9. L'axe 2 différencie les conducteurs qui vont moins vite que le véhicule suivi ($V_t - V_s = RS > 0$) des conducteurs qui vont plus vite que le véhicule suivi ($V_t - V_s = RS < 0$). Les conducteurs S20 et S124 s'opposent sur cet axe. La Figure 41 montre que le conducteur S124 va souvent plus vite que le véhicule suivi (mode de l'histogramme égal à -5km/h) contrairement au conducteur S20 qui va moins vite (mode de l'histogramme égal à 15km/h).

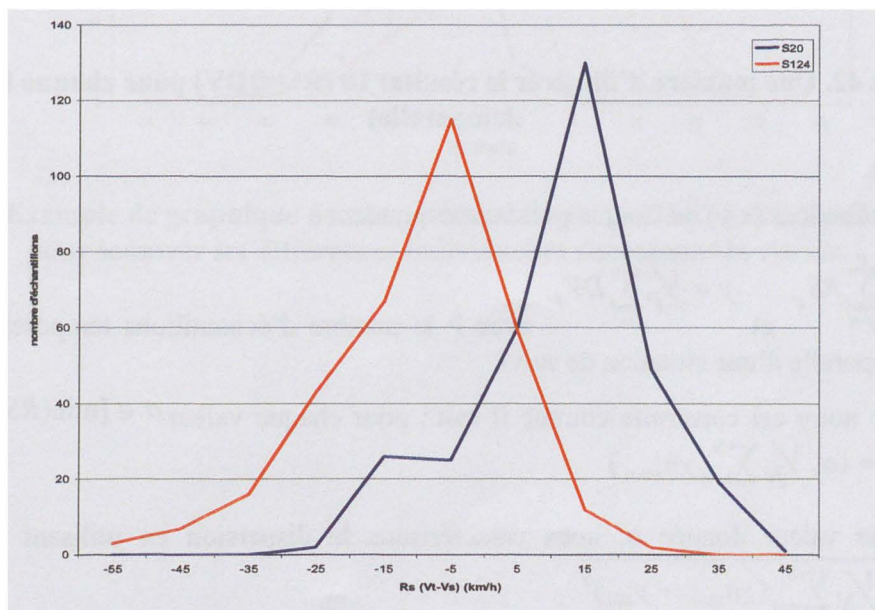


Figure 41. Une deuxième manière d'illustrer le Résultat 9 (Comparaison de la différence de vitesse avec le véhicule suivi (RS) entre deux conducteurs)

Résultat 10. Le problème est de montrer que les interdistances les plus courtes apparaissent lorsque les deux véhicules vont à la même vitesse.

L'objectif est de montrer à quel moment les interdistances (DV) sont les plus courtes en fonction de la différence de vitesse entre les deux véhicules (RS) et cela par fenêtre temporelle. Les indicateurs suivants vont donc être calculés.

Si P est le nombre d'échantillons temporels pour une fenêtre temporelle d'une situation de suivi, pour chacune des 2 variables DV et RS, on peut calculer la moyenne arithmétique. Pour chaque valeur de DV ou de RS, une valeur moyenne sera calculée afin de pouvoir observer la tendance moyenne. On aboutit donc à la Figure 42.

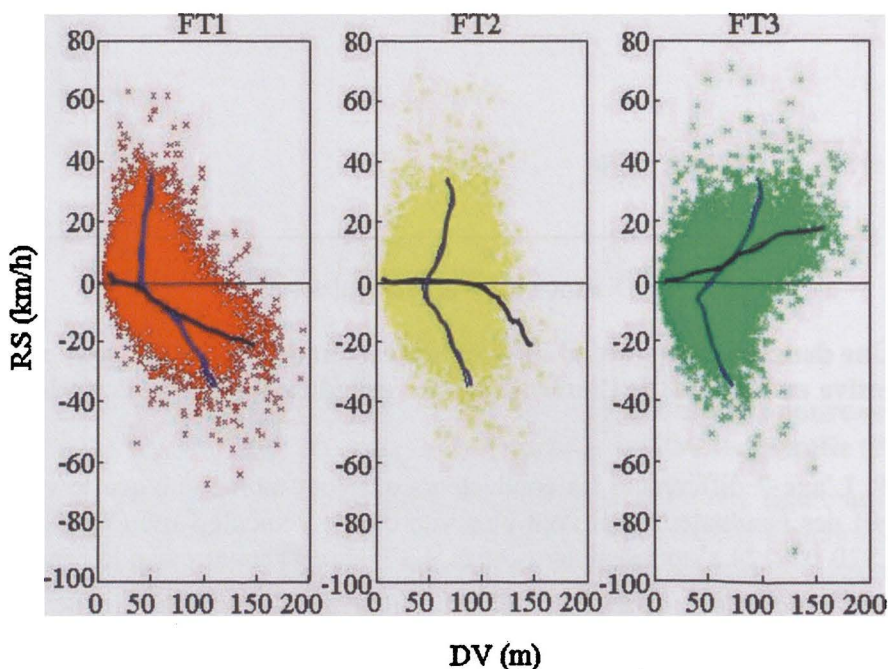


Figure 42. Une manière d'illustrer le résultat 10 (RS=f(DV) pour chaque fenêtre temporelle)

Les coordonnées (x,y) de chaque point correspondent à

$$x = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P RS_p \quad \text{et} \quad y = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P DV_p$$

avec P le nombre d'échantillons temporels pour une fenêtre temporelle d'une situation de suivi.

La ligne noire est construite comme il suit : pour chaque valeur $\alpha \in [\min(RS); \max(RS)]$

$$(x_{Bla}, y_{Bla}) = (\alpha, \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N y_{n, xn=\alpha})$$

Pour une valeur donnée α , nous caractérisons la dispersion en utilisant l'indicateur

$$sy_{xn=\alpha} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (y_{n, xn=\alpha} - y_{Bla})^2}$$

2.2.5. Résultats présentés avec des graphiques simples et des modèles verbaux

Comme précédemment, des graphiques vont être utilisés pour représenter plus simplement l'information obtenue grâce à l'ACM. Par exemple, le premier axe montre des différences en termes de vitesse entre les conducteurs. Sur la Figure 43, on peut voir que le conducteur S107 va moins vite que la limitation et que le conducteur S124, à la fois en ville et sur autoroute (Résultat 11).

Sur le deuxième axe, des différences apparaissent concernant les individus qui freinent souvent et ceux qui freinent rarement en fonction des infrastructures. Sur la Figure 44, on peut voir que les conducteurs ont des comportements différents et que ces différences sont plus importantes en ville que sur autoroute (Résultat 12).

Le troisième axe met en évidence des différences entre les conducteurs concernant les interdistances (Résultat 13). La Figure 45 montre que les conducteurs S52 et S79 ont pratiqué des interdistances différentes en ville. Un test non-paramétrique (distributions non-normales, Test U de Mann-Withney pour échantillons non appariés) confirme ce résultat ($U=8$; $Z=4,04$; $p<0,001$).

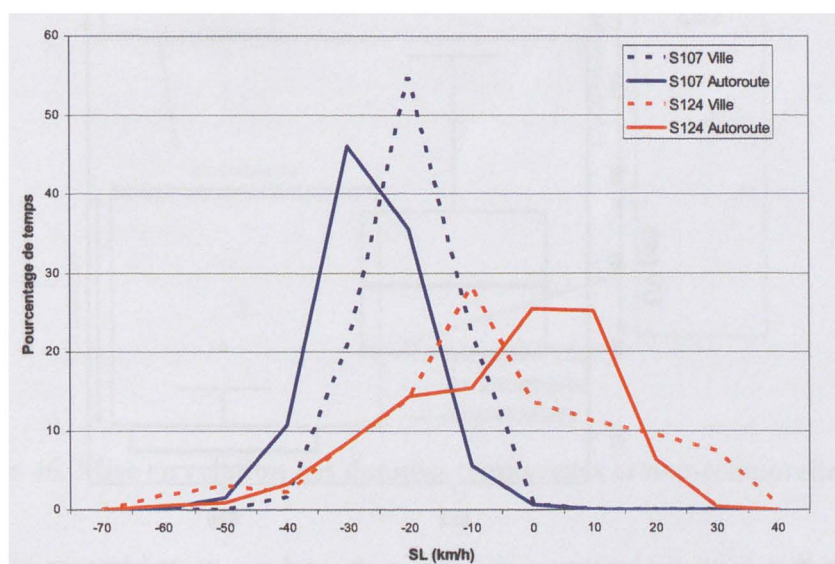


Figure 43. Exemple de graphique de comparaison de sortie d'ACM. Cas de distributions pour montrer les différences individuelles concernant la vitesse.

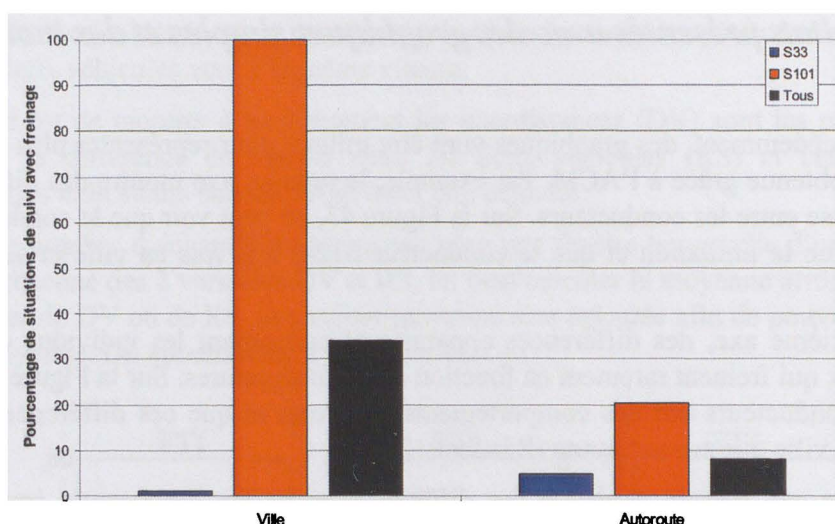


Figure 44. Exemple de graphique de comparaison de sortie d'ACM. Comparaison des fréquences de freinage en ville et sur autoroute.

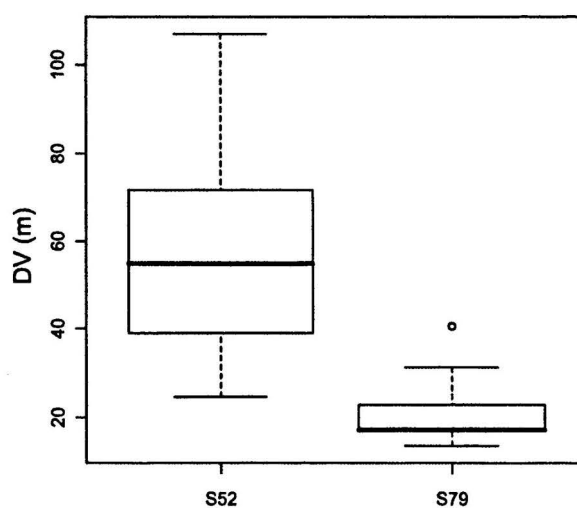


Figure 45. Exemple de graphique de comparaison de sortie d'ACM. Comparaison des interdistances en ville pour 2 conducteurs

Maintenant que les tableaux ZS1 et Z2 relatifs aux données de tests et questionnaires et aux données de conduite ont été analysés séparément, ils vont maintenant être mis côte à côte pour mettre en relation le profil de conduite et le profil psychologique.

3. MISE EN RELATION DES DONNES TEMPORELLES ET DES DONNEES NON-TEMPORELLES

La dernière étape est la mise en relation des données temporelles et des données non-temporelles. Le profil psychologique du conducteur influence-t-il son style de conduite ?

Les tableaux **ZS1** et **Z2** sont donc mis côte à côte pour mettre en relation les deux types de données (cf. Figure 46).

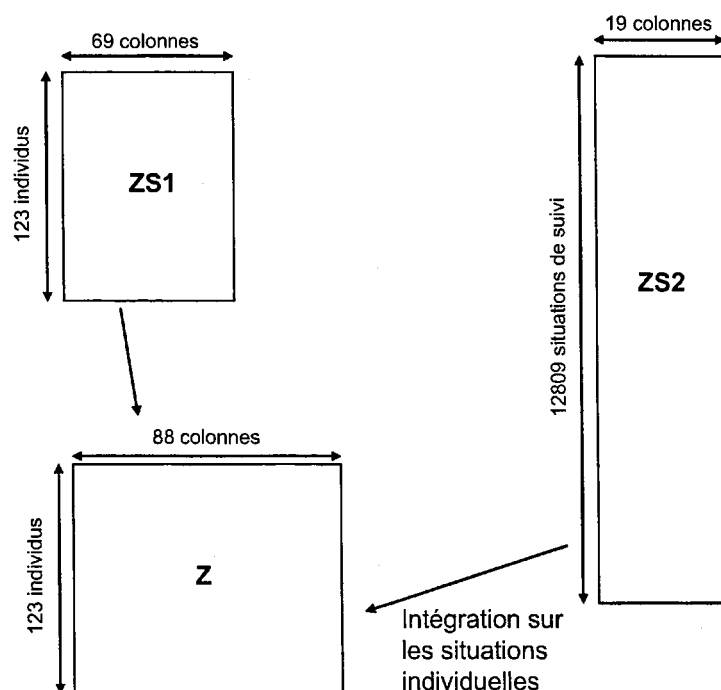


Figure 46. Mise en relation des données temporelles et non-temporelles

Les étapes de caractérisation, codage et mise en forme ont déjà été détaillées dans les analyses précédentes. Les variables qui vont être mises en relation sont celles qui avaient les plus fortes contributions dans les analyses précédentes.

3.1. Caractérisation

La caractérisation des DT et DNT a été présentée dans les paragraphes précédents.

3.2. Codage

Aucun codage n'est nécessaire ici.

3.3. Mise en forme des tableaux

Le nombre de variables étant important, nous allons retenir uniquement les variables des DNT&DT qui ont des contributions importantes et qui sont apparues non liées dans leurs analyses respectives.

3.3.1. Choix des variables non-temporelles

Le premier plan factoriel (cf. Figure 24) montre une correspondance entre les variables de personnalité caractérisant le *névrosisme* (NpIN), la *conscience* (NpIC), la *gestion des problèmes centrée sur l'émotion* (CisE) et le *nombre d'erreurs déclarées en conduite* (DBQE). On choisit de ne conserver que le *nombre d'erreurs déclarées en conduite* (DBQE) car cette variable peut facilement être mise en relation avec la conduite.

Sur le deuxième axe, les variables qui ont les plus fortes contributions sont des variables qui caractérisent essentiellement le profil cognitif de l'individu comme l'*inhibition* (Inh), la *mise à jour* (Maj), la *flexibilité* (Flex). Ces variables sont liées entre elles et l'étude de (Adrian, 2008) a montré le rôle prépondérant de l'inhibition par rapport aux autres fonctions exécutives dans la caractérisation de la conduite chez les personnes âgées. On retient donc cette variable (Inh) pour la mise en relation avec les variables temporelles de conduite.

Le troisième axe factoriel (cf. Figure 27) semble montrer une correspondance entre les variables de personnalités caractérisant l'*extraversion* (NpiE) et la *résolution de problèmes par l'évitement* (CisEv). De même une relation semble être établie entre le *stress ressenti en conduite* (Stress) et la *réduction de conduite* (RedCond). Dans l'optique de limiter le nombre de variables, seules les variables *Stress en conduite* et *Extraversion* vont être conservées.

Sur l'axe 4, la variable représentant *quotient intellectuel de performance* (QIP) a une forte contribution. Cette variable permet de caractériser l'organisation perceptive et la vitesse de traitement de l'information de l'individu. C'est une variable importante à mettre en relation avec la conduite qui nécessite de prendre rapidement en compte de nombreuses informations et de s'organiser dans l'espace. La *recherche de sensations* (RS) et *lieu de contrôle externe* (LocE) semblent être en correspondance sur cet axe factoriel. On décide de conserver la variable *recherche de sensations* qui est souvent mise en relation avec des variables de conduite.

En résumé, 6 variables ont donc été retenues pour caractériser le profil psychologique du conducteur :

- Nombre d'erreurs déclarées en conduite (DBQE)
- Inhibition (Inh)
- Stress en conduite (StressCon)
- Extraversion (NeoPiE)
- Recherche de sensations (RSens)
- Quotient intellectuel de performance (QIP)

3.3.2. Choix des variables temporelles

Comme précédemment, seules les variables qui avaient les plus fortes contributions à la construction des deux premiers plans factoriels de l'ACM du tableau **Z2** sont retenues.

Le premier axe est caractérisé par les variables de *différence avec la limitation de vitesse* et *différence de vitesse avec le véhicule suivi* en ville et sur autoroute. Sur le deuxième axe, la variable *Accélération longitudinale* et la *pression de freinage* en ville ont de fortes contributions. La *distance entre les deux véhicules* en ville a une forte contribution à la construction du troisième axe. Ces sept variables ont été retenues pour la mise en relation.

Le tableau analysé Z est composé de R=123 lignes et de C= $6 \times 3 + (6 \times 3 + 4) = 40$ colonnes.

3.4. Exploitation du tableau de données

On applique donc une ACM au tableau Z(123,40). Sur le premier plan factoriel, seules des variables non-temporelles caractérisent fortement les axes. Par ailleurs, les modalités des données temporelles ne contribuent pas à la formation des six premiers axes. Le premier plan ne montre aucune relation évidente entre les DNT&DT.

3.5. Présentation des résultats

Cette dernière ACM montre qu'il n'y a aucune correspondance entre les DT et les DNT. Notre jeu de données est relativement grand, donc seul un exemple de résultat est présenté ici. Il s'agit d'un graphique bivarié montrant l'évolution du niveau de *recherche de sensations* en fonction de la *différence de vitesse par rapport à la limitation* (Figure 47). Cette figure illustre l'absence de relation entre ces deux variables.

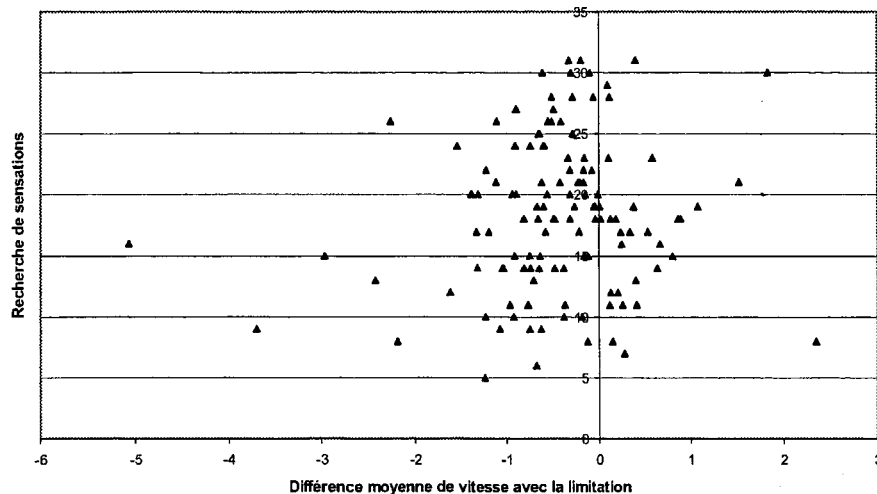


Figure 47. Exemple de graphique de comparaison de résultats de l'ACM. Cas de graphique bivarié pour montrer une relation entre une variable temporelle (*Différence avec la limitation de vitesse*) et une variable non-temporelle (*Recherche de sensations*)

4. CONCLUSION

L'étude du comportement du conducteur dans les situations de suivi a fourni une base de données de grande taille contenant des DNT&DT. L'objectif final était la mise en relation des

DNT relatives au profil psychologique du conducteur et des DT relatives à la conduite. Ce chapitre a eu pour objet de présenter la démarche ainsi que les résultats des analyses de données de suivi. Nous avons proposé d'étudier successivement 1) les DNT pour décrire les conducteurs de l'expérimentation, 2) les DT pour décrire la situation de suivi et déterminer les facteurs influents sur le comportement du conducteur et 3) de mettre en relation ces deux types de données. Ces trois études ont été réalisées selon un chemin descriptif utilisant l'ACM comme méthode d'analyse, suivi d'une étude confirmatoire à l'aide de tests d'hypothèses statistiques. Cinq étapes : Caractérisation, Codage, Mise en forme des tableaux, Analyse et Présentation des résultats composent ce chemin.

Le dernier chapitre propose un bilan du travail décrit dans ce mémoire ainsi qu'une discussion des résultats obtenus et des perspectives de recherche.

V. BILAN ET PERSPECTIVES

1. BILAN

1.1. Rappel des objectifs

De plus en plus, des systèmes d'aide à la conduite équipent nos véhicules. L'adaptation comportementale des conducteurs à ces systèmes peut nuire à la sécurité si les systèmes ne respectent pas le comportement naturel des conducteurs. Ainsi pour développer des systèmes sûrs, il est indispensable d'étudier le comportement du conducteur lorsqu'il conduit sans système d'aide pour le prendre en compte dans la spécification du système. Cette étude mène obligatoirement à la formation d'une base de données multifactorielle et multivariée (MFMV) difficilement exploitable.

La situation de suivi devient une situation complexe avec la densification du trafic. C'est pourquoi les constructeurs développent de plus en plus de systèmes pour aider le conducteur dans cette tâche (Régulateur, Limiteur, ACC, Lavia, ISA). Ainsi dans ces travaux, nous nous sommes focalisés sur la situation de suivi.

Pour décrire le comportement naturel des conducteurs, il est nécessaire de faire des mesures en conduite sur route pour un panel de conducteurs suffisamment large (en termes d'âge et de sexe), conduisant à la mise en œuvre d'un véhicule instrumenté sur un parcours routier diversifié et suffisamment « long ». En réalisant une telle expérimentation, les données collectées sont hétérogènes, notamment :

- temporelles vs. non-temporelles,
- quantitatives vs. qualitatives,
- objectives vs. subjectives.

Se pose alors un problème complexe d'exploitation de données. Dans la plupart des études, les données temporelles et les données non-temporelles restent analysées séparément. L'objectif de ces travaux est donc de déterminer une méthodologie d'exploitation de données MFMV, non-temporelles et temporelles (DNT&DT), issues d'une étude sur le système Conducteur-Véhicule-Environnement (SCVE) afin de :

- Caractériser le comportement des conducteurs en situation de suivi ;
- Etudier l'influence de facteurs humains (sexe, âge, profil psychologique...) sur le SCVE ;
- Etudier l'influence de facteurs environnementaux (infrastructure, trafic, moment de la journée...) sur le SCVE.

1.2. Rappel de la méthode utilisée

Pour étudier le comportement des conducteurs sans système d'aide à la conduite, une expérimentation regroupant environ 120 volontaires a été mise en place.

Ainsi les sujets ont dans un premier temps passé des tests et questionnaires pour évaluer leur profil psychologique (niveau cognitif et personnalité). Dans un deuxième temps, ils ont conduit un véhicule instrumenté sur un parcours de 250 km entre Nanterre et Evreux.

Les données obtenues sont de natures différentes :

- comportementales (actions sur les commandes...) ;
- dynamiques (vitesse, accélérations...) ;
- contextuelles (situations de conduite, trafic, infrastructure, conditions météorologiques...) ;
- cognitives et conatives (tests cliniques et expérimentaux permettant une évaluation des capacités des fonctions cognitives de l'individu et la caractérisation de sa personnalité)
- subjectives (questionnaires, entretiens pré et post-expérimentaux, verbalisation sur les intentions et les motivations en cours de conduite).

La cohérence des données enregistrées a été vérifiée avant de procéder aux analyses. En effet, un capteur défectueux ou une erreur de frappe pour les tests ou questionnaires doit être détecté afin de ne pas compromettre le reste des analyses. Cette tâche de dépouillement (extraction des 12803 situations de suivi par les signaux multidimensionnels enregistrés) et de vérification, bien que peu mentionnée, a été longue et fastidieuse. Une fois effectuée, trois analyses successives ont été menées, 1) pour les DNT, 2) les DT et 3) la mise en relation des deux. Pour chacune d'elles, une étude descriptive en cinq étapes (caractérisation, codage, mise en forme, analyse des tableaux et présentation des résultats) a été effectuée et complétée par une étude confirmatoire, elle aussi reposant sur ces cinq étapes.

Essentiellement dans la perspective de mettre en exergue des relations non-linéaires, les DNT&DT ont été caractérisées à l'aide de fonction d'appartenance à des fenêtres spatiales (pour les DNT) et à des fenêtres spatio-temporelles (pour les DT). Ce format de données est utilisable dans le cadre d'une analyse des correspondances (ACM), celle-ci permettant, outre de faire ressortir des phénomènes relationnels complexes entre les fenêtres spatiales des variables, de montrer les influences des facteurs sur les variables les plus informatives (celles qui contribuent à positionner les axes principaux).

Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés à l'étude des DNT issues des tests et des questionnaires psychologiques permettant de décrire la population de notre étude.

Ensuite, les signaux multidimensionnels (les DT) issus des situations de suivi en conduite ont été analysés pour décrire la situation de suivi. L'influence des facteurs environnementaux

comme le trafic, les conditions météorologiques ou l'infrastructure ainsi que l'influence de facteurs humains comme l'âge ou le sexe ont également pu être déterminées.

La dernière étape a été la mise en relation des DNT&DT pour déterminer l'influence du profil psychologique sur la situation de suivi.

2. DISCUSSION

Etant donnés les principaux objectifs d'une étude empirique d'un système Conducteur-Véhicule-Environnement et les principales familles de méthodes statistiques considérées dans le chapitre II, plusieurs chemins d'analyse peuvent être suivis avec une base de données multifactorielle et multivariée. Le chemin d'analyse choisi peut affecter la qualité des résultats. Ainsi, notre discussion est divisée en trois parties : 1) une discussion sur l'expérimentation, 2) une discussion sur le chemin d'analyse suivi dans cette étude et 3) une discussion sur les résultats expérimentaux.

2.1. *Expérimentation*

Cette expérimentation a permis de construire une base de connaissances sur le comportement réel des conducteurs. Cependant, nous sommes conscients que certains biais peuvent avoir un impact sur les conclusions de l'étude.

Tout d'abord, un échantillon de 120 conducteurs parisiens sains a été choisi. Même si des conducteurs de tous les âges ont participé à l'expérimentation, ils ne sont pas représentatifs de la population de conducteurs français. En effet, de nombreux conducteurs, présentent des pathologies qui étaient dans notre cas des motifs de non-inclusion (diabète, hypertension artérielle non-traitée, état dépressif...). De plus les volontaires de l'étude résident en Ile-de-France. Les conducteurs franciliens qui sont souvent confrontés à des situations de trafic très denses, ont des comportements qui peuvent se révéler différents des autres conducteurs. En effet, ils peuvent notamment accepter des interdistances plus faibles et réaliser des manœuvres (dépassement, rabattement...) dans des conditions qui pourraient se révéler inconfortables pour un autre conducteur. Il se pose donc ici un problème de validité externe mentionné au chapitre II (§II.1.2). En effet, les résultats trouvés avec l'ACM sont valables uniquement pour l'échantillon observé. Les résultats confirmés par un test d'inférence peuvent être généralisés à la population dont est extrait l'échantillon : ici la population de conducteurs franciliens.

