

Université LUMIERE Lyon 2

Institut de Psychologie
Laboratoire d'Etude et d'Analyse de la Cognition et des Modèles (LEACM)

Ecole Doctorale : Economie, Espace, Modélisation des Comportements (E²MC)

Thèse de Doctorat en Psychologie Cognitive Nouveau régime

Présentée et soutenue publiquement par Béatrice Elisabeth BAILLY

Le 13 Décembre 2004

Conscience de la Situation des Conducteurs : Aspects fondamentaux, méthodes, et application pour la formation des conducteurs

Sous la direction de Monsieur Le Professeur Robert MARTIN

Devant le jury composé de : - Mr Robert MARTIN, Professeur, Université Lumière Lyon II, - Mr Claude BASTIEN, Professeur, Université de Provence (Rapporteur) - Mr Guy BOY, HDR EURISCO Int., Toulouse (Rapporteur) - Mr Yves CROZET, Professeur, Université Lumière Lyon II - Mr André CHAPON, Directeur de Recherche, INRETS-LESCOT, Bron - Mr Thierry BELLET, Ingénieur de Recherche, INRETS-LESCOT, Bron - Mr René CHOMETTE, PDG, CESR-ECF, Bron

Table des matières

- Remerciements
- GLOSSAIRE
- Introduction
 - ♦ Contexte général et problématique de la thèse
 - ♦ Organisation générale de la thèse
- Chapitre 1. La Conscience de la Situation
 - ♦ 1.1-La théorie de R Mica Endsley
 - ◇ 1.1.1-Le modèle Conscience de la situation Endsley 1988-2003
 - 1.1.1.1 Traitement pré-attentif
 - 1.1.1.2 Attention
 - 1.1.1.3 Perception
 - 1.1.1.4 Mémoire
 - 1.1.1.4.1 Mémoire de travail
 - 1.1.1.4.2 Mémoire à long terme
 - 1.1.1.5 Automatismes
 - 1.1.1.6 Buts
 - ◇ 1.1.2 Erreurs de Conscience de la situation

- ◆ 1.2. Prise de décision et Conscience de la Situation
- ◆ 1.3 Le cycle Perception-Action
 - ◇ 1.3.1 Le cycle perception-action de Neisser
 - ◇ 1.3.2 Conscience de la Situation et Cycle Perception-Action
- ◆ 1.4 Théorie de l'activité et Conscience de la Situation
 - ◇ 1.4.1 Qu'est-ce que la théorie de l'activité ?
 - ◇ 1.4.2 Place de la Conscience de la Situation dans l'activité
- Chapitre 2. L'apport des Travaux Soviétiques des années 1940-70
- Chapitre 3. Application de la Conscience de la Situation à la conduite automobile
 - ◆ 3.1 Qu'est-ce que la conduite automobile ?
 - ◇ 3.1.1 La conduite automobile, une activité de contrôle de processus
 - 3.1.3.1 Les environnements dynamiques
 - 3.1.3.2 Activités cognitives de contrôle de processus, le diagnostic
 - ◇ 3.1.2 L'activité cognitive du conducteur automobile
 - 3.1.2.1 Prélèvement de l'information dans l'environnement
 - 3.1.2.2 Place de la représentation mentale dans l'activité du conducteur automobile : COSMODRIVE
 - ◆ 3.2 Les Ressources Cognitives des Conducteurs
 - ◇ 3.2.1 Qu'est-ce que l'attention ?
 - 3.2.1.1 La sélection de l'information pertinente : l'attention sélective
 - 3.2.1.2 À quel niveau situer le filtre de l'attention sélective ?
 - 3.2.1.3 Répartir l'attention entre des tâches : l'attention partagée
 - 3.2.1.2 Les processus ne nécessitent pas tous de l'attention
 - ◇ 3.2.2 Manque de ressources et conduite, exemple de l'utilisation du téléphone au volant
 - ◇ 3.2.3 Ressources cognitives du conducteur et Représentation de la Situation
 - ◆ 3.3 L'expérience de conduite
 - ◇ 3.3.1 Rôle de l'expérience sur l'activité cognitive d'un opérateur
 - 3.3.1.1 Richesse des connaissances permanentes
 - 3.3.1.2 Pertinence des informations sélectionnées dans l'environnement
 - 3.3.1.3 Flexibilité et niveaux de contrôle de l'activité
 - ◇ 3.3.2 Effet de l'expérience sur la conduite automobile
 - ◇ 3.3.2 Conscience de la situation et Expérience de conduite
 - ◆ 3.4 Les conducteurs âgés

◊ 3.4.1 Changements fonctionnels dus à l'âge pouvant affecter la conduite

◊ 3.4.2 Performance de conduite des conducteurs âgés

◊ 3.4.3 Effet de l'âge en terme de CS et de conduite

◆ 3.5 Comment Analyser les représentations mentales des conducteurs ?

◊ 3.5.1 La cécité au changement (change blindness)

◊ 3.5.2 Faire émerger les représentations mentales, la technique du rappel impromptu

• Chapitre 4. Élaboration d'un outil d'analyse des représentations mentales du conducteur : OSCAR

◆ 4.1- Filiation d'OSCAR

◊ 4.1.1- Le dessin d'une scène finale de vidéo

◊ 4.1.2- Des consignes de dessin plus restreintes

◆ 4.2- Présentation d'OSCAR

◊ 4.2.1- Le matériel

- 4.2.1.1- le choix des séquences
- 4.2.1.2 Les modifications
- 4.2.1.3- Le montage d'OSCAR

◊ 4.2.2- Expérimentation d'OSCAR

- 4.2.2.1- Passation et consignes
- 4.2.2.2- Les sujets
 - 4.2.2.2.1- Les conducteurs expérimentés (groupe de référence)
 - 4.2.2.2.2- Les conducteurs non expérimentés
 - 4.2.2.2.3- Les conducteurs âgés

◆ 4.3-Résultats de la première expérimentation

◊ 4.3.1 Le groupe de référence

- 4.3.1.1 Groupe de référence en condition de simple tâche
 - 4.3.1.1.1 La nature de l'objet modifié a-t-elle une influence sur les performances de détections du groupe de référence ?
 - 4.3.1.1.2 La distance de l'objet modifié a-t-elle une influence sur les performances de détections du groupe de référence ?
 - 4.3.1.1.3 Synthèse des résultats du groupe de référence en simple tâche
- 4.3.1.2 Impact de la double tâche sur les performances du groupe de référence
 - 4.3.1.2.1 La nature de l'objet modifiée influe-t-elle les performances de détections du groupe de référence en DT ?
 - 4.3.1.2.2 Impact de la DT en fonction de la nature de l'élément

modifié

- 4.3.1.2.3 La distance de l'objet modifié influence-t-elle sur les performances de détections du groupe de référence en DT ?
- 4.3.1.2.4 Impact de la DT en fonction de la distance de l'élément modifié
- 4.3.1.2.5 Synthèse des résultats du groupe de référence en double tâche

◇ 4.3.2 L'effet de l'expérience

- 4.3.2.1 L'effet de l'expérience en condition de simple tâche
 - 4.3.2.1.1 Effet de l'expérience et nature des éléments modifiés en ST
 - 4.3.2.1.2 Effet de l'expérience et distance des éléments modifiés en ST
 - 4.3.2.1.3 Synthèse des résultats des novices en simple tâche
- 4.3.2.2 L'effet de l'expérience en situation de double tâche
 - 4.3.2.2.1 Effet de l'expérience et nature des éléments modifiés en DT
 - 4.3.2.2.2 Impact de la DT en fonction de l'expérience et de la nature des éléments modifiés.
 - 4.3.2.2.3 Effet de l'expérience et de la distance des éléments modifiés en DT
 - 4.3.2.2.4 Impact de la DT en fonction de l'expérience et de la distance des éléments modifiés
 - 4.3.2.2.5 Synthèse des résultats des novices en double tâche

◇ 4.3.3 Discussion de la première expérimentation

◆ 4.4-Résultats de la deuxième expérimentation

◇ 4.4.1 L'effet de l'âge

- 4.4.1.1 L'effet de l'âge en condition de simple tâche
 - 4.4.1.1.1 Effet de l'âge et nature des éléments modifiés en ST
 - 4.4.1.1.2 Effet de l'âge et distance des éléments modifiés en ST
 - 4.4.1.1.3 Synthèse des résultats des âgés en simple tâche
- 4.4.1.2 Diminution des ressources cognitives disponibles et effet de l'âge
 - 4.4.1.2.1 Effet de l'âge et nature des éléments modifiés en DT
 - 4.4.1.2.2 Impact de la DT en fonction de l'âge et de la nature des éléments modifiés
 - 4.4.1.2.3 Effet de l'âge et distance des éléments modifiés en DT
 - 4.4.1.2.4 Impact de la DT en fonction de la distance des éléments modifiés
 - 4.4.1.2.5 Synthèse des résultats des « âgés témoins » en double tâche
- 4.4.1.3 Discussion « effet de l'âge »

◇ 4.4.2 Comparaison effet de l'âge vs manque d'expérience

- 4.4.2.1 Effet de l'âge et manque d'expérience en ST
 - 4.4.2.1.1 Comparaison des performances, âgés vs novices, en fonction de la nature des éléments modifiés
 - 4.4.2.1.2 Comparaison des performances, âgés vs novices, en fonction de la distance des éléments modifiés
- 4.4.2.2 Effet de l'âge et manque d'expérience en DT
 - 4.4.2.2.1 Comparaison des performances, âgés vs novices, en fonction de la nature des éléments modifiés en DT
 - 4.4.2.2.2 Comparaison de l'impact de la DT en fonction de la nature des éléments modifiés
 - 4.4.2.2.3 Comparaison des performances en fonction de la distance des éléments modifiés
 - 4.4.2.2.4 Comparaison de l'impact de la DT en fonction de la distance des éléments modifiés
- 4.4.2.3 Discussion Effet de l'âge vs manque d'expérience

◇ 4.4.3 Conducteurs âgés et âgés multi accidentés

- 4.4.3.1 Les multi-accidentés en simple tâche
 - 4.4.3.1.1 La nature des éléments modifiés a-t-elle une influence sur les performances de détections des conducteurs « âgés cas » en ST ?
 - 4.4.3.1.2 La distance des éléments modifiés a-t-elle une influence sur les performances de détections des conducteurs « âgés cas » en ST ?
 - 4.4.3.1.3 Synthèse des résultats des âgés cas en simple tâche
- 4.4.3.2 Les multi accidentés en double tâche
 - 4.4.3.2.1 La nature des éléments modifiés a-t-elle une influence sur les performances de détections des conducteurs « âgés cas » en DT ?
 - 4.4.3.2.2 Impact de la DT pour les « âgés témoins » vs les « âgés cas » en fonction de la nature des éléments modifiés
 - 4.4.3.2.3 La distance des éléments modifiés a-t-elle une influence sur les performances de détections des conducteurs « âgés cas » ?
 - 4.4.3.2.4 Impact de la DT pour les « âgés témoins » vs les « âgés cas » en fonction de la distance des éléments modifiés
- 4.4.3.3 Discussion OSCAR-VISA

◆ 4.5 Discussion Générale sur OSCAR

◇ 4.5.1 Notre champ d'investigation

◇ 4.5.2 Nos principaux résultats : synthétiquement mais, concrètement

- 4.5.2.1 Représentation mentale de la situation de conduite
- 4.5.2.2 Représentation mentale de la situation de conduite et mutli-activité

◇ 4.5.3 Atouts et limites Méthodologiques

• Chapitre 5. Évolution du protocole : ICARE

◆ 5.1- de Oscar à Icare

◇ 5.1.1 Utilisation de la 3D

- 5.1.1.1 Modélisation des scènes
 - 5.1.1.1.1 Calibration du monde 3D
 - 5.1.1.1.2 Caractérisation des modifications
- 5.1.1.2 Réponses des sujets

◇ 5.1.2 Les données recueillies

◆ 5.2- OSCAR vs ICARE

◇ 5.2.1 Matériel et passation

- 5.2.1.2 Matériel
- 5.2.1.3 Passation
- 5.2.1.4 Les sujets

◇ 5.2.2 Comparaison des résultats OSCAR vs ICARE

- 5.2.2.1 Oscar vs Icare, en simple tâche
 - 5.2.2.1.1 Oscar vs Icare, en fonction de la nature des éléments modifiés
 - 5.2.2.1.2 Oscar vs Icare, en fonction de la distance des éléments modifiés
- 5.2.2.2 Oscar vs Icare, en double tâche
 - 5.2.2.2.1 Oscar vs Icare, en fonction de la nature des éléments modifiés
 - 5.2.2.2.2 Impact de la DT en fonction de la nature des éléments modifiés
 - 5.2.2.2.3 Oscar vs Icare, en fonction de la distance des éléments modifiés
 - 5.2.2.2.4 Impact de la DT en fonction de la distance des éléments modifiés

◇ 5.2.3 Conclusion OSCAR vs ICARE

◆ 5.3- Les données supplémentaires d'ICARE

◇ 5.3.1 Les réponses justes « oui, la scène a été modifiée » (oui_R)

- 5.3.1.1 Des résultats plus fins sur les détections de modifications

- 5.3.1.1.1 Modification sur les événements
- 5.3.1.1.2 Modification sur la signalisation
- 5.3.1.2 Des niveaux de justesse des réponses
 - 5.3.1.2.1 Niveaux de justesses des réponses en fonction de la nature des modifications
 - 5.3.1.2.1 Niveaux de justesses des réponses en fonction de la distance des modifications
- 5.3.1.3 Conclusion sur les réponses oui_R
- ◊ 5.3.2 Les non détections de modifications (PMV)
 - 5.3.2.1 Type de réponses fausses en fonction de la nature des éléments modifiées
 - 5.3.2.2 Types de réponses fausses en fonction de la distance des éléments modifiés
 - 5.3.2.3 Conclusion sur les non détections de modifications (PMV)
- ◊ 5.3.3 Les réponses non attendues (oui_NA)
 - 5.3.3.1 Nature et distance des changements non attendus
 - 5.3.3.2 Types de changements non attendus
 - 5.3.3.3 Conclusions sur les réponses non attendues (oui_NA)
- ◊ 5.3.4 Le feed-back visuel
 - 5.3.4.1 Des reconstitutions parfaites
 - 5.3.4.2 Des cas atypiques, les changements non attendus en images
 - 5.3.4.3 Visualisation du décalage par rapport au dynamisme de la situation
 - 5.3.4.3.1 Retard sur un élément et retard global sur le dynamisme de la situation
 - 5.3.4.3.2 Anticipation sur le dynamisme des événements
 - 5.3.4.3 Conclusion sur le feed-back visuel

◆ 5.4- Discussion sur ICARE

• Chapitre 6. Une nouvelle génération d'outils pour la formation des conducteurs

◆ 6.1 DriveSmart

◊ 6.1.1 Présentation du CD-ROM DriveSmart

◊ 6.1.2 Critique de DriveSmart

◆ 6.2 CD-DRIVE real world simulator

◆ 6.3 SenseableDriving

◊ 6.3.1 Présentation de SenseAble Driving

◊ 6.3.2 Critique de SenseAble Driving

- Chapitre 7. Conclusions et Perspectives

- ♦ 7.1 Conclusions

- ◊ 7.1.1 Des théories polysémiques ?

- ◊ 7.1.2 Un protocole, des résultats, des pistes d'investigations

- ♦ 7.2 Perspectives

- ◊ 7.2.1 Développement à venir pour des outils de formations

- 7.2.1.1 Support pour la formation collective

- 7.2.1.2 Une application autonome

- ◊ 7.2.2 Autre champ d'application

- Références Bibliographiques

- Publications

- ♦ Article, rapport,

- ♦ Présentation Poster

- ♦ Plaquette de vulgarisation scientifique

- Index des Auteurs

- ♦ A

- ♦ B

- ♦ C

- ♦ D

- ♦ E

- ♦ F

- ♦ G

- ♦ H

- ♦ J

- ♦ K

- ♦ L

- ♦ M

- ♦ N

- ♦ O

- ♦ P

- ♦ R

- ♦ S

- ♦ T

- ♦ U

- ♦ V

- ♦ W

- ♦ Z

- Index des Matières

- Annexes

- ♦ Annexe 1 : Modélisations de la Mémoire De Travail

- ◊ Deux registres de mémoire: le modèle modal
- ◊ De la mémoire à court terme à la mémoire de travail
- ◊ Les théories de l'activation

◆ Annexe 2 : La Théorie des schémas

- ◊ Les scripts – Schank
- ◊ Les frames - Minsky

- ◆ Annexe 3 : L'Erreur Humaine, James Reason
- ◆ Annexe 4 : Architecture du Module Tactique de Comsodrive (Bellet 2003)
- ◆ Annexe 5 : Protocole Expérimental de C. Bolsatd (2001)
- ◆ Annexe 6: Images Finales Originales et Modifiées OSCAR & ICARE
- ◆ Annexe 7 : Table de L'écart-réduit
- ◆ Annexe 8 : Capture d'écran ICARE : Accueil
- ◆ Annexe 9 : Capture d'écran ICARE : Modeleur de scènes et trieur de scènes
- ◆ Annexe 10 : Capture d'écran ICARE : Questionnaire sujet
- ◆ Annexe 11 : Capture d'écran ICARE : Interface OSCAR
- ◆ Annexe 12: Capture d'écran ICARE : Feed-back visuel
- ◆ Annexe 13 : Exemple de Fichier Sujet ICARE, sujet 34
- ◆ Annexe 14 : Extrait de Fichier Perf ICARE, sujet 24
- ◆ Annexe 15 : Capture d'écran du logiciel CD-DRIVE : Correction du module 'Hazard detection

Remerciements

Arrivée indemne à la fin de ce parcours, je tiens à remercier les personnes qui professionnellement ou personnellement m'ont aidée à poursuivre ce chemin.

Tout d'abord, Monsieur le Professeur Robet Martin, Directeur du LEACM pour avoir accepté de diriger cette thèse. Mais aussi, Madame Corinne Brusque, Directrice du LESCOT, pour m'avoir accueillie dans son laboratoire lors de mon DEA et de ma Thèse.

Je tiens aussi à remercier Mr René Chomette et Mr le Professeur Yves Crozet d'avoir accepté de participer au jury de cette thèse. Ainsi que Mr le Professeur Guy Boy, Mr le Professeur Claude Bastien d'avoir accepté d'être mes rapporteurs.

Aussi, je remercie tout le personnel du LESCOT, pour leurs apports respectifs pendant ces presque quatre années. Particulièrement, Céline Goupil pour tout le travail sur les vidéos et les images indispensables à mon travail, et Catherine Gabaude pour m'avoir permis de participer à l'étude VISA.

Au sein du LESCOT, je tiens à exprimer ma gratitude plus spécialement à :

- Thierry Bellet, pour son accompagnement confiant et ouvert au cours de mon DEA et de ma Thèse. Pour la liberté de pensée et d'action qu'il a toujours su me laisser prendre, tout en étant présent et critique.
- André Chapon, pour ses discussions constructives, son esprit scientifique et critique, ainsi que pour sa confiance et son soutien.
- Niko et Fred, doctorants au LESCOT, pour leur bonne humeur, leur aide et leurs encouragements... bon courage pour terminer la partie du jeu de l'oie !
- Les stagiaires et autres CDD, mais plus particulièrement : Greg, Sandrine, Zahra, Olivier, toujours présents après la fin de leur contrat.