Ensuite, l'itinéraire emprunté était essentiellement constitué de routes à faible trafic. Le comportement des conducteurs observé est donc applicable uniquement dans le cas de routes peu fréquentées. Une étude a été faite en parallèle sur le périphérique parisien (15 conducteurs) pour mettre en évidence d'éventuelles modifications de comportement dans un trafic particulièrement chargé. Cette étude a montré que les conducteurs avaient des interdistances plus faibles sur le périphérique que sur le parcours de notre étude. En effet, sur le périphérique, 16% des temps intervéhiculaires (TIV) sont inférieurs à 1s, soit deux fois plus que sur notre parcours et 57% des TIV sont inférieurs à 2s sur le périphérique, contre 35% sur le parcours retenu (Moessinger and Kassaagi 2008).

Un autre biais, le protocole, peut avoir une influence sur le comportement des conducteurs. Deux aspects du protocole peuvent avoir un impact : 1) la présence d'un expérimentateur et 2) le fait que les conducteurs savent qu'ils sont en expérimentation. Rathmayer et al. ont montré que les sujets d'une étude conduisant un véhicule instrumenté avec un expérimentateur, ont des vitesses réduites de 1 ou 2 km/h par rapport à une conduite sans accompagnateur

(Rathmayer, Beilinson et al. 1999). Ils ont également montré que les conducteurs ont des accélérations et des décélérations plus douces lorsqu'ils sont accompagnés. Dans une étude réalisée en 2006 au LAB, ces mêmes différences ont été observées dans le comportement des conducteurs lorsqu'ils sont en présence d'un expérimentateur (Moessinger and Kassaagi 2008). Lorsque les conducteurs se savent observés, il a été montré que les motards ne modifieraient pas leur comportement (Höfner 1967). Cependant, certains indicateurs enregistrés lors de cette expérimentation semblent montrer une influence de l'expérimentation. En effet, le véhicule était équipé de radars à l'avant et à l'arrière. Ainsi il était possible de mesurer à la fois les interdistances entre le véhicule de l'étude et ceux situés devant et derrière lui. La distribution des interdistances des 126 volontaires qui se savent observés est décalée vers la droite (ont des interdistances plus grandes) par rapport à la distribution des interdistances des conducteurs qui ne se savent pas observés (conducteurs qui suivent le véhicule instrumenté) (Moessinger and Kassaagi 2008). En effet, 8% des TIV sont inférieurs à 1s pour les conducteurs qui se savent observés contre plus de 18% pour les autres. De même, la distribution de la différence entre la vitesse pratiquée et la limitation n'est pas centrée sur 0 comme on pourrait s'y attendre mais sur -10km/h. Les volontaires de l'étude ont donc eu tendance à aller moins vite que la limitation. Il semble donc que lorsque les conducteurs se savent observés, ils ont tendance à modifier leur comportement en augmentant leurs interdistances et en réduisant leur vitesse.

Ainsi des problèmes de validité interne apparaissent. En effet, comme il ne s'agit pas d'un plan quasi-expérimental, il n'est pas certain que les influences des facteurs mis en exergue soient réelles. Ces dernières peuvent être dues à un autre facteur caché.

2.2. *Approche statistique*

Quand l'analyste fait face à un jeu de données hétérogènes de grande taille (plusieurs GO) et qu'il est ouvert à plusieurs familles de méthodes statistiques possibles (méthodes factorielles, de régression, de classification, inférentielles, ...), il est confronté à un nombre important de chemins d'analyse, un chemin comportant cinq étapes : 1) caractérisation, 2) codage, 3) mise en forme, 4) analyse des tableaux et 5) présentation des résultats. Il faut reconnaître que « prendre tel ou tel chemin » est essentiellement conditionné par le choix d'une méthode au sein de ces familles (étape 4). Par exemple, dans la plupart des cas, des chemins d'analyse basés sur des méthodes monovariées inférentielles sont utilisés, ce qui conduit à analyser les DNT&DT séparément.

Etant donné l'aspect fortement multivarié de notre base de données d'une part, et la présence d'un sous-ensemble de données subjectives d'autre part, la famille des méthodes factorielles a été retenue en vue d'une première analyse, qui peut alors être nommée d'*analyse descriptive multidimensionnelle*. Il est important de rappeler que, historiquement, des méthodes telles que l'ACP, l'ACM ou l'AFD ont d'abord été employées avec de telles données (notamment dans le domaine de la psychologie). Dans un premier temps, les données relatives à la conduite ont été analysées avec l'ACP ou des méthodes voisines (Dubart, Loslever et al. 2009). Cependant, l'ACP permet de mettre à jour uniquement les relations linéaires entre les variables. L'ACM permettant la mise en exergue de phénomènes relationnels complexes, via un découpage en fenêtres spatiales, notre choix s'est porté alors sur cette méthode. Un autre intérêt de l'ACM est d'accepter en entrée des valeurs d'appartenance floues moyennes, par exemple obtenues en sommant sur le temps (rappelons qu'historiquement, l'ACM a été utilisée avec des QCM, donc avec des valeurs d'appartenance

binaires, ce qui en moyennant donne des profils dont les dessins sont des histogrammes). Le couple « (fenêtrage flou, ACM) » présente l'avantage d'étudier simultanément les DT&DNT par l'investigation d'une table composée de moyennes de valeurs d'appartenance.

Le choix des fenêtres doit être considéré comme une analyse à part entière, incluant une observation minutieuse des histogrammes d'amplitude. A travers cette première analyse, premièrement d'éventuelles données douteuses peuvent être découvertes, deuxièmement des distributions spécifiques, comme des distributions dissymétriques ou bimodales, peuvent être soulignées. Cette deuxième sortie est importante dans la perspective d'appliquer des tests d'hypothèses (l'analyse descriptive multidimensionnelle se prolonge donc par une analyse inférentielle monovariée). En effet, dans la plupart des tests, une distribution unimodale de type Laplace-Gauss est nécessaire. Cependant, il faut admettre que la caractérisation à l'aide d'un fenêtrage est une méthode plus longue et plus complexe que les méthodes de caractérisation habituelles (soit une méthode utilisant la moyenne arithmétique que ce soit avec ou sans écart-type). En effet, comme on l'a vu dans le chapitre II, le fenêtrage spatial peut être considéré de plusieurs manières soit globalement, soit localement (adapté à la situation). Par exemple, comme on l'a vu dans le chapitre IV, un fenêtrage spatial global est utilisé pour les DNT, soit pour la table **ZS1**, le fenêtrage est identique pour tous les individus, alors que un fenêtrage local est nécessaire pour certaines DT, soit pour la table **ZS2**, un fenêtrage spatial pour les situations de suivi sur autoroute et un fenêtrage pour les situations de suivi en ville. Il faut aussi ajouter que le découpage flou permet de rendre compte de certains aspects qualitatif et quantitatif d'une même variable. Par exemple, si on s'intéresse au comportement vis-à-vis de la pédale d'accélérateur, on peut avoir :

- Le conducteur n'a pas le pied sur l'accélérateur ;
- Le conducteur est en train d'accélérer.

Cette variable renferme donc d'abord un aspect qualitatif. Ensuite, en présence d'un appui, intervient un aspect quantitatif. On peut donc proposer un découpage en $S=4$ fenêtres spatiales :

- Le conducteur n'a pas le pied sur l'accélérateur ;
- Le conducteur enfonce légèrement l'accélérateur ;
- Le conducteur enfonce moyennement l'accélérateur ;
- Le conducteur enfonce fortement l'accélérateur.

On peut donc rendre compte de la hiérarchie de l'utilisation de la pédale d'accélérateur, Figure 48.

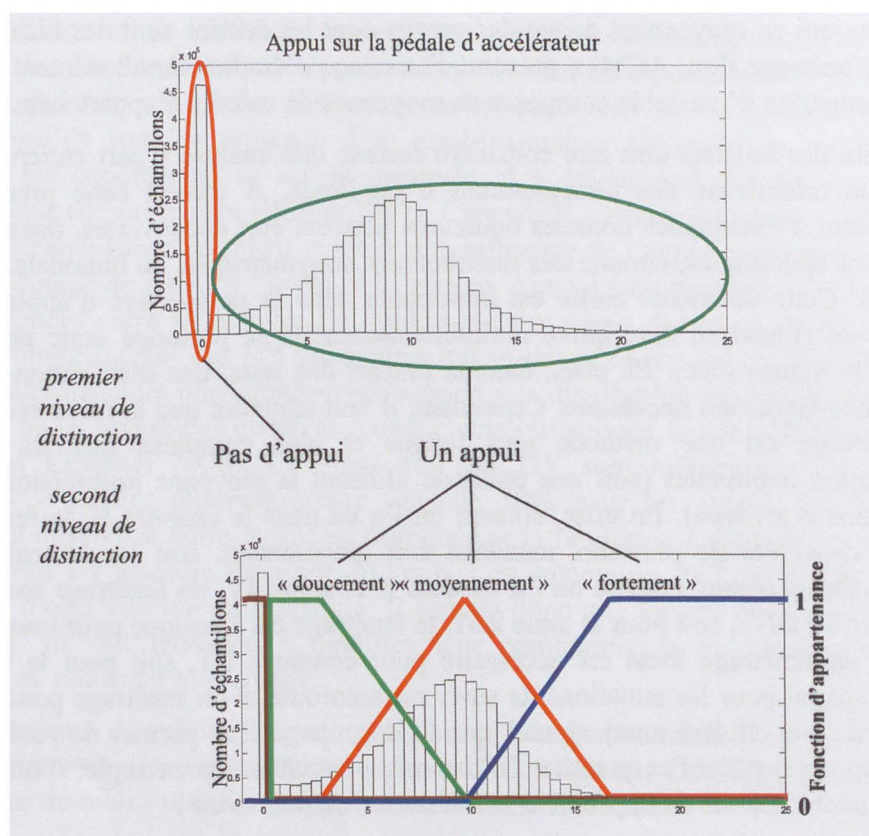


Figure 48. Découpage d'une variable quantitative (position de la pédale d'accélérateur) rendant compte de la hiérarchie de son utilisation

Une fois, les fenêtres spatio-temporelles choisies soigneusement, un autre point intéressant de notre approche est l'aspect multivarié de l'analyse. En effet, si V variables sont présentes, V analyses monovariées ou $V*(V-1)/2$ analyses bivariées devraient être faites. Alors qu'une méthode multivariée telle que l'ACM permet en une analyse unique :

- 1) d'organiser hiérarchiquement les rôles joués par les variables dans la construction du phénomène relationnel (classiquement comme avec une analyse des facteurs, grâce aux contributions au positionnement des axes) et
- 2) de montrer des relations non-linéaires entre variables quantitatives ;
- 3) de montrer des relations entre des variables qualitatives et quantitatives.

Un inconvénient, souvent évoqué, semble être la trivialité des résultats obtenus par les méthodes factorielles comme l'ACM, mais aussi l'ACP et l'Analyse discriminante pour n'en nommer que quelques unes. Certainement, de telles méthodes mettent en lumière des variables liées ou des classes d'unités statistiques (des sujets, des fenêtres temporelles, ...). Toutefois, une analyse factorielle sur une très grande base de données serait particulièrement pauvre si elle ne permettait pas de montrer ces résultats. Et surtout, il ne faut pas que l'analyse s'arrête à ces premiers résultats.

Un autre point important est l'aspect multifactoriel de l'analyse. En effet, dès que les axes principaux sont construits, les influences des U facteurs sur les V variables peuvent être vues en utilisant la notion de points supplémentaires. En gardant à l'esprit la présence intrinsèque des facteurs individu et temps, cette possibilité permet de montrer s'il existe des groupes d'individus et si le comportement temporel est stationnaire. Comme évoqué ci-dessus, ces deux résultats sont importants dans la perspective d'appliquer des tests statistiques. Par

exemple, s'il y a des groupes de sujets (si l'échantillon n'est pas homogène), les tests devraient être appliqués groupe par groupe ; si l'on rencontre un phénomène non-stationnaire, résumer un signal en utilisant des indicateurs globaux (soit la moyenne arithmétique et/ou l'écart-type) a peu de sens.

Bien évidemment, cette méthode est plus longue et plus complexe que les méthodes habituelles pour tester l'influence d'un facteur sur une variable (soit un test d'hypothèse). Il y a un autre inconvénient que l'on peut attribuer à une méthode descriptive telle que l'ACM : l'impact du résultat. Avec une méthode descriptive, le résultat concerne l'échantillon d'individus alors qu'avec une méthode inférentielle, le résultat concerne la population dont l'échantillon d'individus provient. Il est donc indispensable de considérer les aspects de validité des résultats expérimentaux.

2.3. Résultats expérimentaux

Il est important de souligner que même si c'est difficilement quantifiable et exprimable sous forme de résultats statistiques, le fait d'avoir passé beaucoup de temps en tant qu'expérimentateur (pour une vingtaine de sujets) et d'avoir dépouillé les signaux multidimensionnels (pour environ quatre-vingts sujets) m'a permis de mieux comprendre le comportement du conducteur, d'observer des différences entre les conducteurs et l'influence de certains paramètres.

La première partie de l'analyse a consisté à décrire la population de l'expérimentation sur un plan psychologique grâce à l'étude des DNT de tests et questionnaires. C'est la personnalité qui semble le plus discriminer les participants (axe 1 : résultat 1), (notamment le névrosisme). Le niveau cognitif n'apparaît que sur le deuxième axe. L'étude des questionnaires semble faire apparaître un lien entre la conduite et la psychologie du conducteur. En effet, le résultat 2 montre que les gens réfléchis et consciencieux font moins d'erreurs en conduite que les conducteurs stressés et impulsifs. De même, le résultat 4 montre que les conducteurs qui ont un bon niveau cognitif ont tendance à faire plus d'infractions que les conducteurs qui ont un niveau cognitif plus faible. Les déclarations des conducteurs laissent donc penser que le profil psychologique a un impact sur le comportement en conduite. Dans la littérature, aucun consensus n'apparaît concernant la mise en relation des profils psychologique et de conduite à partir de l'étude de questionnaires. Par exemple, certaines études ont mis en avant des corrélations positives entre l'extraversion et les accidents de voiture (Lajunen 2001), les violations de la conduite chez les conducteurs très jeunes (Renner and Anderle 2000). En revanche, d'autres études n'ont pas trouvé de telles associations avec les accidents auto-rapportés (Arthur and Graziano 1996; Dahlen and White 2006) et les comportements de conduite non sécuritaires (Taubman-Ben-Ari, Mikulincer et al. 2004).

Dans la deuxième partie de l'analyse, c'est le comportement du conducteur dans les situations de suivi à partir des DT relevées par les capteurs qui a été étudié. L'ACM a permis de montrer que les conducteurs avaient des comportements différents, en termes de vitesse, d'interdistance et d'appui sur les pédales. On peut noter une forte hétérogénéité des situations de suivi rencontrées sur les différents paramètres étudiés. Cela peut être dû, pour la vitesse notamment, aux différentes conditions d'apparition du suivi (approche, insertion...). Cependant, dans la majorité des suivis, les conducteurs ont conservé une vitesse stable et n'ont pas eu besoin de freiner surtout pour les suivis sur autoroute.

Des différences inter-individuelles sont apparues dans les situations de suivi. En effet, différents résultats montrent que les conducteurs n'ont pas tous eu le même comportement. Des différences sont apparues au niveau de la vitesse (Résultat 7), et des occurrences de

freinage (Résultat 8). Elles montrent que les conducteurs n'ont pas les mêmes critères de vitesse, de distances de sécurité et ne réagissent pas de la même manière aux informations routières. Ainsi, pour être acceptés par la majorité des conducteurs, les systèmes d'aide devraient être adaptés aux conducteurs. Il serait donc intéressant de développer des systèmes d'aide qui s'adaptent en fonction de différents profils de conducteurs. La technique d'analyse de données utilisée, l'ACM, n'a mis en évidence aucun groupe de conducteurs.

Un résultat important concerne les interdistances. En effet, l'interdistance semble être minimale lorsque les deux conducteurs vont à la même vitesse (Résultat 10). Ce résultat est peut-être explicable par le fait que si le conducteur qui suit va plus vite, il peut facilement anticiper et dépasser et à l'inverse si le véhicule qui suit va plus lentement, le véhicule devant s'éloigne. Lorsque les deux véhicules vont à la même vitesse, il est difficile pour le conducteur qui suit de changer de situation (dépassement) et il peut donc être amené à accepter des interdistances plus courtes. Les situations où les interdistances sont courtes sont dangereuses notamment si le temps intervéhiculaire (TIV) est inférieur à 1s. Afin d'éviter ces situations accidentogènes, il pourrait être intéressant de développer un système qui aiderait les conducteurs à anticiper leurs dépassements. Pour valider cette hypothèse, il serait intéressant d'étudier la situation de dépassement.

Cette analyse descriptive a permis d'étudier l'évolution des différentes variables au cours du suivi. En caractérisant le comportement de conduite via trois variables qui ont joué un rôle important dans l'analyse statistique — vitesse, interdistance et fréquence de freinage, par exemple — il est possible de différencier une conduite sûre d'une conduite risquée et une conduite économique d'une conduite non économique. La Figure 49 propose une représentation des dimensions de conduite sécuritaire et économique. Plus le triangle est vert, plus la conduite est sûre et économique et plus le triangle est rouge plus la conduite est dangereuse et peu économique. La Figure 49a présente l'exemple du sujet S2 qui a une conduite sûre et économique (vitesse juste en dessous de la limitation, de grandes interdistances et peu de freinages). La Figure 49b présente l'exemple du sujet s70 qui a une conduite dangereuse (grandes vitesses et petites interdistances) et une conduite non-écologique avec de nombreux freinages. On peut imaginer l'implémentation d'un système informatif pour aider les conducteurs à évaluer le niveau de danger et d'« écologie » de leur style de conduite et pour qu'ils puissent rectifier leurs habitudes pour améliorer leur sécurité.

Les influences de facteurs environnementaux comme l'infrastructure, le temps, le trafic, le moment de la journée ont été testées. Les conducteurs semblent agir différemment en fonction de l'infrastructure. En effet, les conducteurs ont tendance à aller moins vite que la limitation en ville et plus vite que la limitation sur autoroute (Résultat 7). De même, la fréquence de freinage est plus importante en ville que sur autoroute (Résultat 8). Ce résultat était plus ou moins attendu puisqu'en ville les conducteurs sont amenés à réguler plus souvent que sur autoroute (stop, feux tricolores, changements de voies...). Le niveau de congestion du trafic semble également modifier le comportement du conducteur. Lorsque le trafic est chargé, les conducteurs semblent réduire leur vitesse et leurs interdistances (Résultat 7). Cette observation confirme l'hypothèse de Ranney (Ranney 1999) mais contredit le résultat de Brackstone et al. (Brackstone, Waterson et al. 2009). En effet, selon ce dernier, le niveau de trafic n'influence pas le choix des interdistances. Le temps (au sens durée) semble avoir un impact sur le comportement des conducteurs. En effet, les conducteurs freinent plus souvent dans la dernière partie du suivi (Résultat 8). Le suivi semble être un phénomène relativement stable dans les deux premières parties. A la fin d'une situation de suivi, les conducteurs peuvent avoir à changer de position (dépassement, rabattement...). Cela peut expliquer que les conducteurs puissent être amenés à réguler longitudinalement et donc à freiner pour

revenir dans une nouvelle situation stable de suivi. L'étude d'une seule fenêtre de suivi n'aurait pas permis de mettre en lumière ce phénomène. Un découpage en trois fenêtres temporelles se révèle donc plus pertinent. Les conditions météorologiques ne semblent pas avoir d'influence sur le comportement des conducteurs en situations de suivi. Dans la littérature, aucun consensus n'existe sur leur impact. En effet, selon Van der Hulst, le conducteur prend des marges de sécurité plus grandes lorsque les conditions visuelles sont dégradées (pluie, brouillard...) (Van der Hulst 1990).

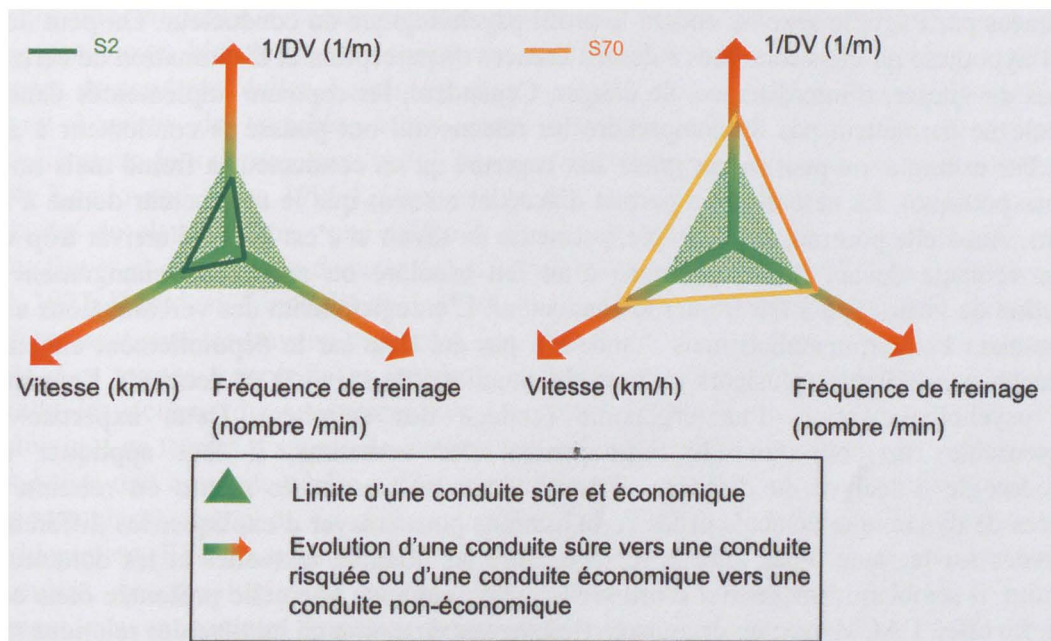


Figure 49. Une manière possible d'utiliser les données. a) Cas d'une conduite sûre et économique, b) Cas d'une conduite risquée et peu économique

L'influence de facteurs humains a également été recherchée. Que ce soit l'âge, le sexe ou encore le profil psychologique, aucun d'entre eux ne semble avoir un impact sur la situation de suivi. Le fait que les facteurs comme l'âge et le sexe n'influencent pas le comportement des conducteurs a déjà été montré dans la littérature (Rajalin, Hassel et al. 1997). Mais un résultat contradictoire apparaît également dans la littérature. En effet, Evans et al. trouvent que les interdistances augmentent avec l'âge et que les hommes adoptent des interdistances plus faibles que les femmes (Evans and Wasielewski 1983). En ce qui concerne le profil psychologique, le parallèle n'a jamais été fait entre des données enregistrées sur route et le profil psychologique. Le lien conduite - profil psychologique n'a donc pas été établi alors que les déclarations des conducteurs laissent penser que le profil psychologique a un impact sur le comportement en conduite. Cette différence de recueil de données peut expliquer que les résultats soient contradictoires. Une vitesse excessive ou des interdistances trop courtes pourraient par exemple être des indicateurs d'infractions en conduite. On peut donc se demander si les différences qu'il semble y avoir entre les conducteurs ne sont pas dues à une vision différente des erreurs ou des infractions ou tout simplement à des personnalités différentes. Ils n'abordent peut-être pas le questionnaire de la même manière et ainsi des tendances qui ne semblent pas apparaître en conduite ont pu se dégager dans les questionnaires.

Même si ces résultats obtenus sont intéressants, la discussion précédente laisse entrevoir plusieurs voies d'amélioration dont les principales font l'objet du paragraphe suivant.

3. PERSPECTIVES

Elles se situent à deux niveaux essentiels : obtention de nouvelles données et mise en œuvre d'autres approches statistiques.

Les analyses faites dans le cadre de cette thèse ont permis de décrire le comportement des conducteurs en situation de suivi, de montrer des différences inter-individuelles et l'influence de certains facteurs environnementaux. Les différences de comportement n'ont pas pu être expliquées par l'âge, le sexe ou encore le profil psychologique du conducteur. On peut donc faire l'hypothèse qu'elles sont dues à des différences de perception et d'estimation de certains critères de vitesse, d'interdistance, de danger. Cependant, les capteurs implémentés dans le véhicule ne permettent pas de comprendre les raisons qui ont poussé le conducteur à agir ainsi. Par exemple, on peut savoir grâce aux capteurs qu'un conducteur a freiné mais on ne sait pas pourquoi. La verbalisation permet d'accéder au sens que le conducteur donne à ces actions. Ainsi elle pourrait, par exemple, permettre de savoir si c'est le fait d'arriver trop vite sur le véhicule devant lui, la présence d'un feu tricolore ou encore un changement de limitation de vitesse qui a fait freiner le conducteur. L'enregistrement des verbalisations a été fait pendant l'expérimentation mais l'étude n'a pas été faite car le dépouillement engendre une tâche considérable (plusieurs milliers de situations de suivis !) et demande l'expertise d'un psychologue et/ou d'un ergonome (codage des activités). Cette expertise est indispensable car pour faire le regroupement des verbatims, il faut appliquer une méthodologie d'analyse du discours. Il serait donc intéressant de mettre en relation les données de dynamique véhicule et les verbalisations pour essayer d'expliquer les différences observées sur la route. Pour faire la relation entre les données textuelles et les données de conduite, il semblerait intéressant d'utiliser la même méthode que celle présentée dans cette thèse. En effet, l'ACM avec un découpage flou permet de mettre en lumière des relations non-linéaires entre les variables et permet de mettre en relation des données de différents types. L'ACM a d'ailleurs beaucoup été utilisée dans l'analyse de données textuelles (Benzecri 1981).

Ensuite comme nous l'avons vu, pour être acceptées par le maximum de personnes les aides à la conduite devraient être adaptables au profil du conducteur. Cependant, l'ACM n'a pas permis de mettre en lumière des groupes de conducteurs. Il serait donc intéressant d'utiliser des méthodes de classification telles que la classification autour de centres mobiles ou de classification ascendante hiérarchique (Lebart, Morineau et al. 2004). Faire cette analyse serait particulièrement intéressante notamment pour l'adaptation des systèmes au comportement des conducteurs. En effet, pour être accepté par les conducteurs et pour éviter de dégrader la conduite de l'utilisateur, il faut que le système modifie le moins possible le comportement du conducteur. Ceux derniers ayant des comportements différents, il est indispensable de créer des systèmes adaptatifs en fonction du profil du conducteur. Dans la littérature, les travaux dans le domaine de la recherche de typologies de conducteurs montrent que celles-ci sont établies soit à partir de questionnaires (sans aucune phase de conduite), soit à partir de l'utilisation de la voiture (au travers de questionnaires/entretiens et/ou de données de conduite réelles). Les questionnaires mettent souvent l'accent sur le stress en conduite, le respect des règles ou encore l'agressivité (Driver Behaviour Inventory (Gulian, Glendon et al. 1988), Driver Style Questionnaire (French, West et al. 1993), Driver Behavior Questionnaire (Reason, Baxter et al. 1990), The Attitudes to Driving Violations (West and Hall 1997), Driving Vengeance Questionnaire (Wiesenthal, Hennessy et al. 2000) et le Multidimensional Driving Style Inventory (Taubman-Ben-Ari, Mikulincer et al. 2004)). Les types de conduite qui en sont extraits ne sont pas adaptés pour déterminer des règles de conception adaptatives.

Pour construire les questionnaires, l'analyse en composantes principales a souvent été utilisée. Ensuite ce sont des tests d'hypothèses de Pearson ou des ANOVA qui sont utilisés pour faire le lien entre le profil psychologique et la conduite. Labiale a déterminé des catégories de conducteurs à partir de questionnaires relatifs aux utilisations et représentations de la voiture et des économies de carburant, de leurs comportements rapportés au volant et de leurs caractéristiques personnelles (variables signalétiques et traits de personnalité) (Labiale 1989). Les 5 classes de conducteurs ont été établies grâce à une classification mixte du type nuée dynamique. Elles semblent utilisables dans le cadre de création d'un système adaptatif mais il manque une validation avec des données de conduite réelles. En effet, les individus peuvent avoir une vision biaisée de leur comportement. Des typologies ont été établies à partir de données de conduite réelles. La plupart du temps elles ont été faites à partir d'un coefficient calculé à partir de variables telles que l'angle au volant, la position de la pédale d'accélérateur, la « dérivée papillon »¹ ou encore la position de la pédale de frein : ((Fournier 1994; Kondo and Goka 1995)). Dans le cas des analyses multivariées, on retrouve trois méthodes de classification : une méthode de cartographie empirique, un système à base de règles floues et des réseaux de neurones ((Seidel, Petersmann et al. 1992; Schroeder, Petersen et al. 1997; Borodani, Gianoglio et al. 1998)). Les styles de conduite sont qualifiés de manières différentes suivant les travaux réalisés. Le nombre de qualificatifs utilisé est finalement assez limité. Les termes « sportif » et « nerveux » définissent souvent une conduite rapide pour laquelle les actions du conducteur sur les commandes sont fréquentes et/ou de grande amplitude. Les termes « souple », « calme » et « économique » représentent l'autre extrême, c'est-à-dire une conduite où les actions du conducteur sont lentes, modérées et lissées. Une troisième classe existe et est définie comme intermédiaire entre les deux classes citées précédemment. Elle est qualifiée des termes « normal », « médium » ou encore « standard ». Cependant, ces typologies ne prennent en compte que la dynamique du véhicule et ne prennent pas en compte l'environnement dans lequel le véhicule évolue (infrastructure, position par rapport aux autres véhicules...). Il serait donc intéressant de chercher des typologies qui pourraient être appliquées dans la spécification d'un système adaptatif. Une ACM permet de déterminer les facteurs les plus importants. Ensuite, l'utilisation de méthodes de classification comme la classification ascendante hiérarchique ou la classification par k-moyennes semble appropriée pour obtenir des groupes de conducteurs. Les lois de commande des systèmes pourraient ainsi être adaptées au profil du conducteur. Cette adaptabilité permettrait notamment une meilleure acceptabilité du système par les conducteurs.

Une fois ces analyses réalisées sur les typologies de conducteurs, il serait intéressant de pouvoir estimer en temps réel la classe à laquelle le conducteur appartient à partir des paramètres les plus pertinents mis en évidence dans les analyses précédentes (vitesse relative, interdistance, infrastructure...). La construction d'un espace multidimensionnel de représentations des différentes classes en fonction des indicateurs permet d'envisager des approches basées sur des méthodes de classification telles que l'analyse discriminante linéaire, la reconnaissance des formes floues ou les réseaux de neurones (Lebart, Morineau et al. 2004). La connaissance des indicateurs par mesure permet la construction d'un vecteur forme, dont les coordonnées dans l'espace de représentation permettent le rattachement à une des classes préalablement identifiées. Une fois les classes établies en prenant deux tiers des

¹ Vitesse de déplacement du papillon des gaz (ou volet), obturateur commandé par l'accélérateur réglant le débit de l'air aspiré et donc celui du mélange carburant-comburant d'un moteur à explosion.

sujets, une validation des différents résultats trouvés pourrait être faite avec le dernier tiers des conducteurs.

Cette étude a montré que les interdistances sont les plus courtes lorsque les deux véhicules vont à la même vitesse. On peut faire l'hypothèse qu'ils ont l'intention de dépasser et qu'ils attendent le moment propice. D'ailleurs, dans une étude de Rajalin et al., les conducteurs interrogés sur les raisons qui les poussent à pratiquer des interdistances courtes, ont répondu à 40% qu'ils sont en attente de dépasser (Rajalin, Hassel et al. 1997). De plus, l'étude des situations critiques rencontrées lors de cette expérimentation a montré que la plupart d'entre elles ont eu lieu lors de manœuvres de changement de voies et donc de dépassement. Développer un système d'aide au dépassement pourrait être intéressant. BMW et la société NAVTEQ, qui fournit des cartes numériques et d'autres contenus dynamiques pour la navigation et les services de localisation dont la navigation GPS, ont mis au point un logiciel Dynamic Pass Predictor qui détecte automatiquement les situations où le dépassement n'est pas opportun en combinant des informations sur la géométrie routière, la vitesse à laquelle le véhicule roule et la vitesse du véhicule qui précède. En utilisant ces informations, l'écran du système de navigation signale les portions de route qui nécessitent une attention accrue du conducteur, lui permettant ainsi d'apprécier s'il est judicieux ou non de dépasser le véhicule qui le précède. Ainsi, un virage serré, un carrefour ou une nouvelle limitation de vitesse sont mis en évidence sur la carte, avec la position du véhicule qui précède. Ces informations aident le conducteur à mieux évaluer s'il a une visibilité suffisante de la route pour prendre la décision de dépasser. Le système de navigation n'émet cependant pas de recommandations de dépassement car il n'est pas en mesure d'intégrer dans ses calculs le flux de véhicules arrivant en sens inverse. Ce système aide les conducteurs dans leurs dépassements mais uniquement par rapport au véhicule qui le précède et par rapport à la géométrie de la route (cf. Figure 50 et Figure 51). Cependant de nombreux autres paramètres sont à prendre en compte. Volvo, pour sa part, a développé, dès 2001, le système BLIS (Blind Spot Information System) d'informations sur l'angle mort. Lorsqu'un véhicule pénètre dans cette zone surveillée, un voyant d'avertissement s'allume près du rétroviseur extérieur. Le conducteur est ainsi prévenu qu'un autre véhicule se trouve à côté du sien et qu'il ne peut pas changer de file. Le système indique au conducteur à la fois les véhicules s'approchant derrière, ainsi que la position de ceux qui se trouvent devant, pendant une manœuvre de dépassement. Ces informations permettent au conducteur de disposer d'une meilleure vue d'ensemble pour prendre la bonne décision dans ce type de situations. Les deux côtés de la voiture sont surveillés à l'identique. Comme pour le système de BMW, l'aide est partielle. Ces deux systèmes pourraient être complémentaires mais il serait intéressant d'étudier plus précisément la situation de dépassement et donc celles repérées au cours de l'expérimentation. De plus, la phase d'approche et le changement de voie semblent les phases les plus compliquées à gérer pour le conducteur, il serait donc intéressant de se focaliser sur ces phases du dépassement. Pour analyser les phases de dépassement, il serait intéressant d'utiliser également l'ACM. La phase la plus complexe reste la préparation des données avec notamment le découpage temporel. Le dépassement n'est pas un phénomène linéaire, un fenêtrage temporel flou basé sur les changements de phase de certains paramètres comme l'angle au volant semblerait le plus adapté (Hegeman, Brookhuis et al. 2005).

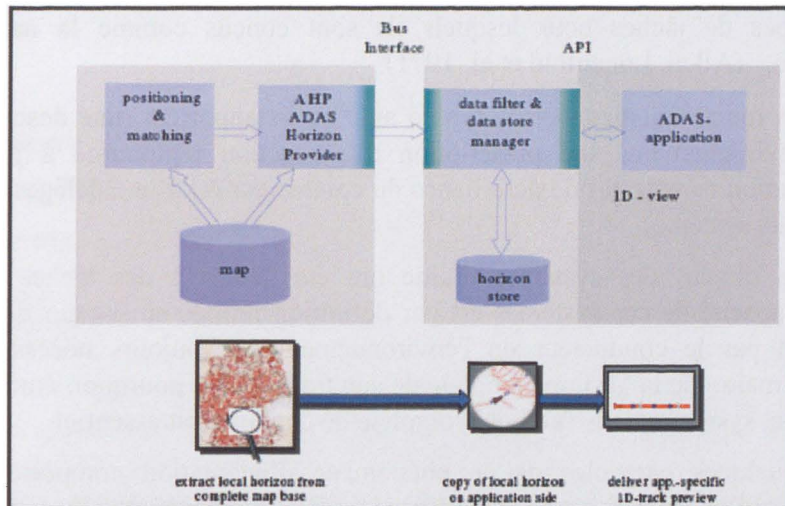


Figure 50. Exemple de schéma décrivant les flux de données, les traitements et les prises de décision dans un système d'aide à la conduite (extrait de (Loewenau, Vogt et al. 2006))

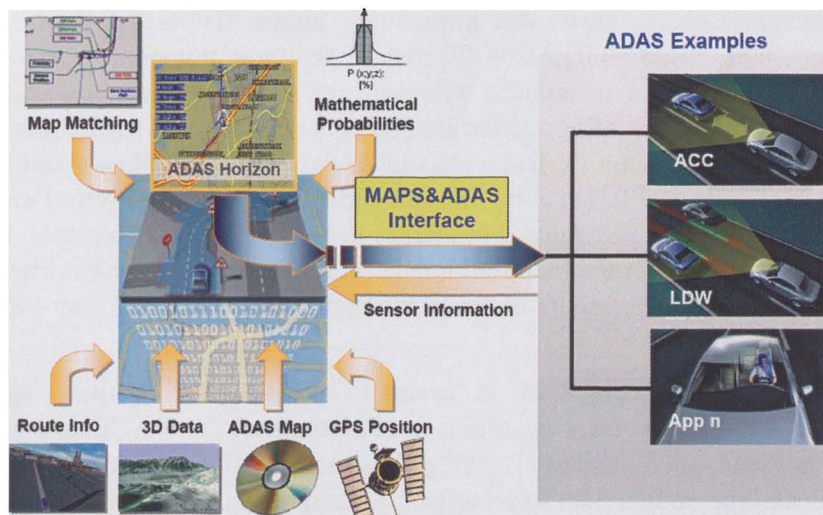


Figure 51. Exemple de futures ADAS prenant en compte des données multivariées

Cette étude s'est intéressée à la régulation longitudinale en conduite lorsque le véhicule n'est équipé d'aucun système d'aide à la conduite. Cela a permis de décrire le comportement des conducteurs dans les situations de suivi et donc de disposer d'une base de connaissance sur la conduite naturelle. Un des principaux axes de recherche actuellement suivi en sécurité routière est l'adaptation comportementale à un système d'aide à la conduite. Dans ce domaine de recherche, le terme adaptation comportementale (compensation du danger) est utilisé, la plupart du temps, pour signaler des changements comportementaux non expliqués ou non anticipés qui apparaissent en réponse à l'introduction d'un nouveau système d'aide à la conduite et qui risquent de diminuer plus ou moins les bénéfices attendus. L'adaptation comportementale peut être une réponse immédiate aux changements apportés par le système ou peut apparaître après une phase de familiarisation (Saad, Hjälm Dahl et al. 2004).

Les évolutions associées à l'utilisation des nouveaux systèmes d'aide et leur acceptation par les conducteurs dépendent :

- des types de tâches pour lesquels ils sont conçus comme la navigation ou le contrôle...(Allen, Lunenfeld et al. 1971)
- de leurs fonctionnements et du type d'aide qu'ils apportent (une description de l'état de l'environnement, une prescription d'une action régulatrice à prendre ou une intervention dans le cas de défaillance du conducteur ou d'une délégation délibérée de sa part au système)

Jusqu'ici, la plupart des systèmes d'aide ont été dédiés à des tâches spécifiques de conduite. La capacité de ces systèmes est par définition limitée au secteur de cette tâche, le contrôle direct par le conducteur de l'environnement est toujours nécessaire et il reste responsable et maître de la gestion complète de son trajet. C'est pourquoi, étudier l'intégration de ces nouveaux systèmes dans l'activité complète de conduite est essentiel.

Donnons quelques exemples de ce phénomène d'adaptation comportementale et les interprétations qui en sont faites. Selon (Evans and Wasielewski 1983), les possesseurs de véhicules plutôt récents pratiquent des distances intervéhiculaires plus faibles et des vitesses plus élevées. Ceci est cohérent avec l'observation selon laquelle le taux d'accidents (avec dommages matériels uniquement ou avec blessures) des véhicules les plus récents (donc les mieux équipés en termes de sécurité et les plus confortables) est supérieur à celui des véhicules plus anciens même lorsque l'on tient compte de l'intervention possible de covariables comme l'âge, le sexe ou le kilométrage annuel ((Fosser and Christensen 1998), cités par Horswill et Coster, 2002). Ces différences de comportements pourraient s'expliquer en partie par l'amélioration du confort vibratoire et phonique dans les voitures récentes. Plusieurs études montrent en effet que les conducteurs de voitures bien isolées phoniquement évaluent moins bien la vitesse de leur véhicule (Evans 1970; Matthews and Cousins 1980; Horswill and McKenna 1999). Un autre élément d'explication pourrait être l'amélioration des capacités de freinage des véhicules « modernes ». On notera par exemple les travaux de (Sagberg, Fosser et al. 1997) qui montrent que la présence de l'ABS et d'Airbags est associée à des comportements plus agressifs et, en particulier, à des distances inter-véhiculaires plus faibles.

Comme on a pu le voir dans le premier chapitre, les résultats sur l'adaptation comportementale des conducteurs qui utilisent un système tel que l'ACC sont pour le moment contradictoires (Saad, Hjalmdahl et al. 2004). Il est donc difficile de savoir si l'usage d'un tel système est bénéfique ou non pour la sécurité. Ces différences de résultats peuvent être dues à des protocoles d'études différents (sur piste, en simulateur, sur route, avec des durées de tests plus ou moins longues). Des résultats contradictoires ont été trouvés dans la plupart des études sur les systèmes d'aide. Le projet européen FOT (Festa Consorsium 2008) a pour but d'évaluer ses systèmes sous des conditions de fonctionnement normales dans des environnements typiquement rencontrés par les conducteurs. Ainsi cette technique permettra de recueillir des informations sur l'utilisation de ce système dans des conditions réelles d'utilisation.

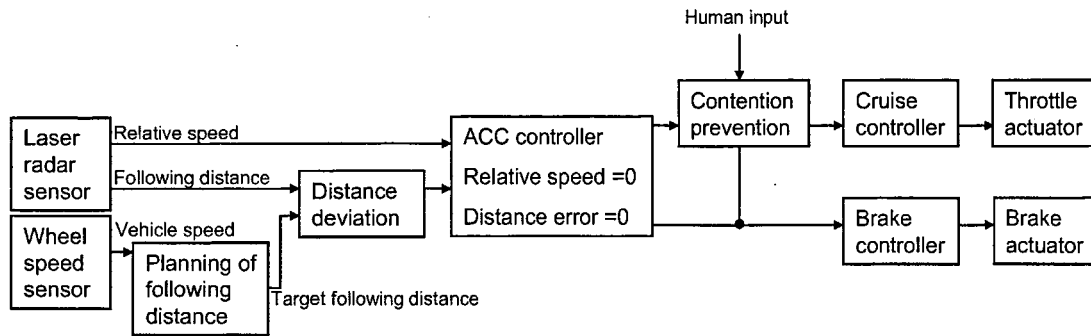


Figure 52. Schéma-block de l'ACC

Il serait ainsi intéressant de mener une étude avec un ACC (cf. Figure 52) pour mesurer l'adaptation comportementale des conducteurs. De plus, dans la plupart des études seules les modifications à court terme ont été relevées. Il serait donc intéressant de mener une étude sur le long terme en réalisant plusieurs expérimentations réparties dans le temps pour mesurer comment le comportement du conducteur évolue entre le moment où il conduit sans système et avec système et entre le moment où il débute avec le système et le moment où il devient expert du système. Dans les études sur l'adaptation comportementale relative à l'utilisation de l'ACC, les comparaisons entre la conduite avec et sans système sont faites à l'aide d'analyses monovariées comme les ANOVA (Hoedemaeker and Brookhuis 1998; Rudin-Brown and Parker 2004). L'utilisation de l'ACC permettrait de mettre en lumière les liens entre les variables et des phénomènes non-linéaires. L'étude des trajectoires des conducteurs entre les différents essais permettrait de mettre à jour une éventuelle adaptation des conducteurs et si des stratégies différentes apparaissent entre les conducteurs.

4. CONCLUSION

Nous avons dressé dans la première partie de ce chapitre un rapide bilan des objectifs et de la méthode utilisée dans le cadre de cette thèse. Dans une deuxième partie, l'approche statistiques et les résultats expérimentaux ont été discutés. Bien que les résultats obtenus dans cette thèse soient intéressants, il reste encore beaucoup de chemin à parcourir pour décrire le comportement naturel des conducteurs, réussir à déterminer des groupes de conducteurs et rendre les systèmes d'aide à la conduite adaptables au profil du conducteur. Ces perspectives sont décrites dans la dernière partie de ce chapitre.

CONCLUSION GENERALE

Le bilan du travail réalisé au cours de cette thèse est présenté dans le chapitre V (Bilan et Perspectives), seul un bilan personnel est donc dressé dans cette partie.

Cette thèse d'Automatique m'a permis de comprendre que l'Automatique peut s'appliquer à l'analyse des systèmes Hommes-Machines. En effet, ma formation d'ingénieur m'avait permis d'acquérir des connaissances essentiellement en contrôle-commande. Outre les notions de capteur, échantillonnage, filtrage ou bouclage inhérentes à l'Automatique, ces travaux de thèse m'ont permis de découvrir ou d'approfondir mes connaissances dans trois champs importants.

Tout d'abord j'ai découvert l'**Ergonomie** et la **Psychologie** avec l'importance des aspects relatifs aux facteurs humains dans le développement de systèmes destinés à l'homme. En effet, j'ai pu dans un premier temps découvrir des notions de psychologie avec des méthodes d'évaluation du niveau cognitif et de la personnalité ainsi que des techniques d'entretien en suivant une formation sur la verbalisation. J'ai également pu découvrir l'évaluation de systèmes destinés à améliorer le confort ou la sécurité des conducteurs. Prendre en compte l'humain dans le développement d'un système d'aide à la conduite, se révèle indispensable pour que ce dernier soit accepté par l'utilisateur et surtout qu'il n'ait pas d'effet négatif sur son comportement.

Ensuite j'ai approfondi mes connaissances en **Statistique**. Tout d'abord, j'ai appris à aborder l'analyse des données avec méthode, notamment dans la préparation et le codage des données, ce qui peut se révéler complexe dans le cas de statistiques MFMV. Dans le cas d'analyses exploratoires, les méthodes disponibles sont nombreuses et il faut réussir à choisir celle qui correspond le plus aux données disponibles. De par l'aspect MFMV, les différentes étapes nécessaires pour analyser les données sont souvent plus complexes que dans le cadre d'analyses inférentielles monovariées. Cependant, le choix de la méthode la plus adaptée nécessite malgré tout de vérifier l'adéquation des données disponibles avec la méthode que l'on veut utiliser (tests paramétriques ou non paramétriques...).

Et enfin, j'ai amélioré mes connaissances en **Informatique** (au sens *programmation*), notamment en Matlab et en R. Matlab m'a été très utile dans l'enregistrement et le traitement des données avec la réalisation d'une interface de recueil de données semi-automatique, de routines de filtrage, ou encore de caractérisation spatio-temporelle de signaux multidimensionnels ou de codage. Une fois les données mises sous format d'entrée d'une

méthode d'analyse statistique, le logiciel R s'est révélé plus adapté dans l'analyse de grosses structures de données.

Ceci étant, dans un souci de prendre un peu de recul sur le travail réalisé, une remarque s'impose. Si j'analyse :

- divers sujets de thèse : le mien, ceux des élèves-ingénieurs de ma promotion et ceux des collègues du LAB et du LAMIH ;
- les articles ou ouvrages que j'ai eu à lire (notamment en Automatique, Statistique, Informatique, Ergonomie et Psychologie) ;
- les divers enseignements que j'ai eu jusqu'à aujourd'hui ;

Il me semble qu'il est possible de classer, grosso modo, les activités de recherche en automatique en quatre catégories :

- l'activité focalisée autour de la « théorie des systèmes », reposant donc essentiellement sur les Mathématiques, comme la conception de nouvelles méthodes de contrôle-commande ;
- l'activité tournant autour du calcul scientifique, donc des mathématiques « appliquées », comme la mise en place d'algorithmes pour simuler le comportement d'un système ou la recherche d'une solution optimale à un problème ;
- l'activité où l'on doit analyser un processus physique, que ce soit un système *in situ*, comme un système de production (de véhicules, d'énergie, ...), ou une « maquette », comme un banc d'étude d'un asservissement ou de la combustion au sein d'un moteur
- l'activité où l'on s'intéresse à un système à composante humaine, sachant que, là aussi, l'étude peut être faite *in situ*, comme ça été le cas de ma thèse, ou non, comme l'étude de la conduite sur simulateur.

Me situant dans la quatrième catégorie, les résultats produits sont « moins conventionnels » pour les automaticiens que ceux rencontrés dans les 3 autres catégories : notamment ils ne sont pas exprimés sous la forme d'un modèle mathématique analytique. Ceci s'explique, entre autres, par le fait que les variations intra-individuelles sont fortes par rapport aux variations inter-individuelles, ce qui rend très difficile la mise en évidence de facteurs (sexe, âge, type d'infrastructure, ...), bien sûr autre que des influences triviales ; ainsi que l'apparition de relations entre les variables (psychophysiologiques et de conduite). Ceci m'a donc permis de comprendre pourquoi, dans certains articles, j'ai pu trouver un résultat et son contraire (par exemple tel facteur a et n'a pas d'influence sur telle variable), hormis le fait qu'il est difficile de reproduire exactement les mêmes conditions environnementales, bien sûr. C'est cette forte variabilité individuelle qui explique, en partie, l'utilisation de modèles graphiques et verbaux (sorties de l'ACM et des tests statistiques), plutôt que mathématiques.

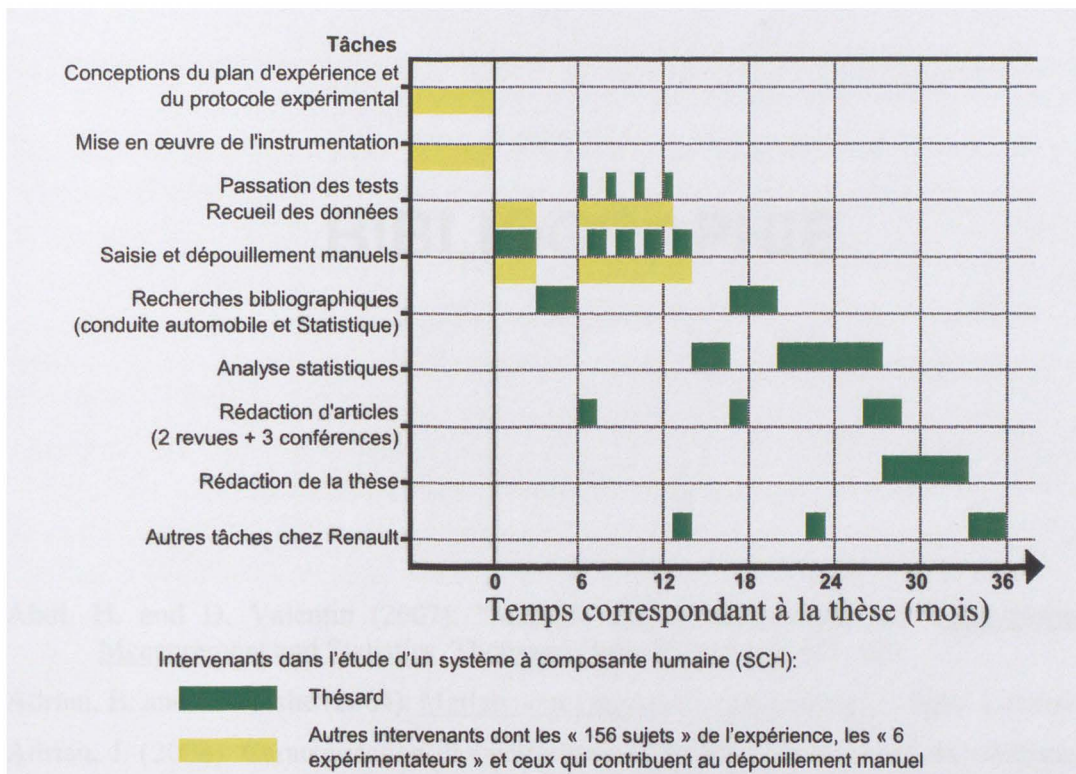


Figure 53: Gantt de mon activité durant la thèse et de ceux/celles impliquées dans la thèse

Outre cette différence au niveau des résultats, vient s'ajouter une différence dans la durée permettant de passer des objectifs d'une étude aux résultats. En effet, le Gantt (cf. Figure 53) montre l'énorme difficulté de « tout faire tenir » en trois ans. Citons deux raisons. La première vient de la volonté d'avoir un échantillon suffisamment représentatif : elle a conduit à faire passer 156 « sujets » dont 123 ont été retenus (certains ont dû être abandonnés pour des raisons de mauvaise qualité des enregistrements, de questionnaires inexploitable, d'oubli de passations de questionnaires) ; ceci nécessite donc au moins 160 jours. Un second argument concerne l'énorme temps passé à saisir et dépeuille manuellement des données. En effet, le dépeuille d'une passation représente une journée de travail. Personnellement, j'ai servi de copilote pour 25 volontaires et j'ai dépeuille les passations de près de 75 conducteurs. J'en profite donc pour remercier tous les « sujets » et ceux qui m'ont permis de mener à bien cette étude (les expérimentateurs, « dépeilleurs », techniciens et managers de l'étude).