- Toujours à l'INRETS de Bron, mais hors LESCOT, je n'omets pas Jèf et Stèph pour leurs diverses interventions au cours de ce travail.

En dehors de l'INRETS, je tiens à remercier

- André Bisseret pour sa disponibilité, sa relecture et ses nombreux mails explicatifs.
- Outre atlantique, R Mica Endsley, ses articles m'ont inculquée l'endurance et l'obstination en lecture !
- Claire Bélisle, pour son rôle décisif d'encadrante lors de mon stage de maîtrise.
- Danielle Morange, pour sa confiance au fil des années universitaires.
- Thierry Pupier, pour le soutien technique lors du développement et des heures de débogage d'ICARE !
- Laurent Sevrez pour ses lectures et son temps.
- La centaine de personnes pouvant se reconnaître sous le terme de « *sujet* » pour leur participation à mes expérimentations.

Je tiens également à remercier mes parents et ma famille pour leur présence et leur soutien inconditionnels. Mes père et grand-père scientifiques pour leur confiance et leur authenticité. Nicole pour son dévouement de correctrice obstinée ! Mais aussi, Le Barbu (le second correcteur indispensable) et Katalu, pour leur fidélité ; LN et Jack pour leur amitié et Jicé d'être là !

GLOSSAIRE

CS : Conscience de la Situation

MLT : Mémoire à Long Terme

MDT : Mémoire de travail

MLDT : Mémoire de travail à long terme

RTC : Représentation Tactique Courante

RA : Représentation Anticipée

COSMODRIVE : Cognitive Simulation Model of the DRIVER

AT : Théorie de l'Activité

OSCAR : Outil Standardisable pour la Comparaison et l'Analyse des Représentation mentales des conducteurs

ST : Simple Tâche

DT : Double Tâche

ICARE : Interactive tool to raise Car-driver Awareness for Road safEty

Oui_R : Réponse « oui la scène a été modifiée » + bonne réponse

Oui_NA : Réponse « oui la scène a été modifiée » + mauvaise réponse

PMV : Plan Modification Vide

PMV_non : Plan Modification Vide car réponse « non, la scène n'a pas été modifiée »

PMV_nsp : Plan Modification Vide car réponse « je ne sais pas si la scène a été modifiée »

PMV_na : Plan Modification Vide car réponse « oui, la scène a été modifiée » + mauvaise réponse

« Savoir que l'on sait ce que l'on sait,
et savoir que l'on ne sait pas ce que l'on ne sait pas :
voilà la véritable science. »
Confucius, Lun-Yu

« C'est souvent par approximation que l'on réagit devant un phénomène nouveau :
on cherche le morceau de contenu, déjà présent dans notre encyclopédie,
qui pourra rendre plus ou moins bien raison du fait nouveau »
Umberto ECO, Kant et l'ornithorynque, p61

Introduction

Contexte général et problématique de la thèse

Si l'on vous demandait de fermer les yeux alors que vous conduisez et que le temps s'arrête à cet instant précis, seriez-vous capable de décrire la situation ? Le passager assis à vos côtés, qui lui aussi a fermé les yeux, décrirait-il la même scène que vous ? Un très jeune conducteur vient de prendre votre place, et l'on réitère l'expérience avec lui. Que décrirait-il ? Nous pourrions également interroger Olivier, commercial, qui conduit en préparant mentalement le rendez-vous auquel il se rend ou Catherine, munie de son kit main-libre qui téléphone pour régler les derniers préparatifs de la journée ou encore Jean-Claude qui cherche son itinéraire sur une carte routière... Nous pourrions lister d'autres usagers de la route à qui poser la même question. Tous ces conducteurs face à la même situation routière, décriraient-ils les mêmes choses ? Comprendraient-ils les mêmes choses ? Prendraient-ils les mêmes décisions ?... Pourtant, chaque jour, sur la route, ces personnes, et bien d'autres encore circulent en même temps ! Certes, ils ne ferment pas les yeux, mais le temps ne s'arrête jamais. C'est pourquoi à chaque instant, chacun de nous doit avoir une bonne compréhension de la situation, afin de prendre des décisions sécuritaires. La plupart du temps, la majorité prend les meilleures décisions au bon moment. Cependant, dans les autres cas, la situation devient critique, voire accidentogène, pire encore c'est l'accident.

Cette capacité à prendre la bonne décision au bon moment repose sur une activité cognitive complexe et pourtant quotidienne pour chacun de nous. La récente théorie de la Conscience de la Situation vise à rendre compte de cette réalité cognitive. Cependant, cette théorie renvoie à un concept plus classique de la psychologie cognitive : les représentations mentales. Les représentations mentales sont des objets cognitifs que l'humain construit mentalement afin de comprendre le monde et d'interagir avec son environnement. Elles n'existent que dans la tête de l'humain... il est donc difficile pour le scientifique de les analyser directement.

Par ailleurs, le développement des nouvelles technologies et leur intégration dans les habitacles automobiles ont modifié l'activité du conducteur. En effet, nous avons de plus en plus l'occasion de mener d'autres activités pendant que nous conduisons (eg : téléphoner). Depuis une dizaine d'années, de nombreux travaux ont cherché à mesurer l'impact de la multi activité des conducteurs. Cependant, peu d'études ont tenté de l'aborder du point de vue des représentations mentales élaborées par le conducteur. Néanmoins, c'est sur la base de cette représentation / Conscience de la Situation que le conducteur va raisonner, prendre des

décisions, planifier ses actions : si elle est erronée, il risque de prendre de mauvaises décisions et d'engager des actions inadéquates. Dès lors, l'étude des représentations mentales (et des mécanismes cognitifs qui les génèrent) constitue un objectif important en matière de sécurité routière.

L'objectif de cette thèse a donc été d'élaborer un outil d'analyse des représentations mentales du conducteur. Cet outil devait pouvoir rendre compte du contenu et de la qualité des représentations en fonction de différentes sources de variation. Trois types de variations seront abordées : l'expérience de conduite, l'existence ou non d'une tâche parallèle, et l'âge des conducteurs. Cet outil, OSCAR, a donc été testé auprès de plusieurs populations de conducteurs. Ceci à la fois pour comprendre l'origine de certains accidents, mais aussi pour analyser les capacités respectives - en matière d'élaboration et de manipulation de ces représentations - de différentes populations de conducteurs (e.g. conducteurs novices, âgés). Cette recherche s'est déroulée dans le cadre d'une allocation de recherche allouée par le Laboratoire d'Ergonomie et de Sciences Cognitives pour les Transports (LESCOT) de l'Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS).

Organisation générale de la thèse

Au cours du premier chapitre nous verrons en détail la théorie de Conscience de la Situation développée par R Mica Endsley dans le champ de l'aéronautique. Dans un premier temps, nous présenterons son modèle et la manière dont elle l'inscrit dans l'activité cognitive du pilote ou du contrôleur aérien (Endsley, 1995, 2000). Bien que ce modèle soit le plus connu, nous verrons ensuite que des auteurs ont envisagé d'autres manières de comprendre ce concept de Conscience de la Situation. Premièrement, nous présenterons le point de vue qui tend à rapprocher l'expérience et la conscience de la situation (Crane, 1992; Frederico, 1995). Deuxièmement, nous présenterons le point de vue d'Adams (1995) qui se réfère au cercle perception-action de Neisser (1976). Enfin, nous verrons que des auteurs situent le concept de Conscience de la Situation dans un champ théorique plus large : la théorie de l'activité reprise par Bedny & Meister (1999). Après un rapide retour sur cette théorie nous présenterons leur point de vue qui rapproche ce concept contemporain de travaux soviétiques plus anciens.

Ainsi notre second chapitre sera dédié à la présentation des travaux soviétiques des années 1940-1970, ainsi qu'aux travaux français qui en ont été largement inspirés. Nous commencerons par présenter les travaux de Dimitri Ochanine qui dans les années 50 introduit le concept d'image opérative. Après quoi nous présenterons les travaux de ses contemporains travaillant sur la mémoire des opérateurs (Smirnov, 1966; Zintchenko, 1939, 1945, 1966). Nous verrons par la suite que les travaux sur l'image opérative, et sur la mémoire opérationnelle ont été introduits en France dès l'arrivée de Zintchenko à Paris dans les années 70 (Bisseret, 1970; Spérando, 1975). Nous terminerons cette partie par un succinct retour théorique sur la notion de représentation mentale et plus précisément d'image mentale (Denis, 1979, 1989). Ainsi, nous pourrions comparer les concepts d'image opérative, de conscience de la situation et de représentation mentale.

Notre troisième chapitre nous permettra de replacer ces éléments théoriques dans le contexte de l'activité de conduite automobile. Après une brève présentation des caractéristiques de cette activité cognitive, nous l'analyserons plus particulièrement selon trois angles spécifiques : les ressources cognitives des conducteurs, l'expérience de conduite et les conducteurs âgés. Premièrement, nous parlerons des effets du manque de ressources cognitives sur l'activité de conduite. Après avoir expliqué ce que nous entendons par ressources cognitives, nous présenterons quelques résultats expérimentaux sur l'impact d'un manque de ressources cognitives sur l'activité de conduite. Puis, en dernier lieu, nous présenterons une recherche portant directement sur l'impact d'une activité parallèle sur la conscience de la situation des conducteurs. Deuxièmement, nous exposerons quels sont les effets de la pratique sur une activité, ensuite nous replacerons cette question dans l'activité de conduite, pour enfin voir les effets de l'expérience sur la conscience de la situation des conducteurs. Enfin troisièmement, nous aborderons la partie sur les conducteurs âgés. Dans un premier temps nous noterons les effets du vieillissement cognitif normal qui peuvent avoir un impact sur l'activité de conduite. Dans un second temps, à travers quelques résultats expérimentaux nous cernerons

quelles sont les difficultés rencontrées par cette population spécifique de conducteurs. Enfin, nous présenterons les travaux de Bolstad (2001; unpublished; 1995; 2000) sur la conscience de la situation des conducteurs âgés. Nous achèverons ce troisième chapitre par une présentation de méthodologies employées ces trente dernières années pour analyser les représentations mentales de divers opérateurs lors de leur activité.

Les chapitres 4 et 5 seront dédiés à nos méthodologies et à l'exposé de nos résultats expérimentaux. Lors de notre quatrième chapitre nous retracerons la filiation du protocole expérimental que nous avons mis en place au sein du LESCOT. Nous verrons qu'il découle de méthodologies axées vers une problématique de plus en plus précise : l'analyse des représentations mentales des conducteurs automobiles. Dans un second temps, nous présenterons OSCAR, le premier protocole expérimental que nous avons mis en œuvre. A la suite de quoi, nous passerons à la présentation des données expérimentales que nous avons recueillies auprès de trois populations distinctes : des conducteurs expérimentaux, des jeunes conducteurs et des conducteurs âgés. Après l'analyse et la discussion de ces résultats, nous présenterons le bilan d'OSCAR et les évolutions que nous avons souhaité lui apporter.

Dans le cinquième chapitre, nous présenterons notre second protocole expérimental : ICARE. Une présentation détaillée permettra d'analyser les évolutions méthodologiques fournies par rapport à OSCAR. Dans un second temps, nous testerons la validité d'ICARE en comparant les données expérimentales qu'il nous a permis de recueillir avec celles d'OSCAR. Puis, nous présenterons les nouvelles données qu'ICARE nous a permis de recueillir. Enfin, nous terminerons ce cinquième chapitre par une évaluation de ce nouveau protocole expérimental.

Nos deux derniers chapitres seront destinés à présenter les perspectives possibles d'ICARE. Après une présentation des nouveaux outils pour la formation des conducteurs (chapitre 6), nous verrons en quoi ICARE est porteur d'un fort potentiel applicatif dans le domaine de la formation à la conduite et aussi dans le domaine de l'assistance des conducteurs (chapitre 7)

Chapitre 1. La Conscience de la Situation

Depuis une trentaine d'années, le concept de *situation awareness* (ie : Conscience de la Situation : CS) est un thème incontournable dans les études de psychologie en aéronautique. A l'origine, ce terme était plus employé par les pilotes que par la communauté scientifique. Les premiers travaux n'ont analysé la conscience de la situation que sous l'angle de l'intégration multi-sensorielle et de la désorientation spatiale. En effet, l'essor du concept de conscience de la situation provient de la complexité croissante des environnements aéronautiques qui demandait aux pilotes, civiles et militaires, d'intégrer de plus en plus d'informations de divers formats. Ces premiers travaux menés principalement par des médecins ont rapidement montré leurs limites dans la compréhension des mécanismes impliqués dans la conscience de la situation.

Le développement de la psychologie cognitive, au début des années 80, a permis d'analyser le concept de Conscience de la Situation dans le cadre de la théorie du traitement de l'information et ainsi tenir compte des limites cognitives des opérateurs. En 1986, la Conscience de la Situation est alors définie comme *le facteur le plus important pour l'amélioration de l'efficacité d'une mission* (US Air Force 57th Fighter Weapons Wing).

Dès lors, de nombreuses définitions ont été proposées. Chacune semble exprimer une perspective particulière du concept (tableau 2, p56). Cependant, elles tentent toutes d'indiquer les composants ou le contenu de la CS, et la plupart d'entre elles mentionnent la dimension temporelle de la CS (Sarter & Woods, 1991). Ces définitions sont toutes appliquées aux pilotes de chasse et aux pilotes de ligne. Peu à peu, le concept de conscience de la situation s'est étendu à l'activité des contrôleurs aériens (Endsley & Smolensky, 1998; Neissen & Eyferth, 2001). Aujourd'hui le champ d'application de la conscience de la situation s'est élargi au delà de l'aéronautique. Cependant, que les auteurs appliquent ce concept aux attitudes d'achat sur Internet (Lee, Suh, & Whang, 2003) ou aux interventions médicales d'urgence (Blandford & William Wong, 2004) ils

se réfèrent très majoritairement à la définition et au modèle de R. Mica Endsley.

Pourtant deux autres approches ont été proposées pour expliquer la Conscience de la situation :

1. l'expertise et l'évaluation de la situation (Crane, 1992; Frederico, 1995)et
2. le cercle perception-action (Adams et al., 1995) .

Dans un premier temps nous présenterons le modèle dominant du monde anglo-saxon : le modèle d'Endsley, puis nous présenterons brièvement les deux autres approches de la Conscience de la Situation.

1.1-La théorie de R Mica Endsley

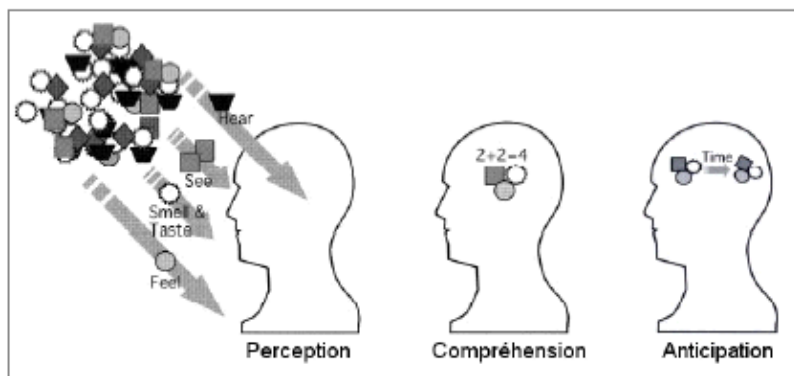
Le modèle de référence de Conscience de la Situation est celui proposé par R Mica Endsley (1988; 1995; 2000; Endsley & Jones, 2003). Comme nous allons le voir ce modèle positionne la conscience de la situation par rapport à la prise de décision et intègre les concepts d'attention, de mémoire de travail et d'expertise. Depuis 1988, le point commun entre tous les travaux de l'auteur est la définition de la Conscience de la Situation qu'ils proposent.

« La perception des éléments d'un environnement dans un volume de temps et d'espace, la compréhension de leur signification et la projection de leur état dans un futur proche »
(The perception of the elements in the environment within a volume of time and space, the comprehension of their meaning, and the projection of their status in the near future(Endsley, 1988, 1995, 2000; Endsley & Jones, 2003))

L'auteur considère la conscience de la situation en tant qu'état de connaissance que le sujet élabore de l'environnement dynamique dans lequel il évolue. En d'autres termes, la conscience de la situation, c'est savoir ce qu'il se passe et ce qu'il se passera autour de nous. Cependant, comme le montre la figure 1, sa définition lui permet de décomposer la conscience de la situation en trois niveaux hiérarchiques (Endsley, 1991) :

1. la perception des éléments dans l'environnement,
2. la compréhension de la situation courante,
3. la projection des états futurs.

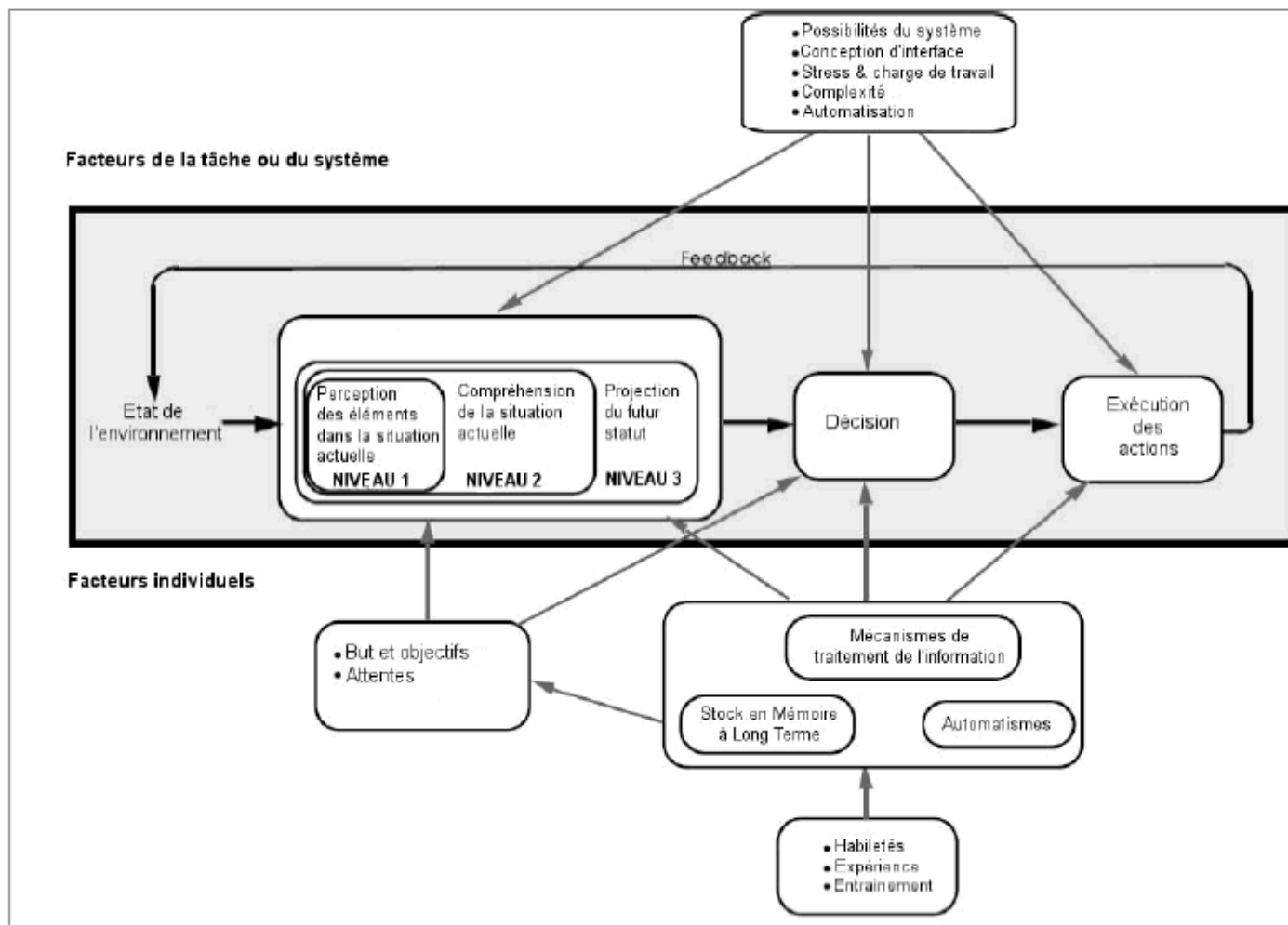
Figure 1 : Niveaux de Conscience de la Situation (Endsley, Bolté, & Jones, 2003)