Consciente de tous ces difficultés, cette thèse en « Automatique Humaine » m'a permis de mieux comprendre le fonctionnement de l'être humain et me sera, à coup sûr, très profitable pour ma future carrière.

BIBLIOGRAPHIE

- Abdi, H. and D. Valentin (2007). "Multiple correspondence analysis." Encyclopedia of Measurement and Statistics. Thousand Oaks (CA): Sage: 651-657.
- Adrian, B. and B. Moshe (2004). Matlab pour l'ingénieur, versions 6 et 7. Paris, Lavoisier.
- Adrian, J. (2008). Caractérisation des performances de conduite au cours du vieillissement : Implications des fonctions exécutives et des traits de personnalité, Université de Bordeaux.
- Alm, H. and L. Nilsson (1995). "The effects of a mobile telephone task on driver behaviour in a car following situation." Accident Analysis & Prevention 27(5): 707-15.
- Amrani, A. (1999). Les temps intervéhiculaires sur routes nationales et leur intérêt dans les systèmes intelligents de transport, INRETS.
- Arthur, W. and W. Graziano (1996). "The Five-Factor Model, Conscientiousness, and Driving Accident Involvement." Journal of Personality 64(3): 593-618.
- Ball, K., C. Owsley, et al. (1998). "Driving avoidance and functional impairment in older drivers." Accident Analysis & Prevention 30(3): 313-322.
- Barreau, H. (1987). Temps. Encyclopaedia Universalis. Paris.
- Bellet, T. (1998). Modélisation et simulation cognitive de l'opérateur humain: une application à la conduite automobile. Thèse de doctorat, Paris, Université Paris V.
- Benzecri, J. (1992). Correspondence analysis handbook, CRC Press.
- Bengtsson, J. (2001). Adaptive Cruise Control and Driver Modeling. Licentiate Thesis, Lund, Suède, Lunds Tekniska högskola.
- Bertin, J. (1973). La graphique et le traitement graphique de l'information. Paris, Flammarion.
- Bjorkly, C. A., G. D. Jenssen, et al. (2003). "Adaptive cruise control and driver performance: Effects on objective and subjective measures." 10th World Congress on Intelligent Transport Systems, Madrid, Spain.
- Bjørnskau, T. (1996). "Why are the 'safest' norms, attitudes and types of behaviour not typical for the safest drivers?" Transport Reviews 16(2): 169-181.
- Boer, E. R. (1999). "Car following from the driver's perspective." Transportation Research (Part F) 2: 201-206.

- Bouslimi, W. (2006). Modélisation du comportement du conducteur dans les situations d'urgence, Thèse de doctorat, Ecole des Mines de Paris.
- Boyce, T. E. and E. S. Geller (2002). "An instrumented vehicle assessment of problem behavior and driving style: Do younger males really take more risks?" Accident Analysis & Prevention **34**(1): 51-64.
- Brackstone, M. and M. McDonald (1999). "Car-following: a historical review." Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour **2**(4): 181-196.
- Brackstone, M., B. Sultan, et al. (2002). "Motorway driver behaviour: studies on car following." Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour **5**(1): 31-46.
- Brackstone, M., B. Waterson, et al. (2009). "Determinants of following headway in congested traffic." Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour **12**(2): 131-142.
- Brissart, G. (2004). Etude du comportement du conducteur en régulation longitudinale sur route pour la spécification de systèmes de sécurité active, Thèse de doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis.
- Brookhuis, K. and D. de Waard (1999). "Limiting speed, towards an intelligent speed adapter (ISA)." Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour **2**(2): 81-90.
- Brookhuis, K., D. De Waard, et al. (1994). "Measuring driving performance by car-following in traffic." Ergonomics **37**(3): 427-434.
- Broughton, K., F. Switzer, et al. (2007). "Car following decisions under three visibility conditions and two speeds tested with a driving simulator." Accident Analysis and Prevention **39**(1): 106-116.
- Cahour, B. (2006). L'expérience vécue des utilisateurs: pourquoi l'étudier et comment. Actes du colloque CITE.
- Capéraà, P., B. Van Cutsem, et al. (1988). Méthodes et modèles en statistique non paramétrique, Dunod.
- Collet, C., A. Guillot, et al. (2003). "Corrélats neurophysiologiques des processus mentaux enregistrés en situation réelle par micro-capteurs non invasifs Neurophysiological correlates of mental processes through non invasive micro-sensors recording in the field." Science & Sports **18**(2): 74-85.
- Cornillon, P. A. (2008). Statistiques avec R. Rennes, Presses Universitaires de Rennes.
- Costa Jr, P. T. and R. R. McCrae (1994). Manuel professionnel du NEO PI-R, version française, ECPA.
- Dahlen, E. and R. White (2006). "The Big Five factors, sensation seeking, and driving anger in the prediction of unsafe driving." Personality and Individual Differences **41**(5): 903-915.
- Daigneault, G., P. Joly, et al. (2002). "Executive Functions in the Evaluation of Accident Risk of Older Drivers." Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology **24**(2): 221-238.
- De Raedt, R. and I. Ponjaert-Kristoffersen (2001). "Predicting at-fault car accidents of older drivers." Accident Analysis & Prevention **33**(6): 809-819.

- Dessaigne, M. F. and M. Vernet (2001). Appropriation d'un régulateur adaptatif d'allure (ACC) par des conducteurs expérimentés. Actes INRETS n°75.
- Dingus, T. A., S. G. Klauer, et al. (2006). The 100-car Naturalistic Driving Study, Phase II - Results of the 100-Car Field Experiment, NHTSA.
- Dodge, Y. (2004). Statistique: Dictionnaire encyclopédique, Springer.
- Dubart, D., Loslever, P., Popieul, J-C, Moessinger, M. "Multifactor multivariate analysis of multidimensional signals coming from car following situations with different driver and environment characteristics", European Annual Conference on Human Decision-Making and Manual Control, Reims.
- Elander, J., R. West, et al. (1993). Behavioral correlates of individual differences in road-traffic crash risk: an examination method and findings., Psychol Bull.
- Evans, L. and P. Wasieleski (1983). "Risky driving related to driver and vehicle characteristics." Accident Analysis & Prevention **15**: 121-136.
- Festa Consortium (2008). Festa: Final Report, 7th Framework Project.
- Fontaine, H. and Y. Gourlet (1997). "Fatal pedestrian accidents in France: a typological analysis." Accident: analysis and prevention **29**(3): 303.
- Forkenbrock, G., M. Flick, et al. (1998). A test track performance evaluation of current production light vehicle antilock brake systems. 16th International Technical Conference on Enhanced Safety of Vehicles, Windsor, Canada.
- Foster, J., S. Black, et al. (1997). "Executive and associated functions in normal and pathological aging: A neuroimaging perspective." Methodology of frontal and executive function.
- Francher, P., R. Ervin, et al. (1998). Intelligent cruise control field operational test - final report. Springfield, DOT HS 808 849. NTIS.
- Friedman, N., A. Miyake, et al. (2006). "Not All Executive Functions Are Related to Intelligence." Psychological Science **17**(2): 172-179.
- Gardarin, G. and P. Valduriez (1991). SGDB avancés. Paris, Eyrolles.
- Gray, D. (2004). Doing research in the real world, Sage Publications Inc.
- Hancock, P. (1999). "Is car following the real question—are equations the answer?" Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour **2**(4): 197-199.
- Hart, S. and L. Staveland (1988). "Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research." Human mental workload **1**: 139–183.
- Heino, A., H. van der Molen, et al. (1996). "Differences in risk experience between sensation avoiders and sensation seekers." Personality and Individual Differences **20**(1): 71-79.
- Hitz, J., J. Koziol, et al. (2000). Safety evaluation results from the field operational test of an intelligent cruise control (ICC) system. SAE Technical Paper Series.
- Hoedemaeker, M. and K. A. Brookhuis (1998). "Behavioural adaptation to driving with an adaptive cruise control (ACC)." Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour **1**(2): 95-106.
- Inrets, Inria, et al. (2004). STARDUST: Final Report.

- Iversen, H. and T. Rundmo (2002). "Personality, risky driving and accident involvement among Norwegian drivers." Personality and Individual Differences **33**(8): 1251-1263.
- Jambu, M. (1991). Exploration statistique et informatique des données. Paris, Dunod.
- James, W. (1890). The principles of psychology, vols. 1 & 2. New York, Holt.
- Jobson, J. (1992). Applied multivariate data analysis, Springer-Verlag.
- Kassaagi, M. (2001). Caractérisation expérimentale du comportement des conducteurs en situation d'urgence pour la spécification de systèmes de sécurité active, Thèse de doctorat, Ecole Centrale Paris.
- Kopf, M., G. Nirschl, et al. (1997). Driver-Vehicle interaction while driving with ACC in borderline situations. 4th Congress on Intelligent Transport Systems, Berlin.
- Kramer, A., D. Humphrey, et al. (1994). "Aging and inhibition: beyond a unitary view of inhibitory processing in attention." Psychology and aging **9**(4): 491.
- Lajunen, T. (2001). "Personality and accident liability: are extraversion, neuroticism and psychoticism related to traffic and occupational fatalities?" Personality and Individual Differences **31**(8): 1365-1373.
- Lamble, D., T. Kauranen, et al. (1999). "Cognitive load and detection thresholds in car following situations: safety implications for using mobile (cellular) telephones while driving." Accident Analysis and Prevention **31**(6): 617-623.
- Lazarus, R. (1966). Stress, Appraisal, and Coping. New York, Springer.
- Lebart, L., A. Morineau, et al. (2004). Statistique exploratoire multidimensionnelle, 3ième édition. Paris, Dunod.
- Leclerc, F., C. Petit, et al. (2008). Braking strategies and mental load under simulated and actual driving conditions. DSC 2008, Monaco.
- Lewin, I. (1982). "Driver training: a perceptual-motor skill approach." Ergonomics **25**: 917-924.
- Loslever, P. (1988). Etude ergonomique du poste bureautique: Approche par les méthodes multidimensionnelles d'analyse des. Valenciennes, Université de Valenciennes.
- Loslever, P. (2001). "Obtaining information from time data statistical analysis in human component system studies.(I). Methods and performances." Information Sciences **132**(1-4): 133-156.
- Loslever, P., T. M. Guerra, et al. (1997). "L'étape de caractérisation pour l'analyse de données temporelles. 1. Principe et évaluation." APII-JESA **31**(2).
- Loslever, P., P. Simon, et al. (2008). "Using space windowing for a preliminary analysis of complex time data in human component system studies. Examples with eye-tracking in advertising and car/head movements in driving." Information Sciences **178**(19): 3645-3664.
- Loslever, P. (2009). "Using multiple correspondence analysis with memberships values when the systems study yields miscellaneous datasets". Cybernetics and systems: an international journal, **40**: 633-652.
- Mabunda, M. M., L.-A. Swart, et al. (2008). "Magnitude and categories of pedestrian fatalities in South Africa." Accident Analysis & Prevention **40**(2): 586-593.

-
- Malaterre, G. and H. Fontaine (1992). "Les aides à la conduite: quels enjeux pour la sécurité?" Recherche Transport Sécurité 35.
- Malaterre, G. and F. Saad (1986). "Les aides à la conduite: définition et évaluation. Exemple du radar anti-collision." Le travail humain 49(4): 333-346.
- MacPherson, S., L. Phillips, et al. (2002). "Age, executive function, and social decision making: A dorsolateral prefrontal theory of cognitive aging." Psychology and Aging 17(4): 598-609.
- Marsden, G., M. McDonald, et al. (2001). "Towards an understanding of adaptive cruise control." Transportation Research Part C: Emerging Technologies 9(1): 33-51.
- May, A. (1990). Traffic Flow Fundamentals, Prentice Hall.
- McDonald, M., M. Brackstone, et al. (1997). Close following on the motorway: initial findings of an instrumented vehicle study. 7th vision in vehicles Conference, Marseille, Elsevier.
- McKeever, B. (1998). Working Paper: Estimating the Potential Safety Benefits of Intelligent Transportation Systems, FHWA.
- McKnight, A. J. and A. S. McKnight (1999). "Multivariate analysis of age-related driver ability and performance deficits." Accident Analysis & Prevention 31(5): 445-454.
- Meshkati, N., P. Hancock, et al. (1990). Techniques in mental workload. J.R. Wilson & E.N. Corlett, Evaluation of human work. London, Taylor & Francis.
- Mesters, J. P. (2009). Excel 2007, fonctions et formules & VBA pour Excel 2007. Paris, Micro Application.
- Miles, D. E. and G. L. Johnson (2003). "Aggressive driving behaviors: are there psychological and attitudinal predictors?" Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour 6(2): 147-161.
- Miller, G. (1956). "The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity to process information." Psychological Review 63(2): 81-97.
- Millot, P. (1999). Systèmes homme-machine et automatique. Journées Doctorales d'Automatique, JDA.
- Mills, T. (1990). Time series techniques for economists, Cambridge University Press.
- Moessinger, M. and M. Kassaagi (2008). Rapport final de l'étude "Endurance". Nanterre, Laboratoire d'Accidentologie, de Biomécanique et d'étude du comportement humain.
- Monsell, S. (1996). Control of mental processes, Erlbaum and Taylor and Francis.
- Morineau, A. (1995). Aide-mémoire statistique. C. Editeur, CISIA.
- Neale, V. (2006). An Overview of the 100-car Naturalistic Study and Findings, National Highway Traffic Safety Administration.
- Neboit, M. (1978). L'exploration visuelle dans l'apprentissage de tâches complexes: l'exemple de la conduite automobile. Thèse de doctorat, Paris, Université René Descartes.
- Nilsson, L. (1995). Safety effects of Adaptive Cruise Control in critical traffic situations. World Congress on Intelligent Transport Systems, Yokohama.
- OECD (2003). Road safety: Impact of new technologies. Paris, Organisation for Economic Cooperation and Development.
-

- Ohno, H. (2001). "Analysis and modeling of human driving behaviors using adaptive cruise control." Applied Soft Computing **1**(3): 237-243.
- Otha, H. (1993). Individual differences in driving distance headway. Vision in Vehicles IV conference.
- Owsley, C., K. Ball, et al. (1991). "Visual/cognitive correlates of vehicle accidents in older drivers." Psychol Aging **6**(3): 403-15.
- Page, Y. and S. Cuny (2006). "Is electronic stability program effective on French roads?" Accident Analysis & Prevention **38**(2): 357-364.
- Papadelis, C., Z. Chen, et al. (2007). "Monitoring sleepiness with on-board electrophysiological recordings for preventing sleep-deprived traffic accidents." Clinical Neurophysiology **118**(9): 1906-1922.
- Pasanen, E. and H. Salmivaara (1993). "Driving speeds and pedestrian safety in the City of Helsinki." Traffic Engineering+ Control **34**(6): 308-10.
- Perron, T. (1997). Méthodologie d'analyse de sécurité primaire automobile pour la spécification fonctionnelle et l'évaluation prévisionnelle d'efficacité de systèmes d'évitement d'accidents, Thèse de doctorat, Ecole Centrale Paris.
- Petit, C., A. Clarion, et al. (2008). Evaluating the distractive power of secondary tasks while driving. HFES Europe, Soesterberg, Pays-Bas.
- Praamstra, F., P. Zaal, et al. (2008). Function of Attitude Perception in Human Control Behavior in Target Tracking Tasks. AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference, Honolulu, Hawaii.
- Rajalin, S., S. O. Hassel, et al. (1997). "Close-following drivers on two-lane highways." Accident Analysis & Prevention **29**(6): 723-729.
- Rakha, H., J. Hankey, et al. (2001). "Field evaluation of safety impacts of adaptive cruise control." Its Journal **6**(3): 225-259.
- Ramon, C., A. Clarion, et al. (2008). Mental load attached to the use of a cruise control system. International conference on psychophysiology in ergonomics, New-York.
- Ranney, T. (1999). "Psychological factors that influence car-following and car-following model development." Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour **2**(4): 213-219.
- Rasmussen, J. (1986). Information processing and human-machine interaction: An approach to cognitive engineering, Elsevier Science Inc. New York, NY, USA.
- Reason, J., J. Baxter, et al. (1990). "Errors and violations on the roads: a real distinction?" Ergonomics **33**: 1315-32.
- Reis, H. (2000). Handbook of research methods in social and personality psychology. Cambridge, Cambridge University Press.
- Renner, W. and F. Anderle (2000). "Venturesomeness and extraversion as correlates of juvenile drivers' traffic violations." Accident Analysis & Prevention **32**(5): 673-678.
- Ridley Stroop, J. (1935). "Studies of interference in serial verbal reactions." Journal of Experimental Psychology **18**: 643-662.

- Rock, P., M. Harris, et al. (2006). "A test of the tau-dot hypothesis of braking control in the real world." Journal of experimental psychology. Human perception and performance 32(6): 1479-1484.
- Roge, J., T. Pebayle, A. Muzet (2001). "Variations of the level of vigilance and of behavioural activities during simulated automobile driving." - Accident, analysis and prevention, 33(2):181-6
- Rosenberg, M. (1979). Conceiving the Self, Basic Books.
- Rudin-Brown, C. M. and H. A. Parker (2004). "Behavioural adaptation to adaptive cruise control (ACC): implications for preventive strategies." Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour 7(2): 59-76.
- Saad, F. (1992). In-depth analysis of interactions between drivers and the road environment: contribution of on-board observations and subsequent verbal report. Proceedings of the 4th Workshop of international cooperation on theories and concepts in traffic safety, University of Lund.
- Saad, F., M. Hjalmdahl, et al. (2004). AIDE-INRETS WP1_2_1 Literature review/ Analysis of behavioural changes induced by ADAS and IVIS.
- Saporta, G. (2006). Probabilités, analyse des données et statistique, Editions Technip.
- Schwebel, D., J. Severson, et al. (2006). "Individual difference factors in risky driving: The roles of anger/hostility, conscientiousness, and sensation-seeking." Accident Analysis and Prevention 38(4): 801-810.
- Sheskin, D. (2007). Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures, 4ième édition, CRC press.
- Sivak, M., P. Olson, et al. (1982). "Radar-measured reaction times of unalerted drivers to brake signals." Perceptual and Motor Skills 55: 594.
- Stanton, N., P. Salmon, et al. (2000). Human factors methods. A practical guide for engineering and design. Burlington, Ashgate Publishing.
- Stevens, S. (1974). Scaling: a sourcebook for behavioral scientists, Aldine Publishing Co., Chicago.
- Taubman-Ben-Ari, O., M. Mikulincer, et al. (2004). "The multidimensional driving style inventory--scale construct and validation." Accident Analysis & Prevention 36(3): 323-332.
- Todoskoff, A. (1999). Etude des évolutions temporelles du comportement du conducteur sur autoroute: Analyse multidimensionnelle de signaux relatifs au véhicule et aux mouvements de tête sur simulateur, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis.
- Tricot, N. (2005). Conception et évaluation de systèmes coopératifs avancés d'aide à la conduite automobile, Thèse de doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis.
- Tufte, E. (1983). Envisioning Information. Cheshire, Connecticut, Graphic press.
- Tufte, E. (1990). The visual display of visual information. Cheshire, Connecticut, Graphic Press.

- Van der Hulst, M. (1990). Adaptive control of safety margins in driving, Thèse de doctorat, Université of Groningen.
- van Winsum, W. (1999). "The human element in car following models." Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour 2(4): 207-211.
- van Winsum, W. and A. Heino (1996). "Choice of time-headway in car-following and the role of time-to-collision information in braking." Ergonomics 39(4): 579-592.
- Vermersch, P. (1994). L'entretien d'explicitation, ESF.
- Villame, T. and J. Theureau (2001). Contribution of a 'comprehensive analysis' of human cognitive activity to the Advanced Driving Assistance devices design. 8 th European Conference on Cognitive Sciences Approaches to Process Control.
- Vogel, K. (2002). "What characterizes a "free vehicle" in an urban area?" Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour 5(1): 15-29.
- Walliser, B. (1977). Systèmes et modèles. Introduction critique à l'analyse des systèmes. Paris, Seuil.
- Wasielewsky, P. (1984). "Speed as a measure of driver risk: Observed speeds versus driver and vehicle characteristics." Accident Analysis & Prevention 16: 89-103.
- Wechsler, D. (1944). "The Measurement of Adult Intelligence."
- Weinberger, M., H. Winner, et al. (2001). "Adaptive cruise control field operational test, the learning phase." JSAE Review 22(4): 487-494.
- Zuckerman, M. (1994). Behavioral expressions and biosocial bases of sensation-seeking. Cambridge, Cambridge University Press.

ANNEXES

1. LISTE DES PUBLICATIONS

1.1. *Conférences*

Dubart, D., Kassaagi, M., Moessinger, M. 2007. "ADAS design method based on real world driving", 20th Enhanced Safety of Vehicles, Lyon.

Dubart, D., Kassaagi, M., Popieul J-C, Moessinger, M. 2008. "Methodology to improve ADAS specification using normal driving data", FISITA, Munich.

Dubart, D., Loslever, P., Popieul, J.C., Moessinger, M., 2009. "Multifactor multivariate analysis of multidimensional signals coming from car following situations with different driver and environment characteristics", European Annual Conference on Human Decision-Making and Manual Control, Reims.

1.2. *Soumissions à des revues*

Dubart, D., Loslever, P., Popieul, J.C., Moessinger, M., "Exploratory analysis of two heterogeneous data sets in an accident potential situation. Example with psychological and behavioural data in car-following", Accident analysis and prevention

Loslever, P., Dubart, D., Moessinger, M, Popieul, J-C. "Using space windowing to get information from data sets containing both non-temporal and temporal data. Examples in human component system studies." Information Sciences

Reymond G., Dubart, D. "Personality and sensorimotor uncertainty in car braking behavior." Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance

2. EVALUATION PSYCHOLOGIQUE

Dans ce travail, l'un des objectifs est la mise en relation des données non-temporelles caractérisant le profil psychologique du conducteur et des données temporelles de conduite.

Dans la plupart des études menées en conduite automobile, les chercheurs se concentrent généralement sur une fonction psychologique particulière à mettre en relation avec la conduite. Par exemple, la recherche de sensations est souvent mise en relation avec la conduite risquée (Taubman-Ben-Ari, Mikulincer et al. 2004; Dahlen and White 2006). Une des originalités de cette étude est que pour évaluer les caractéristiques « intellectuelles, émotionnelles et de personnalité » des conducteurs, les volontaires de notre étude ont passé pendant près de 4h des tests et questionnaires standards dans le domaine de la psychologie. Ces tests ont eu lieu dans le mois qui précédait la phase de conduite.

Dans cette annexe, nous allons présenter brièvement les différentes notions qui ont été évaluées.

2.1. La cognition

Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés au niveau cognitif du conducteur. La cognition regroupe les divers processus mentaux allant de l'analyse perceptive de l'environnement à la commande motrice en passant par la mémorisation, le raisonnement, les émotions, le langage.... L'évaluation cognitive consiste donc à la mesure des capacités mentales d'un sujet à l'aide de tests spécifiques et normalisés conçus par les psychologues.

2.1.1. L'intelligence

Une composante importante de la cognition est l'intelligence. C'est cette notion qui est la plus longue à évaluer. En effet, la *WAIS-III* (ECPA, 1997, 1^{ière} Ed.) est une batterie de tests standardisée qui permet de mesurer le niveau d'intelligence au travers de 14 « subsets » et d'en tirer plusieurs scores en 1h30 de test environ. Dans cette étude, deux scores ont été retenus : le quotient intellectuel verbal et le quotient intellectuel de performance.

Le quotient intellectuel verbal est une mesure des connaissances acquises, du raisonnement verbal et de l'attention portée à du matériel verbal. Les items qui le composent sont présentés verbalement et le sujet doit fournir une réponse orale. Ce quotient verbal est calculé en additionnant les notes standardisées des 7 « subsets » caractérisant l'échelle verbale (voir Figure A1.1).

Le quotient intellectuel de performance est une mesure du raisonnement fluide, du traitement spatial, de l'attention aux détails et de l'intégration visuo-motrice. Les tâches qui le composent apparaissent relativement neuves aux sujets testés pour la première fois. Le QI de Performance se calcule en additionnant l'ensemble des notes standards obtenues aux 7 « subsets » de l'échelle de performance.

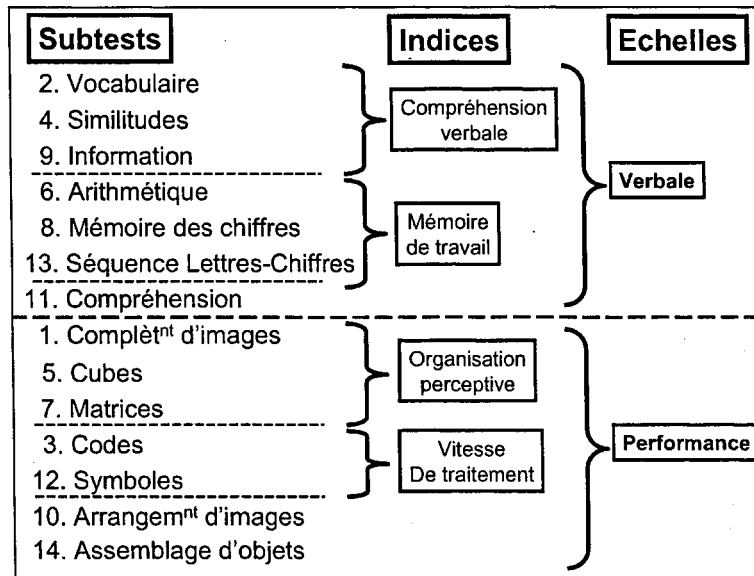


Figure A1.1. Répartition des différents subtests de la WAIS-III pour le calcul des indices et des échelles (le chiffre précédant l'intitulé d'un subtest fait référence à l'ordre de passation des différents subtests).

2.1.2. La flexibilité

La flexibilité concerne la capacité à alterner entre des tâches multiples, des opérations ou des ensembles mentaux. Le test « Plus minus task » consiste en 3 listes de 30 nombres à deux chiffres (ex : de 10 à 99) disposés de façon pseudo aléatoire en colonne sur une feuille de papier. Sur la première liste, le participant a pour consigne d'additionner 3 à chaque nombre et d'écrire la réponse. Sur la deuxième liste, le participant doit soustraire 3 à chaque nombre et inscrire la réponse. Finalement, sur la troisième liste, le sujet doit alterner entre additionner 3 et soustraire 3 à chaque nombre (+3 pour le 1er nombre, -3 pour le deuxième nombre,...). La consigne stipule que le sujet doit compléter chaque liste le plus rapidement possible, sans faire d'erreur et le temps de complétion de chaque liste est enregistré avec un chronomètre. Le coût de l'alternance est calculé en soustrayant du temps de complétion de la partie en alternance la moyenne du temps pour compléter des parties soustraction et addition. Ce temps résiduel (en ms) est la variable quantitative qui est retenue pour caractériser les capacités de flexibilité d'une personne.