Pour l'auteur, ces trois niveaux sont dépendants. En effet, le niveau 1 est une sorte de socle fondé sur la perception des éléments pertinents de la situation. Au niveau 2, ces éléments seront intégrés entre eux afin de comprendre la situation. Enfin, c'est sur la base de cette compréhension que des projections (ie : anticipation)

pourront être effectuées sur l'avenir de la situation (niveau 3). Par ailleurs, pour Endsley, le propre de la conscience de la situation est de précéder la prise de décision en situation dynamique. Endsley souligne les deux caractéristiques de ces situations afin de les distinguer des situations statiques. Premièrement, les décisions sont prises en un laps de temps restreint. Deuxièmement, elles dépendent d'une analyse de la situation continuellement mise à jour. Ce second point souligne l'aspect temporel de la Conscience de la Situation qui n'est pas acquise instantanément mais qui évolue, s'adapte au cours du temps. De plus, pour Endsley les prises de décisions et les actions des pilotes sont directement déterminées par leur Conscience de la Situation. De ce fait, plusieurs facteurs peuvent influencer le processus d'élaboration de la CS. Ces facteurs sont liés soit à l'opérateur soit à l'activité (figure 2). Les facteurs liés à l'activité correspondent aux caractéristiques de l'activité en cours.

Figure 2 : Conscience de la Situation et Prise de Décision en Situation Dynamique, traduit de Endsley 1995

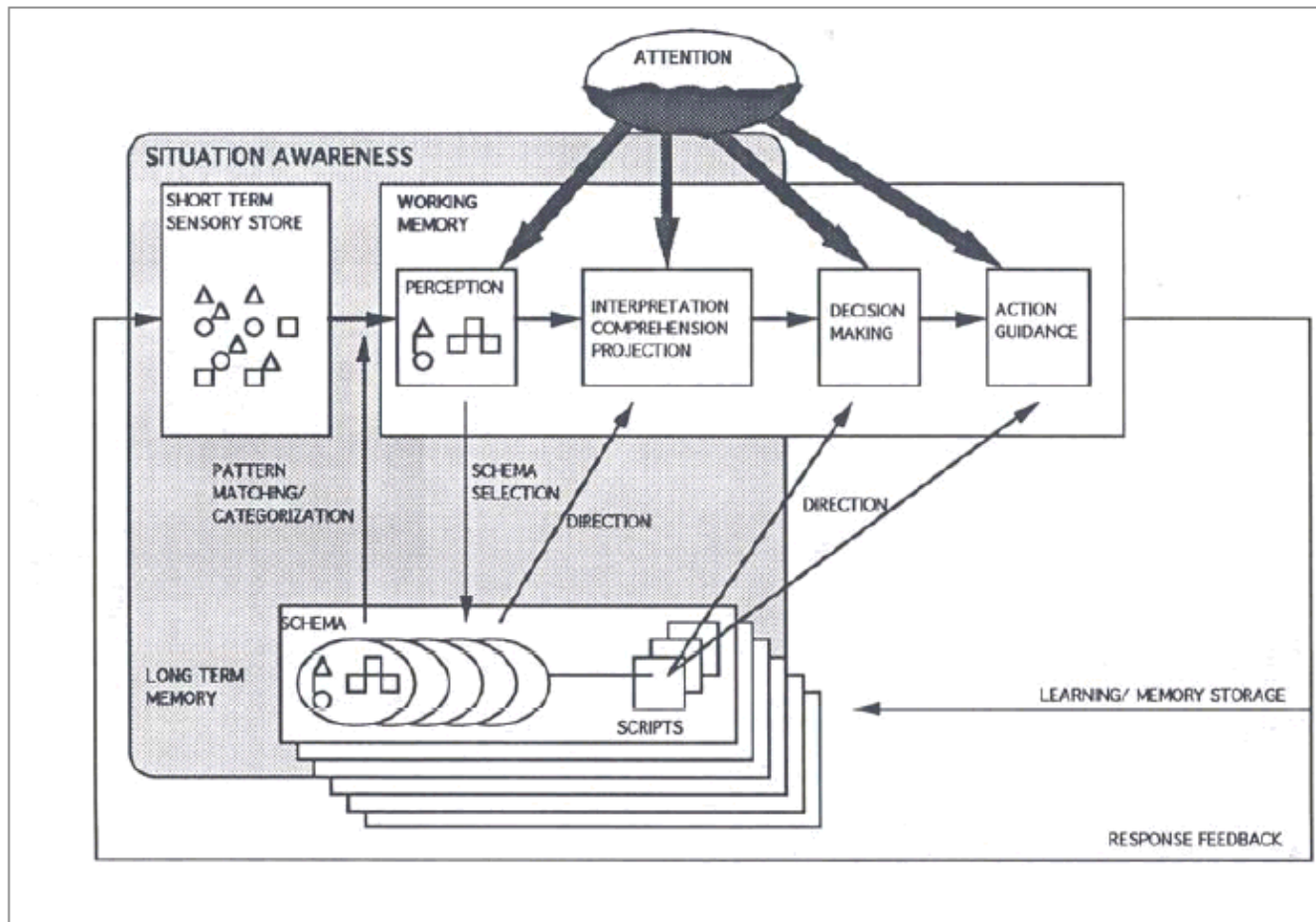


En effet, la Conscience de la Situation est très fortement liée à l'action en cours. En amont, la CS est en partie déterminée par les objectifs, les buts et les attentes de l'opérateur pour une tâche donnée. En aval, c'est la CS de l'opérateur qui guide ses prises de décisions et donc ses actions. De cette manière, la complexité de la tâche, mais aussi son niveau d'automatisation, la charge de travail et le stress qu'elle procure, les systèmes mis en jeu sont des éléments influant sur la CS (Endsley, 1995). Dans son article de 1988, Endsley présente son modèle de CS qui ne sera pas remis en cause au cours des années. Cependant, à partir de 2000 Endsley apporte quelques précisions fondamentales à son modèle.

1.1.1-Le modèle Conscience de la situation Endsley 1988-2003

La figure 3 est proposée par Endsley dès 1988. Elle reprend ce schéma dans son article de 1995 paru dans un numéro spécial de Human Factor dédié à la Conscience de la Situation. Pour l'auteur, cette figure est une description du rôle joué par chaque structure cognitive dans l'élaboration de la CS. Ce schéma fournit à l'auteur une trame pour la description de son modèle que nous allons également suivre dans cette partie.

Figure 3: Modèle de la Conscience de la Situation d'après Endsley (1995)



1.1.1.1 Traitement pré-attentif

Endsley fait référence à Norman (1976) et Wickens (1992) pour rappeler que selon la plupart des recherches sur le traitement de l'information, les caractéristiques de l'environnement sont d'abord traitées en parallèle à un niveau pré-attentif (ie : mémoire sensorielle). A ce niveau, certaines propriétés sont détectées comme la proximité spatiale, la couleur, les propriétés simples de forme, ou le mouvement. Ces propriétés fournissent des « points » où l'attention se focalisera. En effet, les objets les plus saillants seront traités à un niveau attentionnel pour réaliser la perception qui est le premier niveau de CS décrit par Endsley.

1.1.1.2 Attention

La capacité du sujet à traiter simultanément différents points de son environnement et/ou à des niveaux différents sont, d'après Endsley, les limites majeures à l'élaboration de sa Conscience de la Situation. L'auteur souligne que, dans un système complexe et dynamique, d'une part, il est nécessaire de traiter rapidement de

multiples informations à des niveaux différents, et d'autre part, la prise de décisions rapide peut excéder les capacités attentionnelles de certains individus. C'est pourquoi, des stratégies, mettant en œuvre la mémoire à long terme et la mémoire de travail, permettent de palier ces difficultés, nous les développerons plus loin. En résumé, le sujet focalise son attention sur les éléments de l'environnement directement en lien avec ses objectifs grâce à ses connaissances acquises pour une telle situation. Cependant, cette limitation attentionnelle qui mène l'opérateur à se centrer sur certains points, l'entraîne inexorablement à en négliger d'autres ce qui, dans un système complexe, peut très vite mener à une mauvaise interprétation. Endsley souligne que d'autres méthodes peuvent être mises en place comme le développement d'automatismes ou encore l'augmentation des capacités attentionnelles par l'entraînement (mises en situation répétées). Par ailleurs, Endsley souligne que les limites attentionnelles dépendent également des capacités des sujets à diviser leur attention. Elle rappelle alors que le partage d'attention est une compétence qui peut être apprise et que certaines personnes y réussissent mieux que d'autres.

1.1.1.3 Perception

Pour Endsley, la perception de l'information est dirigée par le contenu de la mémoire de travail et de la mémoire à long terme.

Endsley souligne particulièrement que l'attente d'une information influence la rapidité de perception de celle-ci. En effet, présupposer les caractéristiques, les localisations, et la nature des éléments de la scène facilite leur traitement perceptif. Endsley illustre cette idée par une étude sur les pilotes de chasse réalisée par Jones (1977). Les résultats mettent en évidence deux tendances. Premièrement, les pilotes perçoivent plus rapidement des informations en accord avec leurs attentes. Deuxièmement, ils font plus d'erreur si l'environnement n'est pas en accord avec les attentes. Ainsi, l'expérience répétée d'un environnement développe des "attentes" d'informations spécifiques à ce dernier. De cette manière, Endsley souligne le lien entre la perception et les catégories de connaissances de situations stockées au cours de l'expérience en mémoire à long terme. Enfin, pour Endsley il est important de noter que la classification de la situation réalisée à l'étape de perception, d'une part, est fonction de la connaissance disponible pour faire de telles classifications, et d'autre part, produira les éléments de niveau 1 de la Conscience de la Situation. Cette approche de la perception est proche de la conception de Bruner (1957; 1958), elle-même considérée comme une des bases les plus importantes de la psychologie actuelle de la perception. Selon Bruner, la perception n'implique pas une analyse exhaustive d'un objet ou d'une situation. Elle ne prend en compte que quelques indices sur le stimulus. Ils permettent de classer le stimulus dans une catégorie d'équivalence *cette chose est ronde, sa surface n'est pas lisse, c'est de couleur orangée, de telle et telle dimension, c'est donc une orange...* (Bruner, 1957, p123). En outre, la perception n'est pas passive, le sujet cherche d'une façon active les indices caractéristiques d'une série d'objets qu'il s'attend à percevoir. Enfin, pour Bruner, les perceptions antérieures constituent un contexte permettant au sujet de connaître la probabilité d'occurrence de tel ou tel événement grâce aux expériences passées des contextes et d'événements semblables.

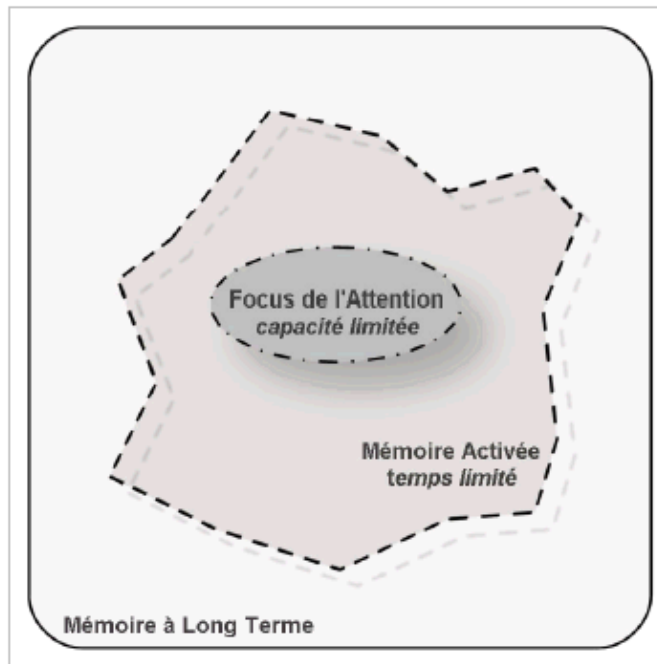
1.1.1.4 Mémoire

1.1.1.4.1 Mémoire de travail

Endsley (2000) se réfère à une conception de la mémoire de travail (MdT) selon Cowan (1988). De ce point de vue, Endsley définit la mémoire de travail comme les éléments activés en mémoire à long terme. Le focus attentionnel est alors considéré comme les éléments activés consciemment. Pour Cowan (1998), la mémoire de travail est composée (1) d'un focus de l'attention dont la capacité est limitée, et (2) de la partie temporairement activée de la mémoire permanente, qui se prolonge au delà du centre de l'attention car elle inclut de l'information automatiquement activée (figure 4). Le modèle de Cowan insiste sur l'inutilité de concevoir une mémoire de travail comme une structure distincte de la mémoire à long terme. En effet, ce modèle est basé sur l'idée d'un continuum d'activation qui irait de la mémoire à long terme jusqu'au focus

attentionnel. Plus un nœud du réseau constituant la mémoire à long terme sera actif, plus le sujet sera conscient de manipuler ce concept. Ce modèle est donc basé sur la notion d'activation ce qui n'est pas le cas de tout les modèles de mémoire de travail (annexe 1).

Figure 4: Modèle de la MdT, d'après Cowan 1988



De ce point de vue, une fois perçues, les informations sont stockées en mémoire de travail (mémoire active). Ces nouvelles informations associées aux connaissances du sujet (mémoire à long terme) vont former une *image* de la situation courante (niveau 2). Les projections futures et les prises de décisions adéquates (niveau 3) sont également produites en mémoire de travail. Cependant, Endsley reprend Wickens (1984a) qui souligne que l'anticipation impose une charge de travail supplémentaire en mémoire de travail. En effet, Wickens rappelle que la production des anticipations nécessite de prendre en compte parallèlement les conditions présentes, les règles pour produire l'état futur par rapport à l'état courant, les actions appropriées à la situation future. Sur ce point, Endsley fait référence à Fracker (1987) pour qui la capacité de la mémoire de travail constitue la plus grande limite à l'élaboration de la CS. Par ailleurs, elle souligne que ce serait d'autant plus le cas pour les sujets non expérimentés ou pour des personnes confrontées à des situations nouvelles.

1.1.1.4.2 Mémoire à long terme

Pour Endsley, la mémoire à long terme peut être utilisée afin de contourner les limites attentionnelles, et les limites de la mémoire de travail. Endsley met l'accent sur les théories des schémas (annexe 1) et des modèles mentaux pour leur rôle important dans la prise de décision. De ce fait elle leur attribue une place importante dans l'élaboration de la CS (figure 5).

À propos des modèles mentaux, Endsley se réfère à Rouse et Morris (1986) pour qui les modèles mentaux sont *des mécanismes par lesquels les humains peuvent produire* :

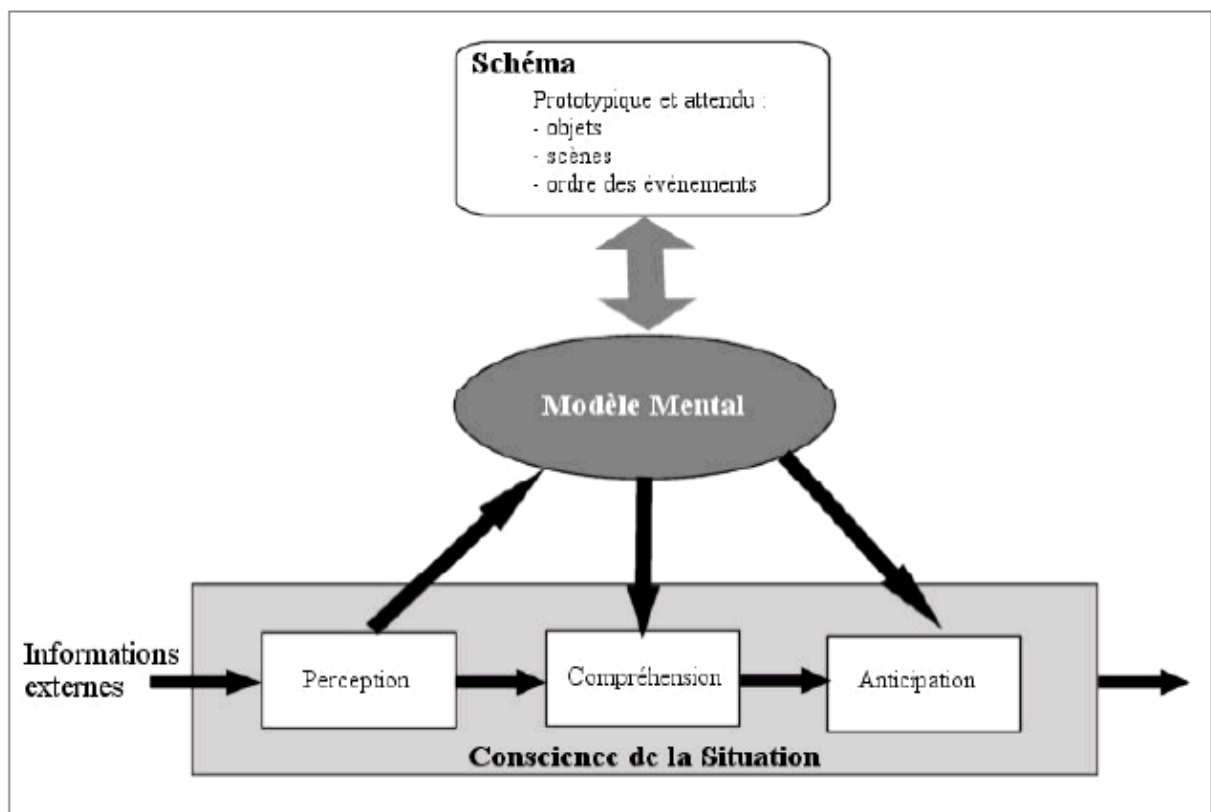
- des descriptions de but et de forme du système,
- des explications sur le système en fonction et sur des états observés du système,
- et des prévisions de ses futurs états.