2.1.3. L'inhibition

L'inhibition renvoie communément au processus de suppression délibérée des réponses dominantes, automatiques ou antérieures. Le test Stroop mesure la capacité à inhiber l'information non pertinente à la tâche. Dans la tâche de Stroop, adaptée pour une passation sur ordinateur, il est demandé aux participants de nommer à haute voix, aussi vite que possible, le nom de la couleur d'un stimulus dès qu'il apparaît sur l'écran. Le temps de réponse est mesuré avec la voix. La tâche inclut 30 essais avec une suite d'astérisque (condition neutre) écrit avec une des six couleurs (rouge, bleu, vert, jaune, orange, violet), 30 essais (condition incongruente) avec un mot désignant une couleur mais écrit dans une autre couleur (bleu écrit avec de l'encre rouge), et 30 essais (condition congruente) avec un mot de couleur écrit avec la même couleur (bleu écrit avec de l'encre bleu). Les différents essais sont

mélangés. Les participants reçoivent aussi 10 essais de calibration pour le microphone de réponse. La différence de temps de réponse (en ms) entre les essais de la condition incongruente et les essais de la condition neutre est la variable quantitative qui permet de mesurer l'inhibition.

2.1.4. La mise à jour

La mise à jour concerne la capacité à mettre à jour les informations maintenues en mémoire de travail. Cette capacité de mise à jour est mesurée grâce au test « letter memory task ». Dans cette tâche, des lettres sont présentées de façon sérielle pendant 2000 ms par lettre. La tâche consiste simplement à rappeler les quatre dernières lettres présentées dans la liste. Pour s'assurer que la tâche nécessite de continuellement mettre à jour, l'instruction requiert de la part du participant de répéter à voix haute les quatre dernières lettres en additionnant mentalement la lettre la plus récente et en y soustrayant la cinquième lettre et donc de donner les quatre bonnes lettres dans l'ordre. Par exemple, si les lettres suivantes sont présentées : « S, R, T, W, P, B, F » le participant doit dire, « S...SR...SRT...SRTW...RTWP...TWPB...WPBF » et ainsi rappeler finalement « TWPB ». Le nombre de lettres présentées varie aléatoirement (5, 7, 9, 11) entre les essais pour être sûr que le participant suive la stratégie donnée pendant l'instruction et mette à jour continuellement leur représentation en mémoire de travail jusqu'à la fin de chaque essai. Après un entraînement sur 2 essais avec 5 et 7 lettres, respectivement, le participant effectue 12 essais pour un total de 48 lettres rappelées. La variable dépendante correspond à la somme du nombre de bonnes réponses fournies pour chaque nouvelle mise à jour du sujet.

2.1.5. L'attention divisée

Le paradigme de tâche duelle mesure l'aptitude à diviser ses ressources attentionnelles entre 2 tâches. Dans ce test, le participant doit accomplir simultanément une tâche visuelle et une tâche auditive. Dans la tâche visuelle, un ensemble de croix apparaissent aléatoirement dans un cadre à 16 points. Le participant doit alors répondre dès qu'il identifie un carré formé de 4 croix contiguës. Dans la tâche auditive, des sons aigus et graves sont présentés pseudo-aléatoirement. Le sujet doit alors répondre dès qu'il détecte des irrégularités dans l'alternance de sons aigus et graves, en d'autres termes dès qu'il détecte 2 sons consécutifs identiques. Tout d'abord, le participant accomplit uniquement la tâche visuelle (condition simple). Puis, il accomplit uniquement la tâche auditive (condition simple). Enfin, il accomplit simultanément la tâche visuelle et la tâche auditive (condition double). La variable dépendante correspond à la différence de temps de réponse (en ms) entre les essais de la condition double et la moyenne des essais de la condition simple.

En résumé, le niveau de cognition des conducteurs est donc mesuré selon 5 dimensions : l'intelligence, la flexibilité, l'inhibition, l'attention divisée et la mise à jour. Le profil psychologique d'un conducteur peut également être caractérisé par sa personnalité.

2.2. La personnalité

La personnalité est l'ensemble des comportements qui constituent l'individualité d'une personne. Elle rend compte de ce qui qualifie l'individu : permanence et continuité des modes d'action et de réaction, originalité et spécificité de sa manière d'être. C'est le noyau relativement stable de l'individu au cours de sa vie.

2.2.1. Le névrosisme, l'extraversion et la conscience

L'inventaire NEO PI-R (Costa et McCrae, 1992) a été conçu pour analyser la personnalité. Cet inventaire est composé de 170 items permettant d'explorer trois dimensions de la personnalité (Névrosisme, Extraversion, Conscience). A chaque item, les volontaires doivent dire sur une échelle ordinale en 5 points ce qu'ils pensent de l'information entre « fortement en désaccord » et « fortement en accord ». Ainsi, les niveaux de névrosisme, d'extraversion et de conscience sont mesurés en additionnant les scores des différentes affirmations correspondant chaque dimension.

Les individus qui sont haut sur l'échelle de névrosisme, ont tendance à éprouver des émotions négatives comme la peur, la tristesse, la colère, la gêne, la culpabilité, le dégoût. Le névrosisme est souvent lié à l'anxiété et la dépression. Ce sont des personnes impulsives ayant des difficultés à gérer le stress. Les individus bas sur l'échelle de névrosisme sont en revanche stables sur le plan émotionnel. Ils sont généralement calmes, d'humeur égale, détendus, faisant face aux situations stressantes sans être inquiets ou ébranlés.

L'extraversion met en contraste le caractère expansif avec une nature réservée. Les extravertis sont des personnes sociables, actives physiquement comme verbalement, sûres d'elles, gaies, énergiques, aventureuses et optimistes. Les introvertis sont en revanche réservés, indépendants, constants et réguliers, timides pour exprimer qu'ils préfèrent être seuls.

L'individu consciencieux est réfléchi, scrupuleux, ponctuel, fiable, il a de la volonté et il est déterminé. Ceux qui ont des notes faibles à cette dimension ne manquent pas forcément de principes moraux mais ils les appliquent avec moins d'exactitude. Ils sont nonchalants et plus hédonistes.

2.2.2. L'estime de soi

L'estime de soi correspond au sentiment plus ou moins favorable que chaque individu éprouve à l'égard de lui-même, la considération et le respect qu'il se porte, le sentiment qu'il se fait de sa propre valeur en tant que personne.

Nous avons utilisé l'échelle de l'estime de soi de Rosenberg (1965, RSE). Cette échelle comprend 10 énoncés mesurés sur une échelle de 1 à 4 (de tout à fait en désaccord à tout à fait en accord). Cette échelle contient autant d'affirmations positives (dans l'ensemble, je me sens satisfait de moi) que négatives (parfois, je me sens inutile). Les scores vont de 10 (estime de soi faible) à 40 (estime de soi élevée).

2.2.3. L'attribution causale: « Locus of control »

« Le locus of control » peut être défini comme un attribut de la personnalité reflétant le degré avec lequel une personne perçoit les événements comme étant sous son contrôle (lieu du contrôle interne), ou sous le contrôle d'autrui ou de forces extérieures (lieu du contrôle externe). Le T-LOC est une échelle de 16 items permettant de mesurer les styles d'attribution interne et externe dans le cadre de la conduite automobile. Cinq items concernent l'attribution interne et 11 items évaluent le mode d'attribution externe (3 pour le véhicule et l'environnement, 6 pour les autres conducteurs et 2 pour le destin). Dans cette échelle, les participants se voient donner une liste de causes possibles d'accidents. Ils doivent indiquer, sur une échelle de Lickert en 5 points (de « tout à fait improbable » à « fortement probable »),

la probabilité que ces 16 situations causent ou pourraient causer un accident lorsqu'ils pensent à leur propre style de conduite.

2.2.4. Recherche de sensations

La recherche de sensations est vue comme « un trait de personnalité caractérisé par le besoin d'expériences et de sensations variées, nouvelles et complexes et la volonté de s'engager dans des activités physiques et sociales risquées, expériences recherchées pour elles-mêmes ». L'échelle de recherche de sensations repose sur 40 questions qui permettent de mesurer :

- la recherche de danger/aventure (attire pour les sports et les conduites à risques, impliquant vitesse et danger),
- la recherche d'expérience (attire pour des activités intellectuelles ou sensorielles),
- la désinhibition (attire pour la boisson, l'alcool, les excès sexuels),
- la susceptibilité à l'ennui.

Pour chacune des questions proposées sous forme de choix entre deux propositions, les participants doivent se positionner en indiquant celle qui leur convient le mieux. Le niveau de recherche de sensations se situe entre 0 et 40 en fonction du nombre de fois que le volontaire a choisi l'affirmation qui semble la plus « risquée ».

2.2.5. Stratégies d'adaptation : « Coping »

Le CISS est un questionnaire constitué de 48 items utilisé pour accéder aux styles généraux de réaction aux situations stressantes (Coping). Les participants doivent dire de quelle façon ils sont engagés dans diverses activités sur une échelle de Lickert à 5 points allant de « pas du tout » à « beaucoup ». Cette mesure permet d'accéder à trois styles de coping : le coping centré sur l'émotion (ex : me mettre en colère), le coping centré sur la tâche (ex : mieux organiser le temps dont je dispose) et le coping centré sur l'évitement (ex : voir un film).

Comme nous pouvons le voir, le profil psychologique d'un conducteur est multidimensionnel. La série de tests effectuée pour les I=123 individus peut se traduire par un tableau à R=I=123 lignes et C=23 colonnes composées principalement d'échelles quantitatives (temps de réaction pour l'inhibition ou la flexibilité, note entre 10 et 40 pour l'estime de soi...). Il est donc intéressant de réaliser une analyse multivariée pour mettre en avant l'influence des différentes dimensions psychologique du conducteur.

2.3. Tests et questionnaires

Seuls les tests et questionnaires réalisés sur papier sont présentés ici. Les autres ont été réalisés sur ordinateur ou à l'aide d'objets.

2.3.1. Questionnaire conducteur

Participant :

Date :

Habitation	Vill e		campagne	
------------	-----------	--	----------	--

Comparativement à une personne du même âge que vous, vous estimez que votre capacité à conduire est	Moins bonne	Aussi bonne	Meilleure
---	----------------	----------------	-----------

Comparativement à une personne d'âge moyen (40 ans), vous estimez que votre capacité à conduire est :	Moins bonne	Aussi bonne	meilleure
---	----------------	----------------	-----------

Combien de kilomètres conduisez-vous dans une semaine normale :

Combien de kilomètres avez-vous conduit sur les douze derniers mois :

Est-ce que vous rouliez autant que les années précédentes :

Oui / Non, moins / Non, plus

Si non pourquoi :

Distance de conduite

Jours ouvrables :

Loisirs :

Vacances :

Week-end :

Travail :

Courses :

Autres :

Vous arrive t'il de réduire (ou abandonner) la conduite dans les situations de conduites suivantes :

situation	jamais	rarement	parfois	souven	toujour	Pourquoi
-----------	--------	----------	---------	--------	---------	----------

s				t	s	?
Lorsque le temps est mauvais						
La nuit						
Lorsque vous êtes seul(e)						
Lors des heures de pointes						
Sur les routes très fréquentées						
Les autoroutes						
Les routes non familières						
Franchir des carrefours non protégés						
Les ronds points						

Quel est pour vous le niveau de stress associé à chacune des situations :

situations	aucun	bas	moyen	élevé	maximum
Lorsque le temps est mauvais					
La nuit					
Lorsque vous êtes seul(e)					
Lors des heures de pointes					
Sur les routes très fréquentées					

Les autoroutes					
Les routes non familières					
Franchir des carrefours non protégés					
Sur les ronds points					

A quelle vitesse roulez-vous habituellement ?

Autoroutes :

Nationale :

Ville :

Fréquence de conduite sur autoroutes : Rarement ou jamais / De temps en temps / Régulièrement

Fréquence de conduite en ville : Rarement ou jamais / De temps en temps / Régulièrement

Fréquence de conduite à la campagne : Rarement ou jamais / De temps en temps / Régulièrement

Avez-vous changé vos habitudes de conduite au fil du temps ?

Distance : Identique / Augmentée / Diminuée

Fréquence des déplacements : Identique / Augmentée / Diminuée

Vitesse : Identique / Augmentée / Diminuée

Interdistance : Identique / Augmentée / Diminuée

Au cours des 3 dernières années,

Nombre d'accidents avec blessé où vous étiez responsable :

Nombre d'accidents matériels où vous étiez responsable :

Nombre d'accidents avec blessé où vous n'étiez pas responsable :

Nombre d'accidents matériels où vous n'étiez pas responsable :

Combien de situations qui auraient pu déboucher sur un accident avez-vous eu au cours des 3 derniers mois :

Dans quelle(s) situation(s) ?

A combien estimez vous vos risques d'avoir un accident comparativement à un conducteur de 20 à 35 ans ?

Beaucoup moins / Moins / Pareil / Plus / Beaucoup plus

A combien estimez vous vos risques d'avoir un accident comparativement à un conducteur de 40 à 55 ans ?

Beaucoup moins / Moins / Pareil / Plus / Beaucoup plus

A combien estimez vous vos risques d'avoir un accident comparativement à un conducteur de 60 à 80 ans ?

Beaucoup moins / Moins / Pareil / Plus / Beaucoup plus

Placer une croix pour départager ce qu'est pour vous une bonne conduite

Capacité / Habileté _____ Respect des règles

Quels types de voitures avez-vous conduit régulièrement sur les 5 dernières années ?
Motorisation ?

Quel type de conduite adoptez-vous habituellement ? (Plusieurs choix possible)

Plutôt rapide

Plutôt nerveuse

Plutôt souple

Plutôt lente

Quels sont vos critères de choix pour l'achat d'un véhicule ? (Plusieurs choix possible)

Puissance

Confort

Esthétique

Prix

Consommation

Taille

Sécurité

Autres

Quelles sont les principales raisons qui vous ont poussé à participer à l'étude ?

2.3.2. *Plus minus task*

Dans ce test, il vous est demandé d'additionner 3 (+3) à chaque nombre du tableau ci-dessous et d'écrire la réponse dans la case à côté de celui-ci. Vous devez être le plus rapide possible et ne pas faire d'erreur.

54	
75	
41	
34	
42	
89	
95	
81	
96	
72	
98	
83	
59	
17	
60	
37	
86	
91	
43	
80	
13	
19	
82	
15	
20	
48	
46	
24	
65	
33	

Vous devez soustraire 3 (-3) à chaque nombre du tableau et écrire la réponse dans la case réservée à côté de celui-ci. Vous devez être le plus rapide possible sans faire d'erreur.

62	
31	
94	
29	
40	
57	
69	
80	
14	
38	
71	
10	
48	
39	
93	
28	
47	
61	
53	
97	
64	
49	
18	
25	
11	
90	
73	
88	
70	
58	

Enfin, pour ce test, il vous est demandé d'additionner et de soustraire alternativement 3 (+ 3/ -3/ +3/ -3 etc.) en écrivant la réponse dans la case réservée. Vous devez être le plus rapide possible sans faire d'erreur.

66	
30	
12	
78	
44	
50	
79	
35	
23	
27	
16	
67	
45	
74	
36	
52	
87	
51	
22	
77	
63	
32	
26	
44	
85	
92	
21	
76	
99	
56	

2.3.3. *Neo Pi-R***NEO PI-R™****Inventaire de Personnalité-Révisé****Cahier de passation**

Paul T. Costa, Jr., Ph.D. et Robert R. McCrae, Ph.D.

Traduction française par Jean-Pierre Rolland & Jean-Michel Petot, Docteurs en psychologie - Université de Paris X-Nanterre

INSTRUCTIONS POUR UTILISER LA FEUILLE DE RÉPONSES

Lisez soigneusement ces instructions avant de commencer. Insérez vos réponses sur la Feuille de réponses. N'écrivez rien sur ce cahier.

Écrivez sur la Feuille de réponses ci-jointe vos nom et prénom dans l'emplacement prévu à cet effet. Indiquez votre sexe. Indiquez la date et votre numéro d'identification si on vous en a attribué un. Enfin, indiquez votre profession, votre niveau d'études et votre âge.

Ce questionnaire contient 240 affirmations. Lisez chacune d'elles soigneusement. Pour chaque affirmation, entourez, sur la Feuille de réponses, la lettre qui correspond le mieux à votre opinion. Assurez-vous que le numéro de la case où vous écrivez votre réponse correspond bien au numéro de la question.

Entourez les lettres FD (Fortement en désaccord) si l'affirmation est tout à fait fausse ou si vous êtes fortement en désaccord.

FD D N A FA

Entourez la lettre D (Désaccord) si l'affirmation est plutôt fausse ou si vous n'êtes pas d'accord.

FD, D N A FA

Entourez la lettre N (Neutre) si l'affirmation est à peu près également vraie ou fausse ou si vous n'arrivez pas à choisir ou si vous n'avez pas d'opinion par rapport à cette affirmation.

FD D N A FA

Entourez la lettre A (Accord) si l'affirmation est plutôt vraie ou si vous êtes d'accord.

FD D N A FA

Entourez les lettres FA (Fortement d'accord) si l'affirmation est tout à fait vraie ou si vous êtes fortement d'accord.

FD D N A FA

Il n'y a pas de «bonnes» ou de «mauvaises» réponses et vous n'avez pas besoin d'avoir une compétence particulière pour remplir ce questionnaire. Le but de ce questionnaire sera atteint si vous vous décrivez vous-même et si vous exprimez vos opinions aussi exactement que possible.

Remarquez que les questions sont numérotées de haut en bas dans chaque colonne de la Feuille de réponses. Répondez à chaque question et assurez-vous que vous avez bien indiqué votre réponse à l'emplacement approprié. Si vous vous êtes trompé ou si vous changez d'avis, N'EFFACEZ PAS. Faites un X sur la réponse incorrecte et encerclez ensuite la réponse correcte. Quand vous aurez répondu aux 240 questions, répondez aux trois questions A, B et C en bas de la Feuille de réponses.

1. Je ne suis pas du genre à me faire du souci.
2. J'aime vraiment bien la plupart des gens que je rencontre.
- ~~3. J'ai une imagination très active.~~
- ~~4. Les gens ont tendance à être cyniques, sceptiques et à se méfier de ce qui concerne les autres.~~
5. Je suis réputé(e) pour ma prudence et mon bon sens.
6. Je me mets souvent en colère à cause de la manière dont les gens me traitent.
7. J'essaie d'éviter les foules.
- ~~8. Les préoccupations esthétiques ou artistiques ne sont pas très importantes pour moi.~~
- ~~9. Je ne suis ni vaniteux(e), ni soumissionnaire.~~
10. Je préfère me garder des possibilités de choix plutôt que tout planifier à l'avance.
11. Il est rare que je me sente trop seul(e) et cafardeux(se).
12. Je suis autoritaire, énergique et je n'hésite pas à m'affirmer.
- ~~13. Sans être trop fier(e), je ne suis pas sans intérêt pour moi.~~
- ~~14. Certains trouvent que je suis égoïste et que je ne pense qu'à moi.~~
15. J'essaie d'accomplir consciencieusement toutes les tâches qui me sont confiées.
16. Quand j'ai affaire à d'autres personnes, je redoute toujours de faire une gaffe.
17. Dans le travail et dans les loisirs, je prends tout mon temps.
- ~~18. Je suis bien installé(e) dans mes habitudes.~~
19. Je préférerais coopérer avec les autres plutôt que me mettre en compétition avec eux.
20. Je suis nonchalant(e) et pas très ambitieux(se).
21. Je fais rarement des excès en quoi que ce soit.
22. J'ai souvent une forte envie de quelque chose qui romprait la monotonie.
- ~~23. Je prends souvent plaisir à jouer avec des théories ou des idées abstraites.~~
- ~~24. Je n'ai pas le genre pas du tout vaniteux de mes talents et de ce que j'ai réalisé.~~
25. J'arrive assez bien à m'organiser pour faire les choses à temps.
26. Je me sens souvent désespéré(e) et je voudrais que quelqu'un d'autre résolve mes problèmes.
27. Je n'ai jamais sauté de joie au sens littéral du terme.
- ~~28. Je crois que laisser les étudiants choisir des matières complémentaires ne peut que les démotiver.~~
- ~~29. Les dirigeants politiques doivent être plus attentifs à l'aspect humain de leur politique.~~
30. Au fil des années, j'ai fait un certain nombre de choses plutôt stupides.
31. Il est facile de me faire peur.
32. Je n'ai pas beaucoup de plaisir à bavarder avec les gens.

- ~~J'essaie de maintenir toutes mes pensées dans une direction réaliste plutôt que dans les sentiers de l'imagination.~~
- ~~Je crois que la plupart des gens sont fondamentalement honnêtes et sincères.~~
35. Je ne prends pas les devoirs civiques, comme le vote, très au sérieux.
36. Je suis une personne d'humeur égale.
37. J'aime avoir beaucoup de gens autour de moi.
- ~~Il m'arrive quelquefois de m'absorber complètement dans la musique que j'écoute.~~
- ~~Si c'est nécessaire, je suis capable de manipuler les gens pour obtenir ce que je veux.~~
40. Je maintiens mes affaires nettes et propres.
41. Quelquefois, je me sens complètement sans valeur.
42. Je ne m'affirme pas toujours autant que je devrais.
- ~~Je prouve rarement des émotions fortes.~~
- ~~J'essaie d'être polite avec chaque personne que je rencontre.~~
45. Il m'arrive parfois de ne pas tenir mes engagements ou de ne pas assumer mes responsabilités comme je le devrais.
46. Je me sens rarement mal à l'aise quand je suis avec des gens.
47. Quand je fais quelque chose, je le fais avec énergie.
- ~~Je pense qu'il est intéressant d'apprendre de nouvelles méthodes de travail et de nouvelles techniques.~~
49. Je peux être sarcastique et cassant(e) si besoin est.
50. J'ai un ensemble bien défini d'objectifs et je travaille pour les atteindre de façon ordonnée.
51. J'ai du mal à résister à mes désirs.
52. Je n'aimerais pas passer mes vacances à Las Vegas.
- ~~Je suis favorable aux discussions philosophiques et à la poésie.~~
- ~~Je préfère ne pas parler de moi-même ou de ce que j'ai accompli.~~
55. Je perds beaucoup de temps avant de me mettre au travail.
56. Je me sens capable de faire face à la plupart de mes problèmes.
57. J'ai quelquefois éprouvé une joie intense ou de l'extase.
- ~~Je crois que les lois et les politiques sociales devraient changer pour refléter le monde tel qu'il est.~~
- ~~Je suis ferme d'avis et ne suis pas facilement ébranlé dans mes opinions.~~
60. J'examine les choses en détail avant d'arriver à une décision.
61. Il est rare que je me sente craintif(ve) ou anxieux(se).
62. J'ai la réputation d'être une personne chaleureuse et amicale.
- ~~J'ai une vie imaginaire riche.~~
- ~~Je crois que la plupart des gens sont prêts à vous si vous leur laissez l'occasion.~~

65. Je me tiens au courant et je prends habituellement des décisions intelligentes.
66. J'ai la réputation d'avoir le sang chaud et de me mettre facilement en colère.
67. Je préfère habituellement faire les choses seul(e).
- ~~68. Je suis un(e) des personnes de ballet ou de danse moderne.~~
- ~~69. Je n'aurais jamais trompé personne, même si je le voulais.~~
70. Je ne suis pas quelqu'un de très méthodique.
71. Je suis rarement triste ou déprimé(e).
72. J'ai souvent dirigé les groupes auxquels j'ai appartenu.
- ~~73. La manière dont j'exécute les choses est importante pour moi.~~
- ~~74. Certains me trouvent froid(e) et calculateur(trice).~~
75. Je paie mes dettes rapidement et dans leur totalité.
76. Certaines fois, j'ai eu tellement honte que j'aurais voulu me cacher.
77. J'ai tendance à travailler lentement mais sûrement.
- ~~78. Il me arrive que j'ai trouvé la bonne manière de faire quelque chose, je m'y tiens.~~
79. J'hésite à exprimer ma colère, même quand elle est justifiée.
80. Quand je commence un programme d'amélioration personnelle (par exemple : faire de la gymnastique, faire un régime, ou suivre une série de cours, etc.), j'abandonne habituellement au bout de quelques jours.
81. J'ai peu de difficulté à résister à la tentation.
82. Il m'est arrivé de faire des choses rien que pour l'excitation ou le frisson.
- ~~83. Je prends plaisir à résoudre des problèmes ou des énigmes.~~
- ~~84. Je suis meilleur(e) que la plupart des gens en ce qui concerne~~
85. Je suis quelqu'un d'efficace qui vient toujours à bout du travail.
86. Quand je suis sous la pression de situations trop difficiles, j'ai quelquefois l'impression que je vais m'effondrer.
87. Je ne suis pas un(e) optimiste souriant(e).
- ~~88. Je crois que nous devons nous tenir à nos principes religieux pendant les décisions concernant les questions morales.~~
- ~~89. On m'en fait jamais trop pour les paroles et les personnes âgées.~~
90. Il m'arrive à l'occasion d'agir d'abord et de réfléchir ensuite.
91. Je me sens souvent tendu(e) et nerveux(se).
92. Beaucoup de gens me trouvent assez froid(e) et distant(e).
- ~~93. Je suis pas particulièrement compétent(e).~~
- ~~94. Je pense que la plupart des gens auxquels j'ai affaire sont beaucoup plus compétents que moi.~~
95. Je me mets souvent dans des situations sans y être complètement préparé(e).
96. On ne me considère pas comme une personne susceptible et ombrageuse.

97. J'ai vraiment besoin des autres si je reste longtemps seul(e).
~~J'ai souvent du mal à passer les journées et les nuits que j'ai trouvées dans l'air et dans la solitude.~~
~~Je suis souvent très inquiet et très nerveux quand je suis seul(e).~~
100. J'aime bien garder chaque chose à sa place, comme cela je sais exactement où elle est.
101. J'ai quelquefois éprouvé un sentiment profond de culpabilité ou de péché.
102. Dans les réunions, je laisse d'habitude les autres parler.
~~Il m'arrive que j'essaie de ne pas participer à mes réunions et moments.~~
~~Je suis en général très attentif et très prévenant.~~
105. Il m'arrive de tricher quand je joue seul(e) (par exemple : quand je joue au solitaire, quand je fais des réussites, etc.).
106. Ça ne me gêne pas trop si les gens se moquent de moi ou me taquinent.
107. J'ai souvent le sentiment de déborder d'énergie.
~~Je suis souvent des plats nouveaux et exotiques.~~
109. Si je n'aime pas les gens, je le leur fais savoir.
110. Je travaille dur pour atteindre mes objectifs.
111. Quand je suis devant mes plats favoris, j'ai tendance à trop manger.
112. J'ai tendance à éviter les films choquants ou effrayants.
~~Je perds quelquefois tout intérêt quand les gens parlent de sujets très sérieux et importants.~~
~~Je sais très bien être modeste.~~
115. J'ai du mal à me forcer à faire ce que je devrais.
116. Je garde la tête froide dans les situations d'urgence.
117. Quelquefois, je déborde de bonheur.
~~Je suis sûr que les idées différentes du bon (bien, beau, vrai) et du mauvais (mal, laid, faux) que les gens ont dans d'autres sociétés peuvent être valables pour eux.~~
~~Je n'ai aucune sympathie pour les mendicants.~~
120. Avant d'agir, je réfléchis toujours aux conséquences de mon action.
121. Je ressens rarement de l'appréhension au sujet de l'avenir.
122. Je prends réellement plaisir à parler avec les gens.
~~Je prends plaisir à me rencontrer en une très grande foule et à explorer toutes ses possibilités en les utilisant pour me développer.~~
~~Je suis méfiant et quand quelqu'un dit quelque chose de gentil pour moi.~~
125. Je suis fier(e) de la sûreté de mon jugement.
126. J'en arrive souvent à être dégoûté(e) par les gens auxquels je dois avoir affaire.
127. Je préfère un travail qui me permet de travailler seul(e) sans être embêté(e) par les autres.