D'après cette définition, Endsley conclut que les modèles mentaux peuvent être considérés comme *des schémas complexes qui sont employés pour modeler le comportement des systèmes* (Endsley, 1995). De ce point de vue, le modèle mental renvoie au modèle mental d'un système (eg : le modèle mental de « comment fonctionne ma voiture? ») ou à des classes de situations (eg : le modèle mental « des intersections à feux » vs le modèle mental « des intersections à priorité à droite ») (D. G. Jones & Endsley, 2000).

Toutefois Endsley rappelle qu'un modèle mental fournit :

- des connaissances sur le système qui permettent de diriger l'attention sur les éléments pertinents afin de catégoriser la situation (niveau 1)
- du sens pour comprendre les éléments de la situation (niveau 2)
- un moyen d'anticiper les états futurs de la situation à partir de l'état courant et de la prise en compte du dynamisme de l'environnement (niveau 3).

Figure 5 : Schéma, Modèle mental et Conscience de la Situation traduit de (D. G. Jones & Endsley, 2000)



Pour l'auteur, la clef indispensable à l'utilisation d'un modèle mental, pour élaborer sa CS, est la capacité individuelle de reconnaître les éléments pertinents de l'environnement qui constitueront les caractéristiques du modèle mental. Endsley souligne qu'il n'est pas nécessaire que la situation courante soit exactement la même que celle décrite par le schéma ou le modèle. Effectivement, l'appariement entre la situation réelle et le schéma s'effectue par correspondance. Le schéma sélectionné sera celui qui correspondra le mieux aux caractéristiques principales de la situation courante. L'avantage de cette sélection est que même si des informations ne sont pas disponibles dans la situation réelle, un schéma peut être sélectionné. Tant que le sujet ne dispose pas de toutes les informations, ce sont les données contenues dans le schéma qui seront valides. Une fois que les données sont accessibles dans le réel, les données du schéma seront réactualisées (J. H. Holland, Holyoak, Nisbett, & Thagard, 1986; Minsky, 1975).

Par ailleurs, les modèles mentaux utilisent les schémas stockés en MLT. En effet, comme Jones et Endsley l'illustrent par la figure 5, les modèles mentaux sont créés par l'activation d'un schéma. En outre, Endsley se base sur Mogford (1997, p333) qui a étudié le lien entre les modèles mentaux et la conscience de la situation. Pour cet auteur, *les informations contenues dans le modèle mental influencent et structurent les données maintenues dans la CS et dirigent l'attention.*

Concernant la théorie des schémas, Endsley se réfère à Bartlett (1932) et à Mayer (1983). Elle souligne que les schémas fournissent un cadre (*framework*) pour comprendre l'information, prendre en compte les composants d'un système complexe, ses états et ses fonctions. En revanche, l'auteur souligne que beaucoup de détails de la situation sont abandonnés lorsqu'elle est appariée à un schéma. Cependant, l'information traitée est plus cohérente et mieux structurée pour être stockée, récupérée et retraitée ultérieurement. Un unique schéma peut servir à organiser plusieurs séries d'informations et peut donc être utilisé selon différentes particularités en fonction de la situation courante. *Les schémas sont des représentations organisées d'un corps de connaissances construit par l'expérience antérieure avec l'objet, les scènes ou les événements. Les schémas contiennent un ensemble d'attentes à propos de ce à quoi ressemblent les objets, les scènes, ou les événements, et sur l'ordre dans lequel les choses se produisent.* (D. G. Jones & Endsley, 2000, p369)

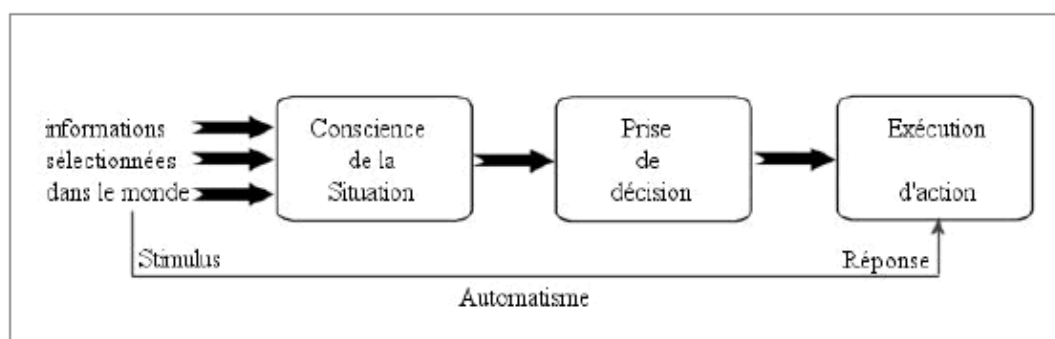
Endsley présente un type particulier de schémas : les scripts (Schank & Abelson, 1977). Les scripts fournissent des séquences d'actions appropriées à la tâche. Pour Endsley, le lien entre les schémas et les scripts facilitent les processus cognitifs. En effet, le sujet n'a plus à rechercher activement l'action à générer, elle sera automatiquement connue via le script associé au schéma activé.

Enfin, Endsley souligne à nouveau le lien entre Conscience de la Situation et expérience. Ainsi selon l'auteur, en comparant à plusieurs reprises les prévisions de leur modèle interne aux états réels du système, les individus affineront progressivement leurs modèles pour développer des fonctions plus spécifiques et plus nombreuses de catégorisation qui tiennent compte de prévisions plus précises basées sur des caractéristiques détaillées d'objets (Endsley, 1995, p44).

1.1.1.5 Automatismes

Au cours de la pratique, nous venons de voir que les connaissances et les catégories de situations (ou d'objets) des sujets s'affinent. Par ailleurs, Endsley souligne l'importance du développement de processus automatiques au cours de l'expérience. D'après Logan (1988), qui se réfère à Schneider et Shiffrin (1977), les automatismes sont rapides, autonomes, n'impliquent pas d'effort, et sont inaccessibles à la conscience. De ce fait, Endsley souligne que ces processus peuvent être d'un grand bénéfice pour contourner les limites attentionnelles lors de l'élaboration de la CS (figure 6). En effet, pour Logan, dès lors qu'un processus est automatisé, porter attention à un objet associé à cet automatisme est suffisant pour récupérer toute l'information qui lui a été associée dans le passé. Pour Endsley cette information correspond au schéma ou au modèle mental.

Figure 6 : Automatisme et Conscience de la Situation traduit de Endsley 2000b



Endsley souligne que l'utilisation d'automatismes pose une question importante en terme de Conscience de la Situation. Pour elle, en effet, la Conscience de la Situation implique un degré de conscience (*consciousness*) de l'information présente dans la situation. Cependant, la définition de Logan implique que ces processus ne sont pas accessibles à la conscience. Endsley se rapporte alors à Reason (1984) et rappelle que pour cet auteur les automatismes mobilisent toujours une part des ressources attentionnelles afin de garder un minimum de contrôle sur les processus en cours. L'utilisation d'automatismes permet donc d'accéder à une meilleure performance pour un coût attentionnel moindre. En revanche, ils rendent difficile l'actualisation du modèle mental activé lors d'un changement inattendu dans l'environnement. Par ailleurs, après coup, les opérateurs seraient dans l'incapacité de verbaliser sur les processus mis en œuvre. Néanmoins, Endsley précise que les sujets seront conscients des éléments déclencheurs de l'automatisme. Par contre, ils ne seront pas conscients des traitements qui les conduisent à prendre telle ou telle décision puisque ce sont des mécanismes automatisés (Walter Schneider & Shiffrin, 1977). En d'autres termes, ils seront uniquement conscients du niveau 1 de CS.

Toutefois, pour Endsley, l'utilisation de processus automatisés conduit à une bonne performance pour un minimum de ressources attentionnelles. En contre partie, elle note que ces traitements impliquent une difficulté à rapporter les modèles internes utilisés, peut-être également des éléments de l'environnement qui lui étaient reliés et enfin une incapacité à rendre compte des processus impliqués après les faits. Par ailleurs, elle rappelle que le premier danger lié à l'utilisation de processus automatisés est l'augmentation du risque de ne pas prendre en compte un nouvel élément de la situation.

1.1.1.6 Buts

Comme nous l'avons vu sur la figure 2, pour Endsley, la Conscience de la Situation est très fortement liée à la prise de décision, et donc à l'activité du sujet. De ce fait, la CS est également fortement liée aux buts de la personne. Endsley se réfère alors à Casson (1983) qui parle de "top-down decision process" et de "bottom-up processing".

- Top-down process (processus descendants, dirigés par les connaissances) : les objectifs permettent d'activer un schéma à partir duquel les éléments de la situation sont jugés plus ou moins pertinents pour remplir les objectifs visés.
- Bottom-up process (processus ascendants, dirigés par les données) : des données de l'environnement sont identifiées ce qui permet d'actualiser le schéma aux vues des objectifs visés ou bien de modifier ces derniers.

L'alternance des processus "top down" et "bottom-up" permet le réajustement constant des objectifs au cours de l'activité dynamique. Les buts permettent de sélectionner un modèle mental (top down), qui sera utilisé afin de sélectionner les informations pertinentes dans l'environnement puis de les interpréter en fonction du modèle mental et de ces buts (bottom up).