- ~~128. La poésie n'a pas un grand effet sur moi.~~
- ~~129. Je détesterais qu'on me prenne pour un(e) idiot(e).~~
130. Il me semble que je ne serai jamais capable de m'organiser.
131. J'ai tendance à me faire des reproches quand quelque chose va de travers.
132. Les autres se tournent souvent vers moi pour prendre des décisions.
- ~~133. J'apprécie une grande variété d'amateurs qui s'entraînent.~~
- ~~134. Je n'ai pas de réputation de quelqu'un de sérieux.~~
135. Quand je prends un engagement, on peut toujours compter sur moi pour aller jusqu'au bout.
136. Je me sens souvent inférieur(e) aux autres.
137. Je ne suis pas aussi rapide et dynamique que les autres.
- ~~138. Je préfère passer mon temps dans un entourage familial.~~
139. Quand on m'a insulté(e), j'essaie simplement de pardonner et d'oublier.
140. Je ne ressens pas un besoin intense de promotion.
141. Je m'abandonne rarement à mes impulsions.
142. J'aime bien être là où il y a de l'action.
- ~~143. Je prends plaisir à travailler sur des exigences du genre « ce sera plus ou moins célébré ».~~
- ~~144. J'ai une très haute opinion de moi-même.~~
145. Une fois que je démarre un projet, je le termine presque toujours.
146. Il est souvent difficile pour moi de prendre une décision.
147. Je ne me trouve pas particulièrement insouciant(e) et gai(e).
- ~~148. Je suis plus fidèle à mes propres idées et principes, et plus important(e) que « l'opinion des autres ».~~
- ~~149. J'ai besoin humain d'avoir toujours raison la priorité sur les considérations économicques.~~
150. Je fais souvent des choses sur l'impulsion du moment.
151. Je me fais souvent du souci à propos de choses qui pourraient mal tourner.
152. Je trouve facile de sourire et d'être agréable avec des inconnus.
- ~~153. Je suis sûr que mon esprit continuera à dériver vers des choses, par l'habitude de :~~
~~« l'inspiration » et de me faire à mes côtés sur un travail ou une action.~~
- ~~154. Ma première réaction est de faire confiance aux gens.~~
155. Je n'ai pas l'impression de réussir complètement en quoi que ce soit.
156. Il en faut beaucoup pour me rendre furieux(se).
157. Je préférerais des vacances sur une plage à la mode plutôt que dans une cabane isolée dans les bois.
- ~~158. Certains genres de musique exercent sur moi une fascination sans fin.~~
- ~~159. Parfois, j'utilise la musique pour amener les gens à faire ce que je veux.~~

160. J'ai tendance à être quelque peu méticuleux(se) et exigeant(e).
161. J'ai une mauvaise opinion de moi-même.
162. Je préfère suivre mon propre chemin plutôt que diriger les autres.
- ~~163. Je remarque rarement les changements d'humeur ou les sentiments que provoquent des environnements différents.~~
- ~~164. La plupart des gens que je connais m'ennuient.~~
165. J'ai des principes moraux et j'y adhère strictement.
166. Je me sens à l'aise en présence de mes patrons ou d'autres autorités.
167. J'ai habituellement l'impression d'être pressé(e).
- ~~168. Je fais parfois des changements dans la maison, juste pour essayer quelque chose de différent.~~
169. Si quelqu'un provoque une bagarre, je suis prêt(e) à riposter.
170. Je m'efforce de réussir tout ce que je peux.
171. Je mange quelquefois à m'en rendre malade.
172. J'adore le frisson qu'on ressent sur les montagnes russes.
- ~~173. J'ai peu d'intérêt pour la réflexion sur la nature de l'univers ou sur la condition humaine.~~
- ~~174. Je n'ai pas l'impression d'être meilleur(e) que les autres, quelle que soit leur situation.~~
175. Quand un projet devient trop difficile, j'ai tendance à en démarrer un autre.
176. Je me débrouille assez bien dans une situation de crise.
177. Je suis une personne joyeuse et pleine de bonne humeur.
- ~~178. Je me trouve large d'esprit et tolérant(e) pour les façons de vivre des autres.~~
- ~~179. Je crois que tous les êtres humains sont dignes de respect.~~
180. Il est rare que je prenne des décisions hâtives.
181. J'ai moins de peurs que la plupart des gens.
182. J'ai des liens affectifs forts avec mes amis.
- ~~183. Quand j'étais enfant, il était rare que je prenne plaisir à jouer à faire semblant.~~
- ~~184. J'ai tendance à supposer le meilleur chez les gens.~~
185. Je suis quelqu'un de très compétent.
186. Il m'est parfois arrivé d'être amer(ère) et plein(e) de ressentiment.
187. Habituellement, les réunions qui rassemblent un grand nombre de personnes m'ennuient.
- ~~188. Quelquefois, quand je lis de la poésie ou quand je regarde une œuvre d'art, je ressens un frisson ou j'ai la chair de poules.~~
- ~~189. Il m'arrive de faire faire aux gens ce que je veux ou les manipuler ou en les flattant.~~
190. Je ne suis pas un(e) maniaque du nettoyage.
191. Quelquefois, les choses me semblent plutôt mornes et sans espoir.

192. Dans les conversations, j'ai tendance à parler plus que les autres.
- ~~Je trouve facile d'avoir de l'empathie, c'est à dire de ressentir moi-même ce que les autres ressentent.~~
- ~~Je me considère comme une personne aimable.~~
195. Ce que je fais, j'essaie de le faire soigneusement, comme ça il n'y a pas à le refaire.
196. Si j'ai dit ou fait quelque chose de mal à quelqu'un, je peux à peine supporter de le regarder en face à nouveau.
197. Mon rythme de vie est rapide.
- ~~En vacances je préfère aller dans un endroit que je connais bien plutôt que d'aller dans un nouvel endroit.~~
199. Je suis dur(e) et inflexible.
200. Je m'efforce à l'excellence dans tout ce que je fais.
201. Quelquefois, je fais sur une impulsion des choses que je regrette par la suite.
202. Je suis attiré(e) par les couleurs vives et les styles voyants.
- ~~J'ai beaucoup de curiosité intellectuelle.~~
- ~~J'aime moins faire l'éloge des autres, plus j'en fais, plus je vois moi-même les défauts.~~
205. Il y a tant de petits travaux qu'il faudrait faire que parfois, tout simplement, je les ignore tous.
206. Quand tout a l'air d'aller de travers, je reste capable de prendre les bonnes décisions.
207. J'emploie rarement des mots tels que «fantastiques» ou «sensationnel» pour décrire ce qui m'est arrivé.
- ~~Je pense que si les gens ne savent pas à quoi je pense, quand ils sont dans un lieu, ils ne savent pas à quoi ils sont dans ce lieu.~~
- ~~Je suis la récompense pour ceux qui ont eu de la chance que moi.~~
210. Quand je pars en voyage, je prépare à l'avance un programme minutieux.
211. Des pensées effrayantes s'introduisent quelquefois dans ma tête.
212. Je m'intéresse vraiment aux gens avec lesquels je travaille.
- ~~J'aime travailler à l'aise, simplement, sans avoir à jongler avec l'abandon sans contrôle ni direction.~~
- ~~J'ai une grande confiance dans la nature humaine.~~
215. Je suis efficace et productif(ve) dans mon travail.
216. Pour moi, même des petites contrariétés peuvent être irritantes.
217. J'aime les «fêtes» avec plein de gens.
- ~~J'aime lire de bons livres, j'aime aussi les vêtements et les images plus que les autres vêtements et images.~~
- ~~Je suis très fier de moi-même.~~
- ~~Je suis très fier de moi-même.~~
220. Je passe beaucoup de temps à chercher des choses que j'ai mal rangées.
221. Trop souvent, quand les choses vont mal, je me décourage et j'ai envie d'abandonner.

222. Je ne trouve pas facile de prendre une situation en main.
~~223. Des choses étranges, comme certains problèmes de santé, peuvent provoquer en moi des émotions puissantes.~~
- ~~224. Si je puis, je fais un effort pour aider les autres.~~
225. Il faudrait réellement que je sois malade pour manquer une journée de travail.
226. Quand des gens que je connais font des choses idiotes, j'en suis gêné(e) pour eux.
227. Je suis une personne très active.
- ~~228. Je prends toujours le même chemin quand je vais quelque part.~~
229. Je m'engage souvent dans des disputes avec ma famille ou mes collègues de travail.
230. Je consacre trop de temps au travail en négligeant la famille, les amis et les loisirs.
231. Je suis toujours capable de garder le contrôle de mes sentiments.
232. J'aime bien faire partie de la foule dans les manifestations sportives.
- ~~233. J'ai une grande variété d'intérêts intellectuels.~~
- ~~234. Je suis quelqu'un de sûr de soi.~~
235. J'ai beaucoup d'autodiscipline.
236. Je suis assez stable émotionnellement.
237. Je ris facilement.
- ~~238. Je crois que la "nouvelle morale" a beaucoup de permissivité et n'est pas du tout morale.~~
- ~~239. Je préfère avoir la réputation de pardonner plutôt que celle d'être juste.~~
240. Avant de répondre à une question, j'y réfléchis à deux fois.

2.3.4. Echelle de Rotter (locus of control)

La liste ci-dessous énumère seize causes possibles d'accident de voiture. En prenant en compte votre style de conduite et les conditions de la route, veuillez y indiquer la probabilité selon vous qu'un accident ait été ou sera causé pour ces raisons.

		tout à fait improbable		ni probable ni improbable		fortement probable
1.	Le fait que je sois impliqué(e) ou non dans un accident de la route dépend principalement de mes lacunes en matière de conduite	1	2	3	4	5
2.	Le fait que je sois impliqué(e) ou non dans un accident de la route dépend principalement de ma prise de risque pendant que je conduis	1	2	3	4	5
3.	Le fait que je sois impliqué(e) ou non dans un accident de la route dépend principalement des lacunes des autres conducteurs en matière de conduite	1	2	3	4	5
4.	Le fait que je sois impliqué(e) ou non dans un accident de la route dépend principalement de la prise de risque des autres conducteurs pendant qu'ils conduisent	1	2	3	4	5
5.	Le fait que je sois impliqué(e) ou non dans un accident de la route est surtout une question de malchance	1	2	3	4	5
6.	Le fait que je sois impliqué(e) ou non dans un accident de la route dépend principalement du caractère dangereux de la route	1	2	3	4	5
7.	Le fait que je sois impliqué(e) ou non dans un accident de la route est surtout lié à la fréquence de mes excès de vitesse	1	2	3	4	5
8.	Le fait que je sois impliqué(e) ou non dans un accident de la route est surtout lié à la fréquence des excès de vitesse des autres conducteurs	1	2	3	4	5
9.	Le fait que je sois impliqué(e) ou non dans un accident de la route dépend principalement du fait que je ne respecte pas la distance de sécurité	1	2	3	4	5
10.	Le fait que je sois impliqué(e) ou non dans un accident de la route dépend principalement du fait que les autres conducteurs ne respectent pas la distance de sécurité	1	2	3	4	5
11.	Le fait que je sois impliqué(e) ou non dans un accident de la route est principalement lié au destin	1	2	3	4	5
12.	Le fait que je sois impliqué(e) ou non dans un accident de la route dépend principalement des mauvaises	1	2	3	4	5

	conditions météorologiques ou d'éclairage					
13.	Le fait que je sois impliqué(e) ou non dans un accident de la route dépend principalement d'une défaillance mécanique	1	2	3	4	5
14.	Le fait que je sois impliqué(e) ou non dans un accident de la route dépend principalement du fait que les autres conducteurs conduisent sous l'effet de l'alcool	1	2	3	4	5
15.	Le fait que je sois impliqué(e) ou non dans un accident de la route dépend principalement des dépassements dangereux effectués par les autres conducteurs	1	2	3	4	5
16.	Le fait que je sois impliqué(e) ou non dans un accident de la route dépend principalement de mes dépassements dangereux	1	2	3	4	5

2.3.5. Questionnaire de recherche de sensations

Ceci est une échelle exprimant divers goûts et envies. Pour chaque item, il vous est demandé de choisir **soit A, soit B** selon vos préférences ou vos sentiments.

Dans certains cas, les deux propositions correspondent à vos goûts ; dans ce cas, choisissez celle que vous préférez. Il se peut qu'aucune des deux propositions ne vous satisfassent ; choisissez alors celle qui vous déplaît le moins.

Il est très important que vous répondiez à tous les items, même si le choix entre A et B paraît parfois difficile.

1. A Je rêve souvent que je pourrais être un alpiniste
B Je ne comprends pas les gens qui risquent leur vie à escalader les montagnes
2. A Je trouve cela plus stimulant que les gens ne soient pas d'accord avec moi
B Je n'aime pas avoir à argumenter avec des gens qui ont des opinions nettement divergentes des miennes. De telles discussions ne mènent à rien
3. A Je cherche à avoir une bonne nuit de récupération après une longue journée
B Je souhaiterais n'avoir pas besoin de gaspiller autant de temps à dormir
4. A Je prends les plats que je connais bien de façon à n'être ni déçu, ni mécontent
B J'aime essayer de nouveaux plats
5. A Je ne supporte pas de voir un film une seconde fois
B Il y a certains films que je prends plaisir à regarder deux ou trois fois
6. A J'ai déjà essayé de fumer de l'herbe, ou du moins j'aimerais bien
B Je ne fumerai jamais de l'herbe
7. A J'aime bien passer du temps dans l'environnement familial de la maison
B Cela m'énerve rapidement dès que je dois rester chez moi
8. A L'essence d'une belle œuvre réside dans sa pureté, sa symétrie de forme et son harmonie des couleurs
B J'aime le style nouveau de la peinture moderne
9. A Boire beaucoup gâche habituellement les fêtes parce que certaines personnes deviennent bruyantes et violentes
B La boisson à volonté est la clef de réussite d'une fête
10. A J'aimerais essayer le surf
B Je n'aimerais pas essayer le surf
11. A J'aimerais rencontrer des gens qui sont homosexuels (homme ou femme)
B Je garde mes distances vis à vis de toute personne que je trouve ambiguë
12. A J'aime bien sortir avec quelqu'un d'attrayant physiquement
B J'aime bien sortir avec quelqu'un qui partage mes valeurs
13. A Je n'aimerais essayer aucune drogue qui puisse produire des effets bizarres et dangereux sur moi
B J'aimerais bien essayer une drogue qui produit des hallucinations

-
14. A Les gens devraient s'habiller avec un certain bon goût, une apparence et un style soignés
B Les gens devraient s'habiller de façon personnalisée même si les résultats peuvent être surprenants
15. A Une personne sensée évite les activités dangereuses
B J'aime bien faire parfois des activités quelque peu dangereuses
16. A J'aimerais faire du saut en parachute
B Je ne voudrais jamais sauter en parachute
17. A Je préfère avoir pour amis des gens qui ont les pieds bien sur terre
B J'aimerais me faire des amis dans des groupes « d'avant-garde », par exemple des artistes
18. A Presque tout ce qui est agréable est illégal ou immoral
B La plupart des choses agréables sont parfaitement légales et morales
19. A J'aime explorer une ville étrangère par mes propres moyens même si je dois me perdre
B Je préfère prendre un guide quand je suis dans un endroit que je ne connais pas
20. A On devrait avoir beaucoup d'expériences sexuelles avant le mariage
B C'est mieux si deux jeunes mariés commencent ensemble leur expérience sexuelle
21. A Skier très vite est une bonne façon de finir avec un plâtre
B Je pense que j'apprécierais la sensation de skier très vite
22. A Les stimulants m'indisposent
B Souvent j'aime me stimuler en buvant de l'alcool ou en fumant de l'herbe
23. A Je préfère écouter des nouveaux genres de musique
B Je préfère la musique classique et le jazz
24. A Je ne prends pas de plaisir à des discussions dans lesquelles les gens s'échauffent tant qu'ils finissent par s'insulter
B Je prends du plaisir à une discussion intellectuelle bien échauffée même si les gens deviennent quelquefois excédés
25. A J'aime bien parfois faire des choses incongrues juste pour en voir l'effet sur les autres
B Je me comporte toujours normalement ; choquer ou troubler les autres ne m'intéresse pas
26. A Je préfère les gens calmes et tempérés
B Je préfère les gens qui expriment leurs émotions même s'ils sont un peu instables
27. A J'aimerais bien pratiquer le ski nautique
B Je n'aimerais pas faire du ski nautique
28. A Je préfère des amis tout à fait imprévisibles
B Je préfère des amis sûrs et prévisibles
29. A J'aime plonger d'une grande hauteur
B Je n'aime pas l'impression que j'ai sur un haut plongeur (ou je ne m'en approche même pas du tout)
30. A Je n'aimerais pas apprendre à piloter un avion
B J'aimerais apprendre à piloter un avion
-

31. A Cela m'ennuie de voir toujours les mêmes têtes
B J'aime le sentiment paisible que donnent les visages familiers
32. A J'aimerais partir en voyage sans avoir planifié ni la route ni l'emploi du temps
B Quand je pars en voyage, j'aime bien préparer la route et l'emploi du temps comme il faut
33. A Il y a beaucoup trop de sexe au cinéma
B J'aime regarder certaines scènes érotiques au cinéma
34. A Je n'aime pas la sensation d'être dans les airs
B Je prends du plaisir dans les parcs d'attraction (montagnes russes, loopings...)
35. A Je ne m'intéresse pas aux expériences pour elles-mêmes
B J'aime avoir des expériences nouvelles et excitantes même si elles font un peu peur et sont non conventionnelles ou illégales
36. A Je me sens mieux après un bon verre
B Il y a quelque chose qui ne tourne pas rond chez les gens qui ont besoin d'alcool pour se sentir bien
37. A Je n'aime pas les gens qui agissent afin de choquer les autres
B Si l'on peut prédire toutes les paroles et tous les actes d'une personne, c'est qu'elle doit être ennuyeuse
38. A J'aime bien regarder chez moi ou des amis des films ou diapositives de voyage
B Regarder des films ou des diapositives de voyage chez quelqu'un m'ennuie énormément.
39. A Je voudrais faire de la plongée sous-marine
B Je préfère la surface de l'eau à ses profondeurs
40. A J'aime les fêtes « sauvages » et désinhibées
B Je préfère les fêtes tranquilles où l'on discute bien

2.3.6. Driver Behaviour Questionnaire

Ce questionnaire concerne vos habitudes de conduite dans des situations qui peuvent se produire au quotidien. Il ne vise pas à évaluer ou à juger vos habitudes de conduite.

Personne n'est parfait. Même les meilleurs conducteurs font des erreurs, ont des oublis ou s'arrangent parfois avec les règles. Ces comportements sont pour la plupart banals et quotidiens sur la route, mais il faut bien reconnaître qu'ils sont aussi potentiellement dangereux, dans certaines situations.

Pour chacune des questions suivantes nous vous demandons d'indiquer dans quelle mesure (avec quelle fréquence), si cela vous arrive, vous avez ce type de comportements.

Basez votre jugement sur ce que vous vous rappelez de votre conduite au cours de l'année qui vient de s'écouler.

Pour répondre, sélectionnez un seul chiffre ou une seule expression sur l'échelle associée à chaque question :

Q1 (E) : Essayer de dépasser quelqu'un alors que vous n'avez pas vu qu'il allait tourner à gauche

- 0=jamais
- 1=exceptionnellement
- 2=occasionnellement
- 3=assez souvent
- 4=fréquemment
- 5=presque toujours

Q2 (O) : Se mettre dans une mauvaise voie en approchant d'une intersection

(Jamais) 0 1 2 3 4 5 (Presque toujours)

Q3 (E) : Ne pas voir un stop ou un signal de priorité et éviter de justesse une collision avec un véhicule prioritaire

(Jamais) 0 1 2 3 4 5 (Presque toujours)

Q4 (O) : Mal lire les panneaux de direction et sortir du giratoire par une mauvaise route

(Jamais) 0 1 2 3 4 5 (Presque toujours)

Q5 (E) : Ne pas apercevoir des piétons traversant lorsqu'on tourne à droite, d'une voie principale vers une voie secondaire

(Jamais) 0 1 2 3 4 5 (Presque toujours)

Q6 (I) : Conduire très près de la voiture de devant pour signaler au conducteur d'accélérer ou de changer de voie

(Jamais) 0 1 2 3 4 5 (Presque toujours)

Q7 (O) : Oublier où vous avez laissé la voiture sur le parking

(Jamais) 0 1 2 3 4 5 (Presque toujours)

Q8 (E) : Dans une file d'attente pour tourner à droite sur une voie principale, faire tellement attention au trafic sur cette dernière que l'on rentre dans le véhicule de devant

(Jamais) 0 1 2 3 4 5 (Presque toujours)

Q9 (O) : Rentrer dans quelque chose que l'on n'a pas vu en reculant

(Jamais) 0 1 2 3 4 5 (Presque toujours)

Q10 (I) : Traverser une intersection en sachant que le feu est déjà passé au rouge

(Jamais) 0 1 2 3 4 5 (Presque toujours)

Q11 (E) : En tournant à droite, manquer renverser un cycliste qui était sur votre droite

0=jamais

1=exceptionnellement

2=occasionnellement

3=assez souvent

4=fréquemment

5=presque toujours

Q12 (I) : Ne pas respecter les limites légales de vitesse la nuit ou très tôt le matin

(Jamais) 0 1 2 3 4 5 (Presque toujours)

Q13 (O) : Essayer de démarrer au feu en 3^{ème}

(Jamais) 0 1 2 3 4 5 (Presque toujours)

Q14 (E) : Oublier de contrôler dans votre rétroviseur dans une manœuvre de démarrage ou de changement de voie

(Jamais) 0 1 2 3 4 5 (Presque toujours)

Q15 (I) : Avoir une aversion pour une catégorie particulière d'usagers de la route et indiquer votre hostilité par n'importe quels moyens

(Jamais) 0 1 2 3 4 5 (Presque toujours)

Q16 (I) : Devenir impatient vis-à-vis d'un conducteur lent sur la voie de gauche et le doubler par la droite

(Jamais) 0 1 2 3 4 5 (Presque toujours)

Q17 (E) : Sous-estimer la vitesse d'un véhicule approchant pour dépasser lorsque l'on dépasse soi-même

(Jamais) 0 1 2 3 4 5 (Presque toujours)

Q18 (O) : Mettre en action une chose, par exemple les phares, alors que l'on voulait mettre en action quelque chose d'autre comme les essuie-glaces

(Jamais) 0 1 2 3 4 5 (Presque toujours)

Q19 (E) : Freiner trop brutalement sur une route glissante ou tourner le volant dans le mauvais sens lors d'un dérapage

(Jamais) 0 1 2 3 4 5 (Presque toujours)

Q20 (O) : En ayant l'intention de vous rendre à la destination A, vous « vous réveillez » sur la route pour une destination B, peut-être parce que B est votre destination la plus habituelle

(Jamais) 0 1 2 3 4 5 (Presque toujours)

Q21 (I) : Conduire alors que vous réalisez que vous êtes peut-être au-dessus de la limite légale d'alcoolémie (si vous avez bu de l'alcool)

(Jamais) 0 1 2 3 4 5 (Presque toujours)

Q22 (I) : Se trouver impliqué dans une « course non officielle » avec d'autres conducteurs

(Jamais) 0 1 2 3 4 5 (Presque toujours)

Q23 (O) : Réaliser que vous n'avez pas de souvenirs précis du trajet que vous venez juste de parcourir

(Jamais) 0 1 2 3 4 5 (Presque toujours)

Q24 (I) : Irrité par le comportement d'un autre conducteur, vous lui donnez la chasse afin de lui montrer ce que vous pensez

(Jamais) 0 1 2 3 4 5 (Presque toujours)

2.3.7. Ciss

FEUILLE DE RÉPONSES - CISS Norman S. Endler, Ph.D., F.R.S.C. et James D.A. Parker, M.A. Adapté par J.P. Rolland

Nom _____ Age _____ Sexe _____ Date _____
 Profession _____ Niveau d'études _____ Situation familiale _____

CONSIGNES : Répondez à chacune des modalités suivantes en entourant la réponse qui correspond à votre mode de réaction habituel. Le mode de réponse est une échelle qui va de 1 à 5 en passant par des réponses intermédiaires (2, 3, 4) qui vous permettent de nuancer votre réponse.

Pas du tout					Beaucoup					Dans les situations stressantes, j'ai habituellement tendance à :
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1. Mieux organiser le temps dont je dispose
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	2. Me centrer sur le problème et voir comment je peux le résoudre
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	3. Repenser à de bons moments que j'ai connus
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	4. Essayer de me retrouver en compagnie d'autres personnes
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	5. Me reprocher de perdre du temps
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6. Faire ce que je pense être le mieux
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	7. Me tracasser à propos de mes problèmes
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	8. Me reprocher de m'être mis(e) dans une telle situation
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	9. Faire du « lèche-vitrine », du « shopping »
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	10. Définir, dégager mes priorités
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	11. Essayer de dormir
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	12. M'offrir un de mes plats ou aliments favoris
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	13. Me sentir anxieux(se) de ne pas pouvoir surmonter la situation
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	14. Devenir très tendu(e) et/ou crispé(e)
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	15. Penser à la manière dont j'ai résolu des problèmes similaires
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	16. Me dire que cela n'est pas réellement en train de m'arriver
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	17. Me reprocher d'être trop sensible/émotif(ve) face à la situation
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	18. Sortir au restaurant ou manger quelque chose
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	19. Être de plus en plus contrarié(e)
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	20. M'acheter quelque chose
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	21. Déterminer une ligne d'action et la suivre
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	22. Me reprocher de ne pas savoir quoi faire
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	23. Aller à une soirée, à une « fête » chez des amis
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	24. M'efforcer d'analyser la situation
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	25. Me bloquer et ne plus savoir que faire
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	26. Entreprendre sans délai des actions d'adaptation
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	27. Réfléchir à ce qui s'est produit et tirer parti de mes erreurs
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	28. Souhaiter pouvoir changer ce qui s'est passé ou ce que j'ai ressenti
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	29. Rendre visite à un(e) ami(e)
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	30. Me tracasser à propos de ce que je vais faire
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	31. Passer un moment avec une personne (intime)
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	32. Aller me promener
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	33. Me dire que cela ne se reproduira plus jamais
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	34. Ressasser mes insuffisances et inadaptations générales
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	35. Parler avec quelqu'un dont j'apprécie les conseils
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	36. Analyser le problème avant de réagir
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	37. Téléphoner à un(e) ami(e)
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	38. Me mettre en colère
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	39. Ajuster mes priorités
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	40. Voir un film
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	41. Prendre le contrôle de la situation
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	42. Faire un effort supplémentaire pour que les « choses marchent »
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	43. Mettre sur pied un ensemble de solutions différentes au problème
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	44. Trouver un moyen pour ne plus y penser, pour éviter cette situation
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	45. M'en prendre à d'autres personnes
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	46. Profiter de la situation pour montrer ce dont je suis capable
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	47. Essayer de m'organiser pour mieux dominer la situation
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	48. Regarder la télévision
Pas du tout					Beaucoup					

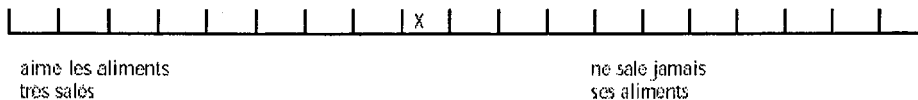
Copyright © 1998 by Multi-Health Systems, Inc. International copyright in all countries under the Berner Union, Bilateral, and Universal Copyright Conventions. Not to be translated or reproduced in whole or in part, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, photocopying, mechanical, electronic, recording or otherwise, without prior permission in writing from Multi-Health Systems, Inc. All property rights reserved by Multi-Health Systems Inc., 65 Overlea Blvd., Suite 210, Toronto, Ontario, Canada, M4H 1P1.

Copyright © 1998 by les Editions du Centre de Psychologie Appliquée - 25, rue de la Plaine - 75980 Paris Cedex 20. Tous droits réservés.

2.3.8. Bortner type A

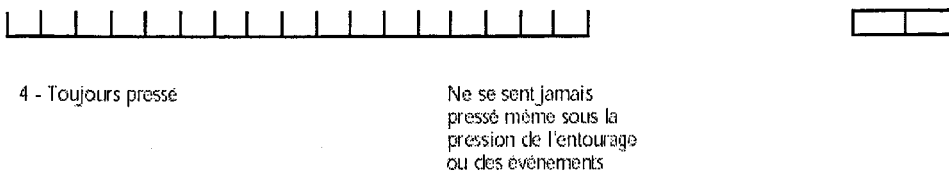
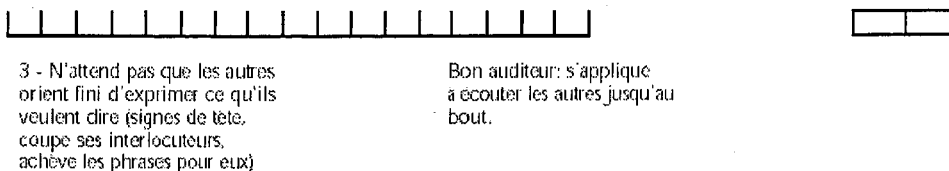
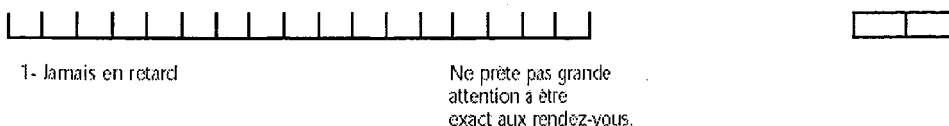
Chacun de nous peut se situer quelque part le long de chacune des lignes ci-dessous entre les deux positions extrêmes. Ce que nous attendons de vous, c'est de faire une croix sur chaque ligne, à l'endroit où vous pensez vous situer entre les deux positions extrêmes. La croix peut être située à n'importe quel endroit de la ligne et pas forcément sur les graduations ou au milieu des cases.

Par exemple:



S'il vous plaît, n'oubliez surtout pas de remettre le questionnaire dès votre prochain rendez-vous. Merci.

Ne rien inscrire dans ces cases



<p>5 - Sait attendre patiemment</p>	<p>Impatient lorsqu'il doit attendre</p>	<input type="text"/> <input type="text"/>
<p>6 - Met tout en œuvre pour atteindre un but, s'engage à fond dans une tâche.</p>	<p>Prend les choses comme elles viennent, insouciant</p>	<input type="text"/> <input type="text"/>
<p>7 - Fait une chose à la fois</p>	<p>Pense toujours à ce qu'il va falloir faire ensuite. Essaie de faire plusieurs choses à la fois.</p>	<input type="text"/> <input type="text"/>
<p>8 - Énergique et vigoureux en parlant (peut frapper du poing sur la table pour appuyer ses paroles)</p>	<p>Lent, pondéré, circonspect dans sa façon de s'exprimer</p>	<input type="text"/> <input type="text"/>
<p>9 - Veut que ses qualités de bon travailleur soient reconnues par les autres.</p>	<p>Uniquement soucieux d'être content de lui quoique les autres puissent en penser.</p>	<input type="text"/> <input type="text"/>
<p>10 - Rapide pour manger, pour marcher</p>	<p>Fait les choses posément.</p>	<input type="text"/> <input type="text"/>
<p>11 - Prend les choses tranquillement, ne se fait pas de bile</p>	<p>Se fait la vie dure, se mène durement.</p>	<input type="text"/> <input type="text"/>
<p>12 - Cache ses sentiments.</p>	<p>Démonstratif dans ses sentiments.</p>	<input type="text"/> <input type="text"/>
<p>13 - A de nombreux centres d'intérêt.</p>	<p>Peu d'intérêts en dehors du travail.</p>	<input type="text"/> <input type="text"/>
<p>14 - Satisfait de son travail, content de sa situation.</p>	<p>Ambitieux de progresser plus haut dans l'échelle sociale.</p>	<input type="text"/> <input type="text"/>

2.3.9. Rosenberg Self Esteem

ECHELLE D'ESTIME DE SOI

06E05

(ROSENBERG, 1969; traduction: O.CHAMBON. 1992)

Date de cotation:

Participant:

Indiquez la réponse qui vous semble correcte pour chacune des dix affirmations suivantes, selon votre accord avec l'énoncé : fortement en accord, en accord, en désaccord, ou fortement en désaccord.

- 1= fortement en accord
2= en accord
3= en désaccord
4= fortement en désaccord
-

- ___ 1. Dans l'ensemble, je suis satisfait de moi.
- ___ 2. Parfois je pense que je ne vaud rien.
- ___ 3. Je pense que j'ai un certain nombre de bonnes qualités.
- ___ 4. Je suis capable de faire les choses aussi bien que la plupart des gens.
- ___ 5. Je sens qu'il n'y a pas grand chose en moi dont je puisse être fier.
- ___ 6. Parfois, je me sens réellement inutile.
- ___ 7. Je pense que je suis quelqu'un de valable, au moins autant que les autres gens.
- ___ 8. J'aimerais pouvoir avoir plus de respect pour moi-même.
- ___ 9. Tout bien considéré, j'ai tendance à penser que je suis un(e) raté(e).
- ___ 10. J'ai une opinion positive de moi-même.
-

Procédure de cotation. Le total des notes des items 2, 5, 6, 8, 9 doit être ajouté au total de l'inverse (1 devient 4, 2 devient 3, et réciproquement 3 devient 2 et 4 devient 1) des notes des items 1, 3, 4, 7, 10. Le résultat obtenu correspond à une note d'estime de soi.

3. DESCRIPTION DES PLANS DE L'ACM

3.1. Analyse du tableau B (Analyse de la situation de suivi)

B est le tableau de Burt associé au tableau disjonctif complet ZS2, $B=ZS2' \times ZS2$ est un tableau carré composé de CS2=19 lignes et 19 colonnes. Pour déterminer les correspondances entre les DT, une ACM est réalisée sur le tableau B. Pour déterminer l'impact des différents facteurs (individu, temps, trafic, infrastructure, âge, sexe, moment de la journée, conditions météorologiques), les tableaux ZS2_I, ZS2_J, ZS2_K, ZS2_{JxK}, ZS2_L, ZS2_M, ZS2_N, ZS2_O et ZS2_T.

3.1.1. Premier plan factoriel

Le premier plan factoriel (croisement des axes 1 et 2) représente 30,2+23,7=53,9% de l'inertie totale. Cette valeur est relativement élevée, vue la taille du tableau. Il existe donc certainement des correspondances entre les différentes modalités.

(i) Points-colonnes

Dans un premier temps, nous allons nous focaliser sur le premier axe (30,2% d'inertie). Le côté gauche de l'axe (cf. Figure A2.1) met en évidence une correspondance entre 1) la fenêtre *négative* de la *différence avec la limitation de vitesse* (SL-) et 2) la modalité *petite* de la variable *distance avec le véhicule suivi* (DVI). Sur le côté droit de l'axe, une correspondance apparaît entre 1) la modalité *supérieure* de la *différence avec la limitation de vitesse* (SL+), 2) la modalité *grande* de la variable *distance avec le véhicule suivi* (DVh) et 3) la modalité *petite* de la *différence de vitesse avec le véhicule suivi* (RSI).

Concernant le deuxième axe (23,7%), une correspondance apparaît entre 1) les modalités *petite* et *moyenne* de *pression de freinage* (BPl, BPm) et 2) la modalité *petite* de *l'accélération longitudinale* (LAI). Les modalités de freinage sont relativement loin du centre de gravité ce qui signifie que les conducteurs freinent rarement. Cette spécificité géométrique constitue un apport important de l'ACM, nommé effet barycentrique (Benzecri, 1992) : il permet de montrer les occurrences relatives des fenêtres spatiales positionnées dans un plan donné. En effet, comme en mécanique, une modalité proche du centre de gravité signifie quelle est d'avantage présente qu'une modalité rare (la masse du point relative à cette dernière est plus faible) ; toutefois, à la différence de la mécanique, on n'est pas dans \mathbb{R}^2 ou \mathbb{R}^3 , il faut s'assurer que le point est bien positionner dans le plan qu'on est en train d'analyser (par exemple, ici on est dans \mathbb{R}^{19} !). Les modalités *petite* et *grande* de la *différence de vitesse avec le véhicule suivi* s'opposent sur ce deuxième axe.

(ii) Points-lignes

Sur la figure A2.2, les situations de suivi sont représentées en utilisant une couleur par fenêtre temporelle t (t=1,... T=3 ; chaque nuage de couleur est constitué par 12803 points). Tout d'abord il est important de noter que ces nuages ne présentent pas d'éléments isolés, ce qui augmente notre confiance dans notre jeu de données initial. Deuxièmement, les T=3 nuages se superposent plus ou moins et sont dispersés autour du centre gravité. Troisièmement, la dispersion sur le deuxième axe est plus importante pour la dernière fenêtre temporelle (en vert). Quatrièmement, les points situés en dessous du nuage principal (Axis 2 <

-0.5) correspondent aux situations de suivi pendant lesquelles le conducteur a freiné. Ces situations sont relativement rares.

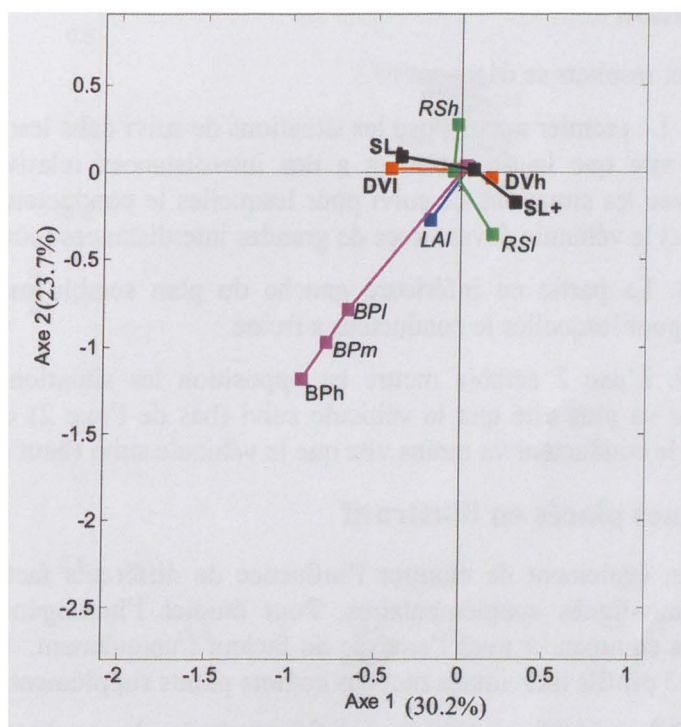


Figure A2.1. Plan (1, 2) de l'ACM pour le tableau B(19, 19). Cas des 19 points colonnes

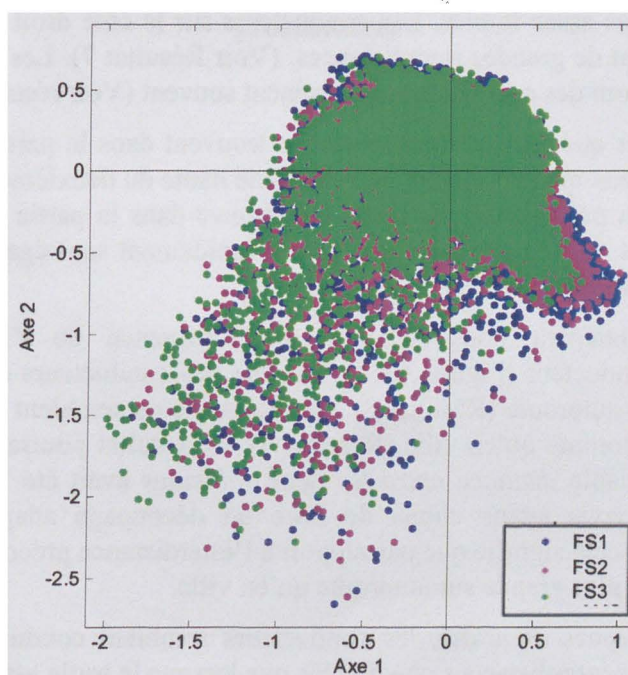


Figure A2.2. Plan (1, 2) de l'ACM pour le tableau B(19, 19). Cas des points lignes supplémentaires correspondant au 38409 CFS (1 couleur par fenêtre temporelle)

De toutes ces remarques concernant l'analyse des tableaux d'aide à l'interprétation et des graphiques relatifs aux points-lignes et points-colonnes du plan (1, 2), ressortent les faits suivants :

(iii) Interprétation

Trois principaux résultats se dégagent :

- Résultat 7. Le premier axe oppose les situations de suivi dans lesquelles le conducteur va moins vite que la limitation et a des interdistances relativement faibles (côté gauche) avec les situations de suivi pour lesquelles le conducteur va plus vite que la limitation et le véhicule devant avec de grandes interdistances (côté droit).
- Résultat 8. La partie en inférieure gauche du plan semble mettre en lumière les situations pour lesquelles le conducteur a freiné.
- Résultat 9. L'axe 2 semble mettre en opposition les situations pour lesquelles le conducteur va plus vite que le véhicule suivi (bas de l'axe 2) et les situations dans lesquelles le conducteur va moins vite que le véhicule suivi (haut de l'axe).

(iv) Points-lignes placés en illustratif

L'ACM permet également de montrer l'influence de différents facteurs en utilisant par exemple, les points-lignes supplémentaires. Pour étudier l'homogénéité de l'échantillon d'individus, on va commencer avec l'analyse du facteur i uniquement. Cela peut être fait en projetant les $I=123$ profils individuels moyens comme points supplémentaires.

La figure A2.3 montre un nuage relativement non-homogène. La dispersion est relativement importante sur le premier axe. Même si aucun groupe de conducteurs ne se différencie, des tendances apparaissent. Les conducteurs sur le côté gauche sont plutôt lents avec des interdistances assez faibles. Les conducteurs sur le côté droit sont des conducteurs rapides qui conservent de grandes interdistances. (Voir Résultat 7). Les conducteurs en bas à gauche dans le plan sont des conducteurs qui freinent souvent (Voir résultat 8).

On peut remarquer que les conducteurs qui se trouvent dans la partie gauche du premier axe sont également ceux qui se trouvent dans la partie haute du deuxième axe. Et inversement, ceux qui sont dans la partie droite de l'axe 1 se trouvent dans la partie inférieure de l'axe 2. Ainsi les conducteurs qui ont tendance à conduire rapidement sont également ceux qui vont plus vite que la limitation et inversement (Résultat 9).

Nous allons maintenant nous focaliser sur l'influence de l'infrastructure sur le comportement du conducteur (Figure A2.4). En ville, les conducteurs ont tendance à freiner plus souvent que sur autoroute (Résultat 8). Les conducteurs semblent avoir de plus grandes interdistances sur autoroute qu'en ville (Résultat 7). Ce résultat pourrait sembler trivial si le découpage de la variable *distance entre les deux véhicules* avait été le même quelque soit l'infrastructure. Or nous avons choisi de faire un découpage adaptatif en fonction de l'infrastructure, ainsi cela signifie que par rapport à l'interdistance préconisée, les conducteurs ont une interdistance plus grande sur autoroute qu'en ville.

Concernant l'influence du trafic, les conducteurs semblent conduire moins vite que la limitation et avoir des interdistances plus faibles que lorsque le trafic est fluide (Résultat 7).

Nous avons également cherché l'impact de la météo, de l'âge, du sexe et du moment de la journée. Les points supplémentaires ont été projetés sur le premier plan mais aucune influence

sur la situation de suivi ne semble apparaître. Nous allons maintenant nous focaliser sur le deuxième plan factoriel.

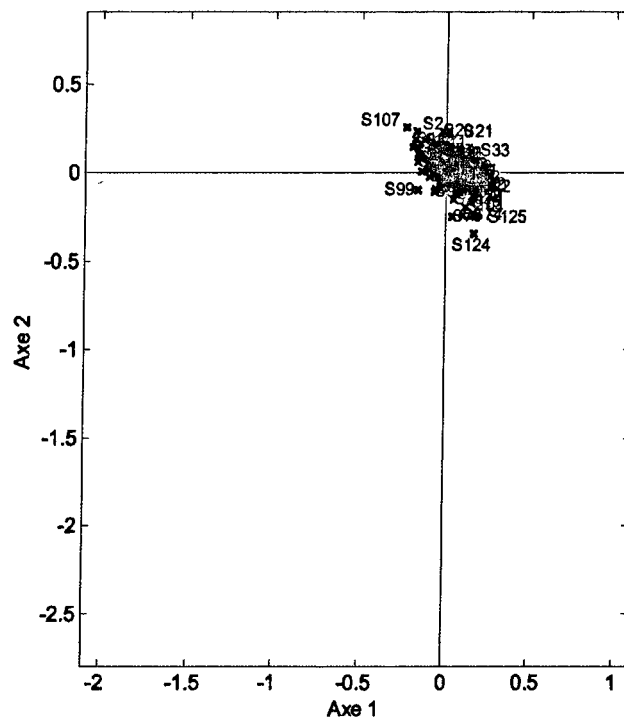


Figure A2.3. Plan (1, 2) de l'ACM pour le tableau B(19, 19). Cas des points lignes supplémentaires correspondants aux 123 profils individuels moyens (remarque : pour ne pas dilater outre mesure les positions, l'échelle la même que pour les 2 figures précédentes)

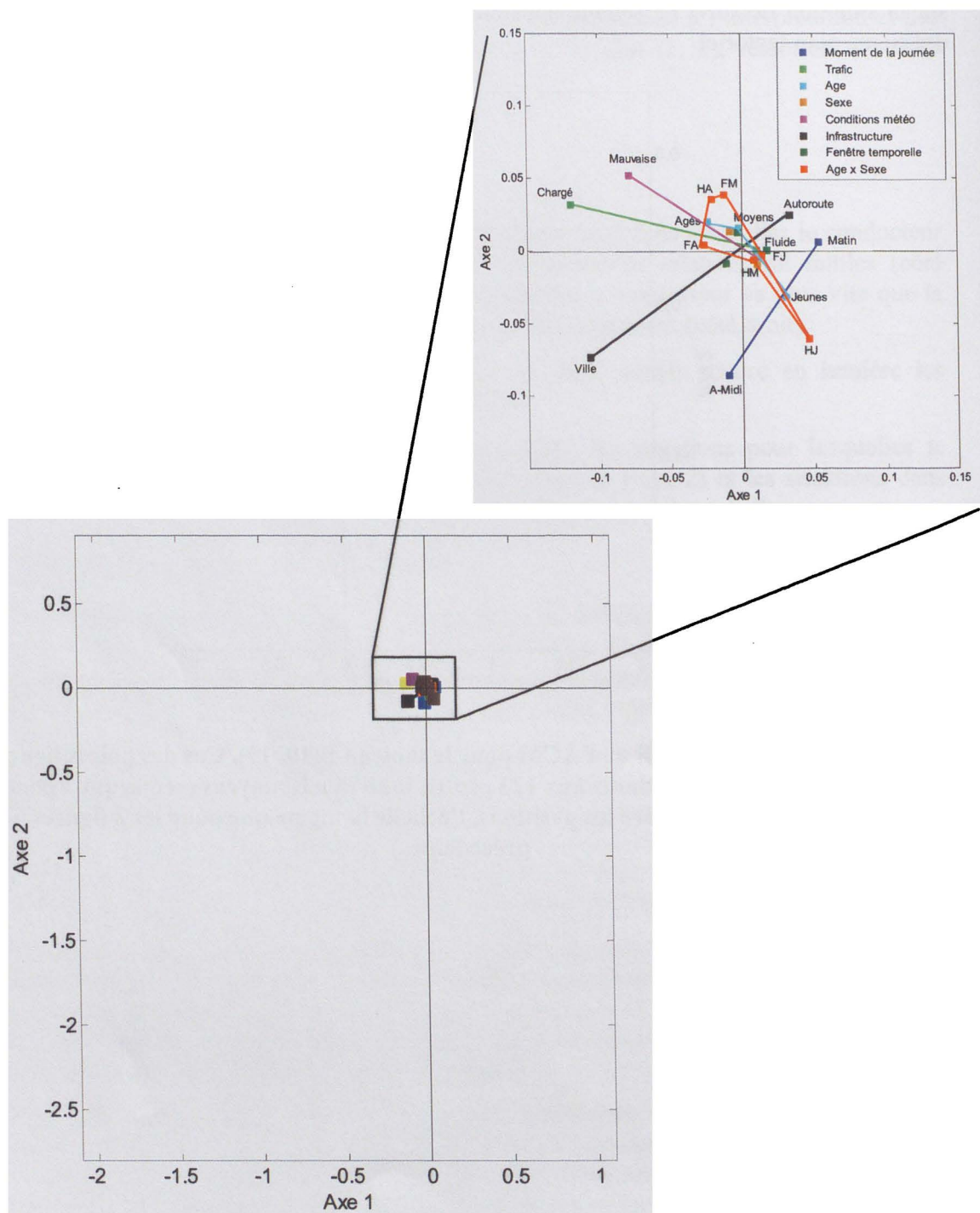


Figure A2.4. Plan (1, 2) de l'ACM pour le tableau B(19, 19). Cas des points lignes supplémentaires correspondants aux profils moyens selon les facteurs d'âge, de sexe, de moment de la journée, de fenêtre temporelle, d'infrastructure, de trafic, de conditions météorologiques (compte-tenu de la remarque faite Figure A2.3, un zoom a été ajouté pour mieux mettre en évidence les différentes dues à ces facteurs)

3.1.2. Deuxième plan factoriel

Le troisième axe représente 11.2% et le quatrième 9.6% de l'inertie totale, ce qui représente globalement moins de la moitié de l'inertie du premier plan.

(i) Points-colonnes

Le côté droit du troisième axe met en lumière une correspondance entre 1) la modalité *grande* de la *différence de vitesse entre les deux véhicules* (RSh) et 2) les modalités de *pression de freinage petite et moyenne* (BPl et BPm) (cf. Figure A2.5). Sur le côté gauche, une correspondance semble apparaître entre 1) la modalité *petite* de la *distance entre les deux véhicules* (DVI) et 2) les modalités *petite et moyenne* de la *vitesse relative entre les deux véhicules* (RSI, RSm). Dans la partie positive du quatrième axe, il semble avoir une correspondance entre 1) la modalité *petite* de la *différence de vitesse entre les deux véhicules* (RSI), 2) la modalité *grande* de la *distance entre les deux véhicules* (DVh) et la modalité *négative* de la *différence avec la limitation de vitesse* (SL+). Dans la partie négative, une correspondance apparaît entre 1) la modalité *petite* de la *distance entre les deux véhicules* (DVI), 2) la modalité *positive* de la *différence avec la limitation de vitesse* (SL+) et la modalité *moyenne* de la *différence de vitesse entre les deux véhicules* (RSm).

(ii) Points-lignes

Nous allons maintenant aborder la répartition des points-lignes (cf. Figure A2.6). Comme pour le premier plan factoriel, les T=3 nuages de points ne présentent pas de points isolés, ils se superposent plus ou moins et sont situés autour du centre de gravité.

(iii) Interprétation

Le résultat principal relatif à la position des différents points lignes et colonnes est :

- Résultat 10 : Les axes 3 et 4 semblent montrer une correspondance entre la modalité *petite* de la *distance entre les deux véhicules* et la modalité *moyenne* de la *différence de vitesse entre les deux véhicules*. Ainsi, les interdistances les plus faibles semblent apparaître lorsque les deux conducteurs vont sensiblement à la même vitesse.

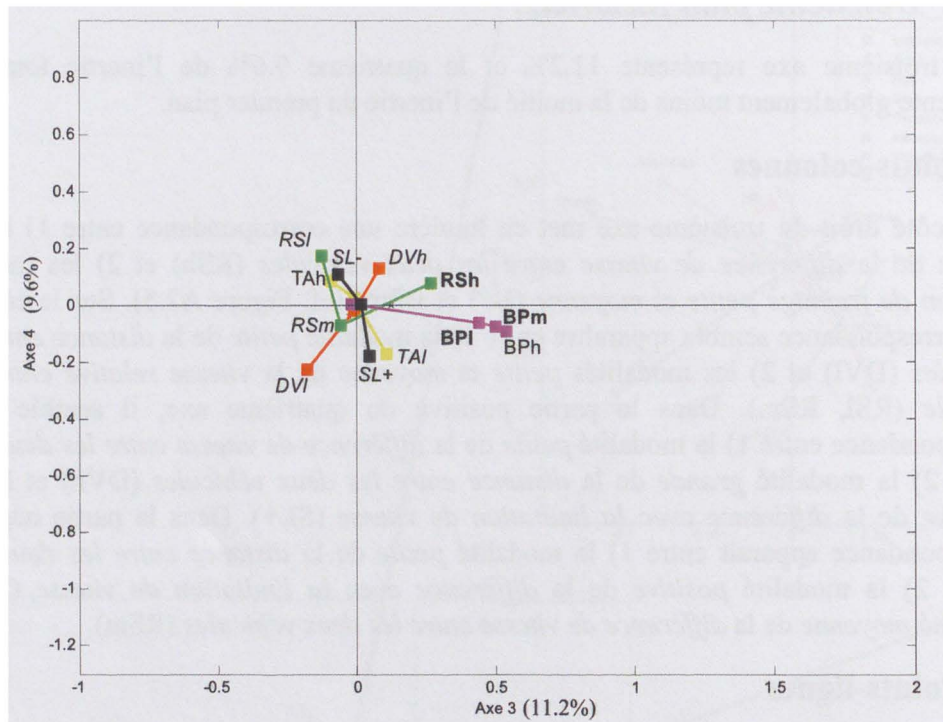


Figure A2.5. Plan (3, 4) de l'ACM pour le tableau B(19, 19). Cas des 19 points colonnes

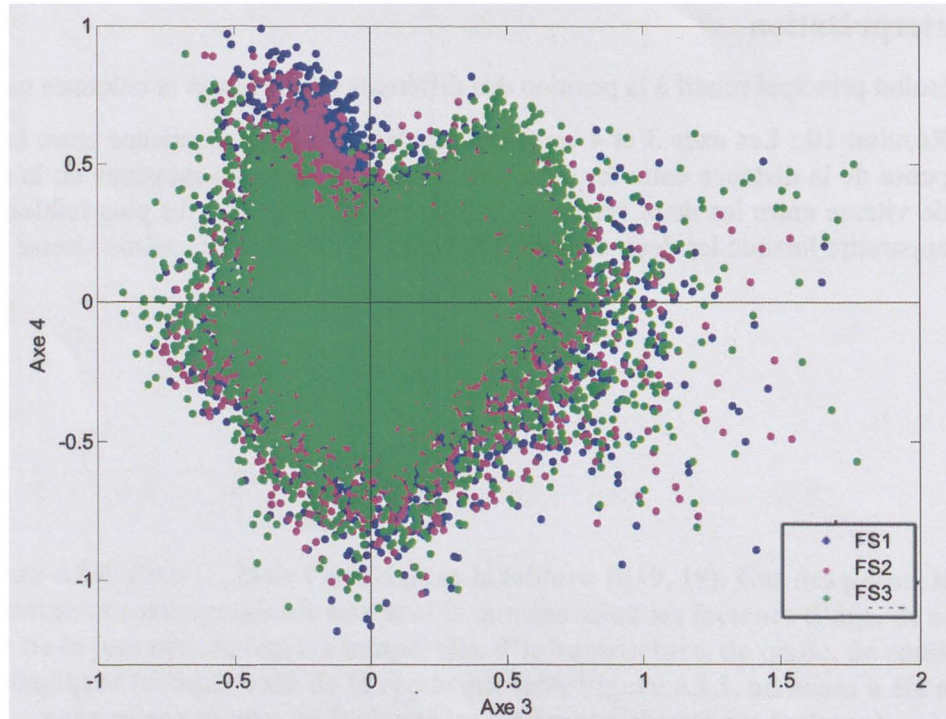


Figure A2.6. Plan (3, 4) de l'ACM pour le tableau B(19, 19). Cas de points lignes supplémentaires correspondant au 38409 CFS (1 couleur par fenêtre temporelle)

Après avoir analysé le tableau B relatif aux situations de suivi, passons maintenant à l'analyse du comportement des individus en fonction de l'infrastructure.

3.2. Analyse du tableau Z2 des individus en fonction de l'infrastructure

Ayant constaté l'influence de l'infrastructure, on peut considérer deux ensembles de données, un pour la conduite en ville et un pour la conduite sur autoroute. Ensuite, dans la perspective d'une mise en relation avec les DNT, on peut organiser ces 2 ensembles de façons à ce que les lignes du tableau à soumettre à l'ACM soient les mêmes, à savoir les individus. On peut alors considérer le tableau Z2 avec $R2=R1=123$ lignes. Ainsi $C2=CT2 \times 2$ colonnes. Une ACM est réalisée sur le tableau Z2.

3.2.1. Premier plan factoriel

Les deux premiers axes principaux de l'ACM du tableau Z2(123,38) représentent $24,6+14,8=39,4\%$ de l'inertie totale.

(i) Points-colonnes

Le côté gauche du premier axe semble mettre en lumière une correspondance entre les modalités *positive* de la *différence avec la limitation de vitesse* sur autoroute (SL+a) et en ville (SL+u) et les modalités *petite* de la *différence de vitesse entre les deux véhicules* sur autoroute (RSla) et en ville (RSlu) (cf. Figure A2.7). Le côté droit semble montrer une correspondance entre 1) les modalités *petite* de la variable *différence de vitesse par rapport à la limitation* sur autoroute (SL-a) et en ville (SL-u) et 2) la modalité *grande* de la *différence de vitesse entre les deux véhicules sur autoroute* (RSha).

Dans la partie supérieure du deuxième axe, il semble exister une correspondance entre les modalités *grande* 1) de la variable *accélération longitudinale en ville* (LAhu) et 2) de la variable *différence de vitesse avec le véhicule suivi en ville* (RShu). Dans la partie inférieure une correspondance apparaît entre 1) les modalités *petite* et *moyenne* de la *pression de freinage en ville* (BPlu et BPmu), 2) la modalité *petite* de l'*accélération longitudinale en ville* (LAlu) et 3) la modalité *petite* de la *différence de vitesse entre les deux véhicules en ville* (RSlu). Les modalités de freinage en ville sont éloignées du centre de gravité, ce sont des modalités qui sont relativement rares.

(ii) Points-lignes

Le nuage d'individus ne présente pas de point excentré et est relativement étendu sur le premier plan factoriel (cf. Figure A2.8).

(iii) Interprétation

L'analyse de la répartition des points-lignes et des points-colonnes permet d'obtenir les résultats suivants :

- Résultat 11 : Le premier plan factoriel différencie les conducteurs en fonction de leur vitesse. A gauche, ce sont principalement les conducteurs qui vont plus vite que la limitation et le véhicule suivi en ville et sur autoroute. A droite, ce sont plutôt les conducteurs qui vont moins vite que la limitation et que le véhicule suivi notamment sur autoroute.
- Résultat 12 : Le deuxième axe permet de distinguer les conducteurs qui freinent souvent en ville. Ces conducteurs vont généralement plus vite que le véhicule qu'ils

suivent. A l'opposé, sur le haut de l'axe, on retrouve des conducteurs qui sont plus lents que le véhicule qu'ils suivent et n'ont donc pas besoin de freiner souvent.

Nous allons maintenant observer le deuxième plan factoriel.

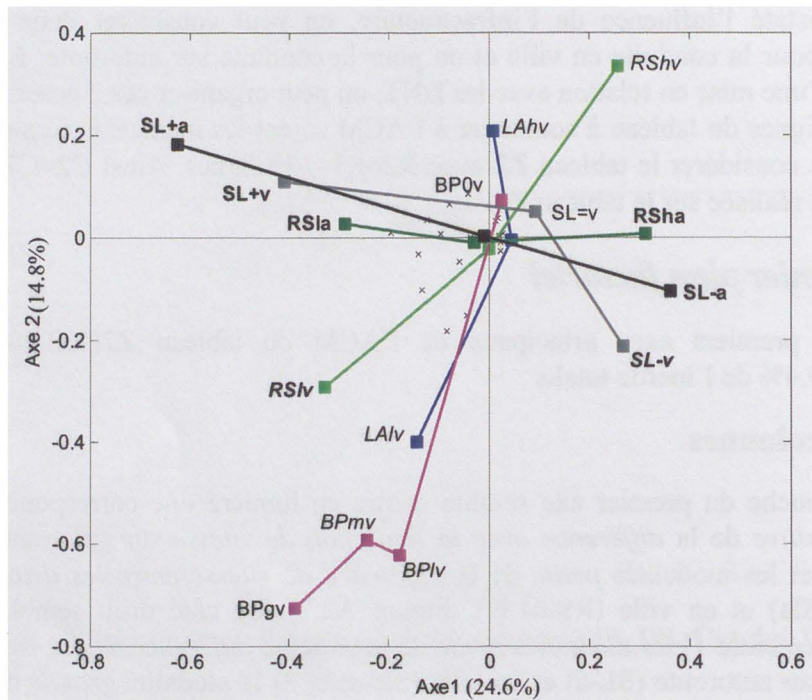


Figure A2.7. Plan (1, 2) de l'ACM pour le tableau Z2(123, 38). Cas des 38 points colonnes

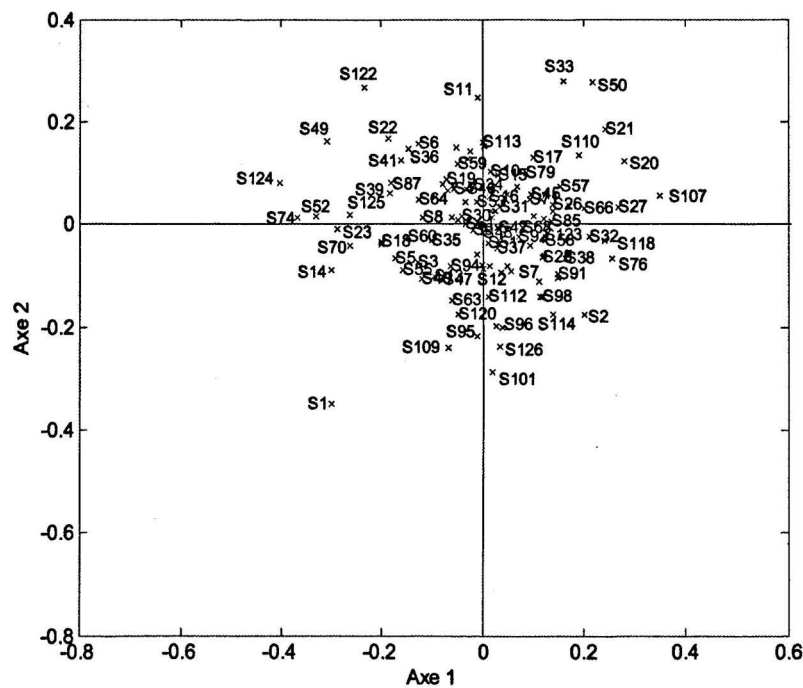


Figure A2.8. Plan (1, 2) de l'ACM pour le tableau Z2(123, 38). Cas des 123 points lignes

3.2.2. Deuxième plan factoriel

(i) Points-colonnes

Sur le troisième axe factoriel (cf. Figure A2.9), on retrouve sur la gauche de l'axe une correspondance entre 1) la modalité *petite* de l'*interdistance entre les deux véhicules en ville* (DVlu), 2) la modalité *grande* de l'*accélération longitudinale en ville* (Lahu) et 3) la modalité *négative* de la *différence de vitesse avec la limitation en ville* (SL-u). Le côté droit met en lumière une correspondance entre 1) les modalités *grande* de la *différence de vitesse avec le véhicule suivi en ville* (RShu) et *sur autoroute* (RSha), 2) la modalité *positive* de la *différence de vitesse avec la limitation de vitesse en ville* (SL+u) et 3) la modalité *grande* de la *distance entre les deux véhicules en ville* (DVhu).

L'axe 4 est majoritairement caractérisé par l'*accélération transversale droite* en ville (TAhu).

(ii) Points-lignes

La figure A2.10 représente la dispersion des individus sur le deuxième plan factoriel. Les conducteurs sont majoritairement concentrés autour du centre de gravité. Quelques conducteurs sont légèrement écartés du nuage principal.

(iii) Interprétation

L'analyse de la répartition des points-lignes et des points-colonnes permet d'obtenir le résultat suivant :

Résultat 13 : Le troisième axe oppose les conducteurs qui ont de grandes interdistances et qui vont moins vite que la limitation en ville et les conducteurs qui ont de grandes interdistances en ville plus vite que la limitation.

Tentons maintenant de faire une synthèse de ce qui est ressorti de l'analyse des 4 premiers axes (tableaux d'aides à l'interprétation et positions des points le long des axes). Insistons sur la hiérarchisation des phénomènes ; par exemple, l'axe 1, de par son inertie nettement plus grande que le 4 (24,6 % vs. 7 %), met en exergue des phénomènes plus généraux (présents chez d'avantage d'individus)

Le premier axe ne différencie pas les comportements sur autoroute et en ville concernant la vitesse mais oppose les conducteurs qui vont plus vite que la limitation et que le véhicule suivi des conducteurs qui vont moins vite que la limitation et le véhicule suivi. Le second axe caractérise principalement la conduite en ville avec les conducteurs qui freinent souvent en ville et qui vont plus vite que le véhicule suivi et les conducteurs qui vont moins vite que le véhicule suivi et qui donc freinent rarement. Le troisième axe oppose les conducteurs qui suivent le véhicule avec de faibles interdistances en allant moins vite que la limitation et ceux qui suivent avec de grandes interdistances et en allant plus vite que la limitation.

Les plus importantes contributions à la construction des trois premiers axes sont essentiellement dues à des modalités de conduite en ville. Ainsi, les différences entre les conducteurs semblent plus importantes en ville que sur autoroute. Ces différences peuvent être dues au fait qu'en ville, les conducteurs ont plus d'informations à prendre en compte (panneaux de signalisation...), doivent gérer plus d'informations avec les autres véhicules (intersection, changement de voie, freinage...) et doivent prendre plus de décision (changement de voie, freinage...) en ville que sur autoroute.

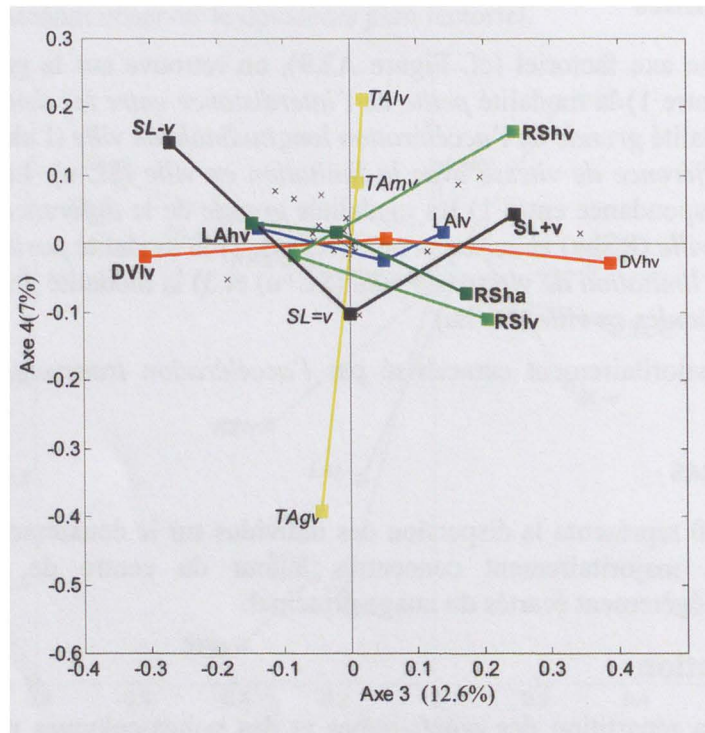


Figure A2.9. Plan (3, 4) de l'ACM pour le tableau Z2(123, 38). Cas des 38 points colonnes

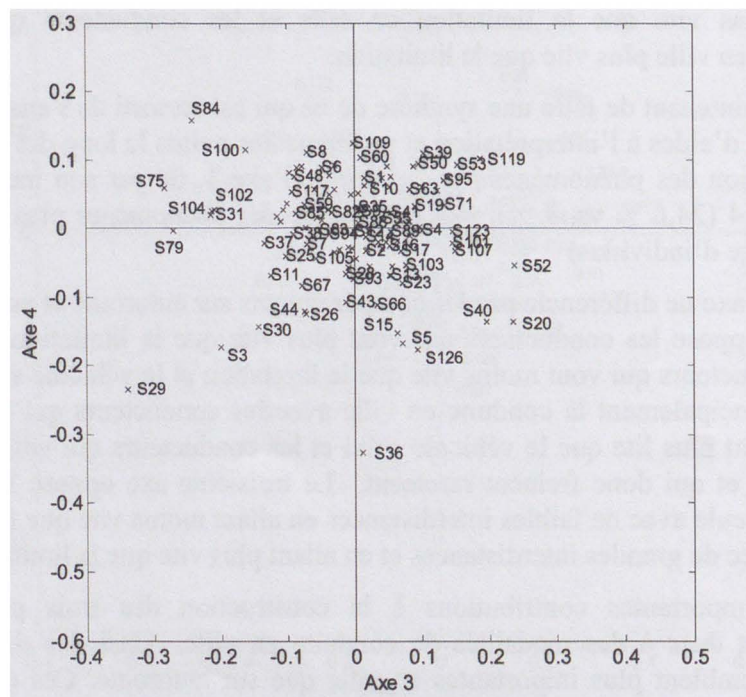


Figure A2.10. Plan (3, 4) de l'ACM pour le tableau Z2(123, 38). Cas des 123 points lignes

Après avoir analysé les données non-temporelles de tests et de questionnaires puis les données de conduite, passons maintenant à la mise en relation de ces deux types de données.

3.3. Mise en relation des données temporelles et des données non-temporelles (Analyse du tableau Z)

Rappelons que le tableau $Z(123,40)$ regroupe les valeurs des différentes modalités relatives aux données psychologiques retenues dans la première analyse et les modalités de conduite pour les 123 individus. On applique donc une ACM au tableau $Z(123,40)$ (cf. Figure A2.11). Le premier axe représente 13,7% de l'inertie totale des axes.

3.4. Points-colonnes

Le premier axe, qui représente 13,7% de l'inertie totale, est principalement contrôlé par les variables *Erreurs déclarés dans le DBQ*, *Inhibition* et *Recherche de sensations*. Le deuxième axe, qui représente 12,6% de l'inertie, traduit une correspondance apparait entre 1) la modalité *petite* de la variable *stress en conduite* (StressI) et 2) la modalité *petite* du *quotient intellectuel de performance* (QIPi). Cet axe met également en lumière une correspondance entre les modalités *grande* 1) du *quotient intellectuel de performance* (QIPh) et 2) du *nombre d'erreurs déclarées dans le DBQ* (BBQeh). La modalité *grande* de la variable *stress en conduite* (Stressh) contribue fortement à la formation du deuxième axe.

3.4.1. Points-lignes

Le nuage des points-lignes est relativement homogène (Figure A2.12).

3.4.2. Interprétation

La figure A2.13 représente les points supplémentaires caractérisant les différents groupes d'âge, de sexe et de combinaisons de ces deux facteurs. L'âge semble avoir une influence (sur le premier axe). Les jeunes semblent avoir un niveau plus important de recherche de sensations et des meilleurs temps de réactions au test d'inhibition que les personnes d'âge moyen et les personnes âgées.

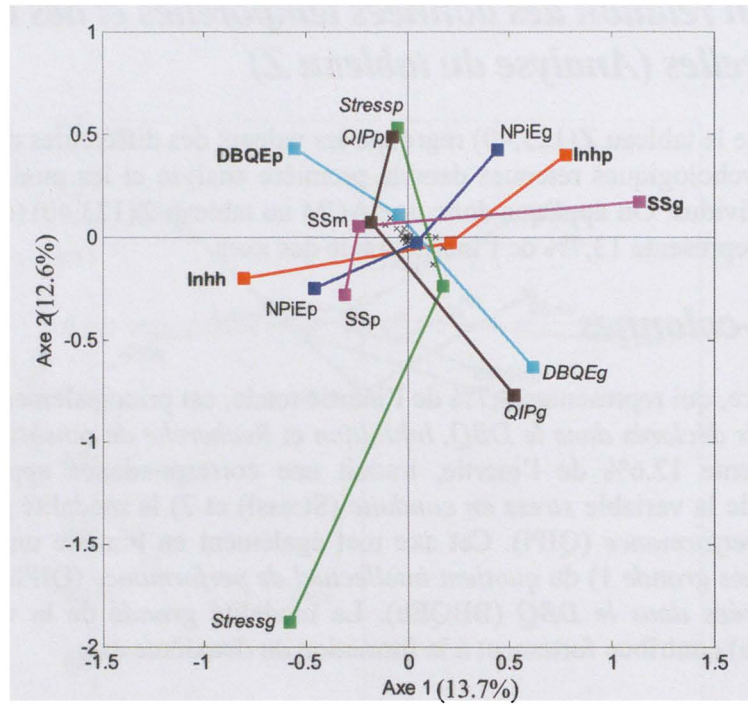


Figure 54. Plan (1, 2) de l'ACM pour le tableau Z(123,40). Cas des 40 points colonnes

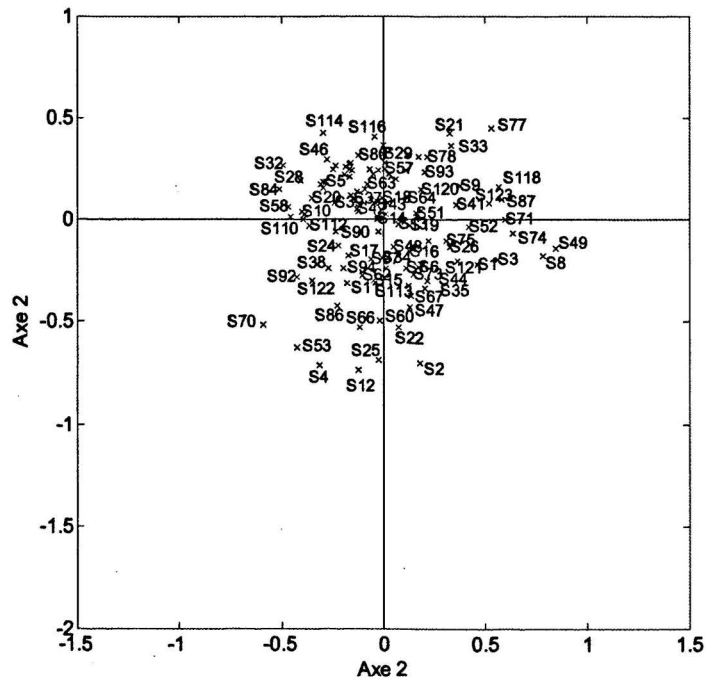


Figure 55. Plan (1, 2) de l'ACM pour le tableau Z(123,40). Cas des 123 points lignes

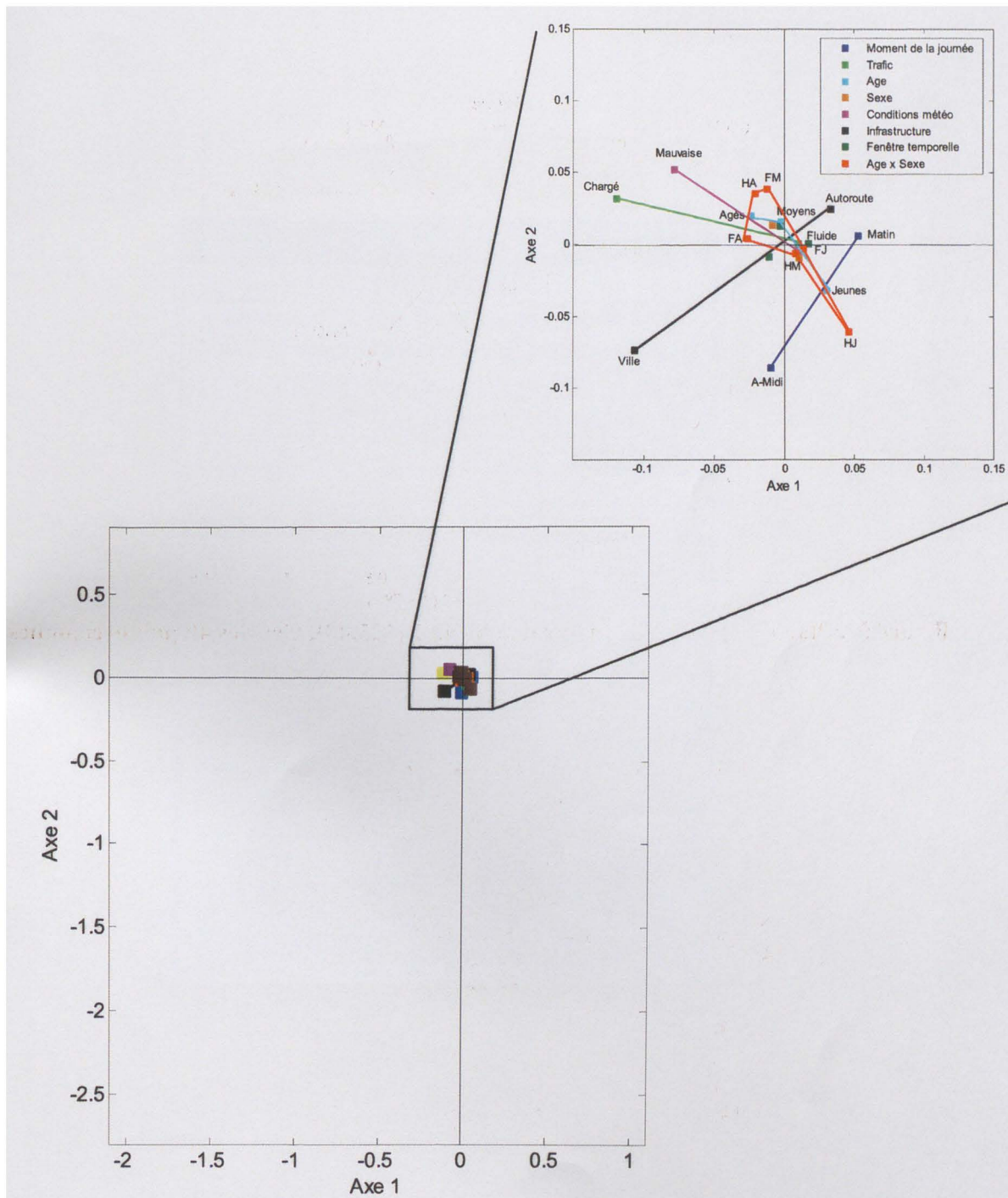


Figure 56. Plan (1, 2) de l'ACM pour le tableau Z(123,40). Cas des points lignes supplémentaires correspondant au 2 sexes, 3 classes d'âge et la combinaison de ces 2 facteurs

Ceci clôture les ACM des différents tableaux. Rappelons quelles ont été reléguées en annexe, n'ont pas de par leur manque d'intérêt, mais en raison de leur complexité (les points lignes et les points colonnes ont une sémantique riche, inhérents aux aspects MFMV) et de la place importante nécessaire aux graphiques et à leurs commentaires.

Bibliothèque Universitaire de Valenciennes



00900621