En résumé, nous pouvons dire que pour Endsley les limites cognitives majeures qui s'imposent à l'élaboration de la Conscience de la Situation sont premièrement, les limites attentionnelles et deuxièmement, les limites de la mémoire de travail. Toutefois, au cours de l'expérience les connaissances stockées en mémoire à long terme peuvent contre-carrer ces limites. Endsley met alors en avant le rôle des schémas et des modèles mentaux, en tant que connaissances à long terme qui permettent d'intégrer et de comprendre l'information et d'anticiper les états futurs, même si toutes les données ne sont pas accessibles dans l'environnement. Cependant, l'auteur souligne que l'utilisation de ces connaissances repose sur la capacité des individus à reconnaître les éléments pertinents de la situation et à les associer avec leurs connaissances permanentes (ie : pattern matching). Par ailleurs, Endsley souligne le bénéfice que peut représenter l'utilisation de processus automatisés au cours de la pratique lors de l'élaboration de la CS. Néanmoins, elle ne perd pas de vue que les processus automatisés peuvent empêcher les opérateurs de prendre en compte des données non attendues. Enfin, Endsley insiste sur le fait que la Conscience de la Situation d'un individu sera fortement influencée par les objectifs poursuivis et

par les attentes du sujet. A ce propos, elle souligne que la co-existence de processus ascendants (ie : bottom-up) et descendants (ie : top-down) assure l'adaptation, la mise à jour, de la compréhension de la situation, d'une part, à son évolution dans le temps, et d'autre part, aux objectifs visés par le sujet.

1.1.2 Erreurs de Conscience de la situation

Dans le cadre d'une expérimentation, Jones & Endsley (1996) ont montré que 8.6% des erreurs de Conscience de la Situation proviennent d'une perte en mémoire de travail. En d'autres termes, l'information a été perçue mais oubliée. De ce fait, elle n'est pas intégrée dans la CS. En outre, les auteurs ajoutent que d'autres erreurs relevant des niveaux 2 et 3 sont sans doute causées par des défaillances ou limites de la mémoire de travail. De nombreuses études ont montré l'importance de l'attention dans la CS (Endsley & Rodgers, 1998; Endsley & Smith, 1996; Gugerty, 1997). Il en ressort que les pilotes, ou les conducteurs (Gugerty 1997) déploient leur attention en fonction de ce qu'ils jugent pertinent selon leurs buts. Selon Jones & Endsley (1996), les erreurs de CS conséquentes aux limites attentionnelles représentent 35% des erreurs de CS global.

Endsley (1995) propose une taxonomie des erreurs de CS en fonction des trois niveaux hiérarchiques de son modèle. Elle souligne que cette taxonomie ne vise pas à décrire tous les types d'erreurs humaines comme les travaux de Reason (1993, annexe 2).

Tableau 1 : Taxonomie des erreurs de CS, traduit de Endsley 1995

<p>Niveau 1 : Echec à percevoir correctement l'information</p> <ul style="list-style-type: none"> • données non disponibles • données difficiles à discriminer ou à détecter • échec à la surveillance ou à l'observation de données • mauvaise perception de données • perte de mémoire (limite de la mémoire de travail)
<p>Niveau 2 : Echec à intégrer ou comprendre correctement l'information</p> <ul style="list-style-type: none"> • absence du modèle mental ou modèle mental pauvre • utilisation d'un mauvais modèle mental • trop de confiance sur des valeurs par défaut du modèle mental • autres
<p>Niveau 3 : Echec à projeter les futures actions ou états du système</p> <ul style="list-style-type: none"> • absence du modèle mental ou modèle mental pauvre • sur-projection des tendances courantes • autres

En 1996, Jones et Endsley appliquent cette taxonomie à des rapports d'accidents de *Aviation Safety Reporting System*. L'analyse porte sur 143 incidents, dont 111 impliquent des pilotes et 32 impliquent des contrôleurs aériens.

Les erreurs de niveau 1 représente 76.3% des erreurs observées. Ce sont des erreurs de perception de la situation. En d'autres termes au niveau de base, les informations importantes de la situation ne sont pas

correctement perçues. 13% des erreurs de CS sont dues au système qui ne présente pas correctement les informations. De ce fait, les données ne sont pas accessibles à l'opérateur. Par ailleurs, 11% des erreurs sont dues à des conditions qui rendent la perception des données difficile (nuit, mauvais temps, bruit dans le cockpit). Dans d'autres cas, les erreurs sont des erreurs humaines. En effet, 35% d'erreurs surviennent alors que les informations sont disponibles dans l'environnement mais ne sont pas du tout perçues. Dans ce cas, il peut s'agir d'une simple omission, ou d'une conséquence de la focalisation de l'attention ou encore d'un élément distracteur qui écarte l'attention de l'information. Par ailleurs, pour 8.7% des erreurs, l'information est mal perçue. D'après les auteurs, ces mauvaises perceptions sont le plus souvent dues à des attentes antérieures des opérateurs. C'est-à-dire qu'ils perçoivent ce qu'ils attendent et non ce qui se passe réellement. Enfin, 8.4% d'erreurs proviennent alors que l'information avait été correctement perçue mais qu'elle est oubliée. Ces oublis sont le plus souvent associés à des perturbations d'automatismes, à de lourdes charges de travail ou à des distractions.

Dans d'autres cas, l'information est perçue correctement, mais elle est mal comprise. Ce sont les erreurs dites de niveau 2 par les auteurs. Dans cette étude, elles représentent 20.3% des erreurs. Comme nous pouvons le voir dans le tableau 1, pour Endsley (1995) ces erreurs sont toutes liées au modèle mental construit en mémoire de travail. En effet, dans leur étude de 1996, Jones et Endsley considèrent que :

- 6.9% des erreurs proviennent de l'absence du bon modèle mental pour combiner les différentes informations disponibles et les buts courants.
- 6.5% des erreurs proviennent de l'utilisation d'un mauvais modèle mental pour comprendre la situation. Ces erreurs conduisent à un mauvais diagnostic.
- 4.6% des erreurs proviennent de la confiance accordée aux valeurs par défaut du modèle mental, même lorsque des données réelles sont accessibles dans la situation.
- 2.3% des erreurs sont attribuées aux limites de la mémoire de travail qui conduit à la mauvaise intégration, ou la non intégration de certaines données.

Enfin, les erreurs de CS peuvent intervenir au dernier niveau (ie : anticipation). Dans ce cas, les opérateurs ont correctement compris la situation courante, mais ne sont pas capables de savoir ce que cela veut dire pour le futur. Ces erreurs représentent 3.4% des erreurs de CS (D. G. Jones & Endsley, 1996). Ici aussi les auteurs analysent principalement deux causes à ces erreurs. Le modèle mental peut être trop pauvre (0.4%), ou bien les sujets font trop confiance à l'état actuel de la situation (1.1%). Pour les autres erreurs de niveaux 3, les auteurs ne fournissent pas d'explication si ce n'est le coût cognitif nécessaire à l'anticipation. En effet, ils précisent que la projection mentale est une activité très coûteuse pour laquelle les gens ne sont en général pas très performants.

Endsley aborde la Conscience de la Situation du point de vue du traitement de l'information. Deux autres approches ont été choisies par des auteurs :

- La conscience de la situation fusionnée dans la prise de décision
- L'utilisation du cycle perception-action de Neisser pour expliquer la conscience de la situation.

Bien que ces conceptions de la Conscience de la Situation ne soient pas dominantes nous avons choisi de les présenter brièvement afin de constituer un tour d'horizon complet de ce concept.

1.2. Prise de décision et Conscience de la Situation

Pour Crane (1992), la Conscience de la Situation n'est pas une construction psychologique unique. Il se concentre sur la littérature de prise de décision et affirme que la Conscience de la Situation est équivalente à l'expertise. En effet, pour l'auteur la CS est démontrée par le niveau de performance des experts. L'expertise se rapproche alors de la notion de compétence de Smith et Hancock (1995). Pour ces derniers la compétence dirige le comportement mais est indépendante de la situation. La compétence réside dans le sujet et lui permet

de produire des comportements appropriés pour une tâche donnée. Crane n'est pas le seul à tenter de fonder la Conscience de la Situation avec les concepts qui ont été traditionnellement associés au jugement de la situation et à la prise de décision.

En effet, Frederico (1995) abandonne le terme de Conscience de la Situation (*situation awareness*). En revanche, il propose que l'évaluation de situation (*situation assessment*) soit la condition *sine qua non* à la prise de décision. Frederico définit l'évaluation de la situation de la manière suivante (1995, p107) : *classer hiérarchiquement la situation (sizing-up a situation), comprendre le scénario définissant le problème, catégoriser les circonstances, construire une représentation, faire un modèle mental, peindre ou créer une image mentale*. Pour Frederico, l'évaluation de la situation est le résultat de traitements dirigés par les schémas. En d'autres termes, basés sur des faisceaux de connaissance (ie : schémas) qui permettent au sujet de classer des événements, des situations, par catégories. De ce point de vue, le lien entre la Conscience de la Situation et l'Evaluation de la Situation est assez claire. En effet, l'élaboration de la CS est souvent assimilée à la compréhension de la situation ou au fait d'en avoir une image mentale (Uhlarik & Comeford, 2002). D'autres auteurs ont reconnu le chevauchement entre ces deux concepts. Par exemple, Wickens et al (1998) utilisent les deux termes de manière interchangeable. En revanche, Endsley (1993, p1) émet quelques réserves *parce qu'elle (situation assessment) implique une recherche active et délibérée d'information, qui est parfois mais pas toujours présente dans l'obtention de la CS, j'estime que le terme serait assez adéquat, tant que nous le décrivons correctement et que nous le différencions clairement du produit*. En d'autres termes, la crainte d'Endsley est surtout que l'utilisation du terme « Evaluation de la Situation », renvoie plus aux mécanismes mis en œuvre dans cette évaluation qu'au produit cognitif élaboré.

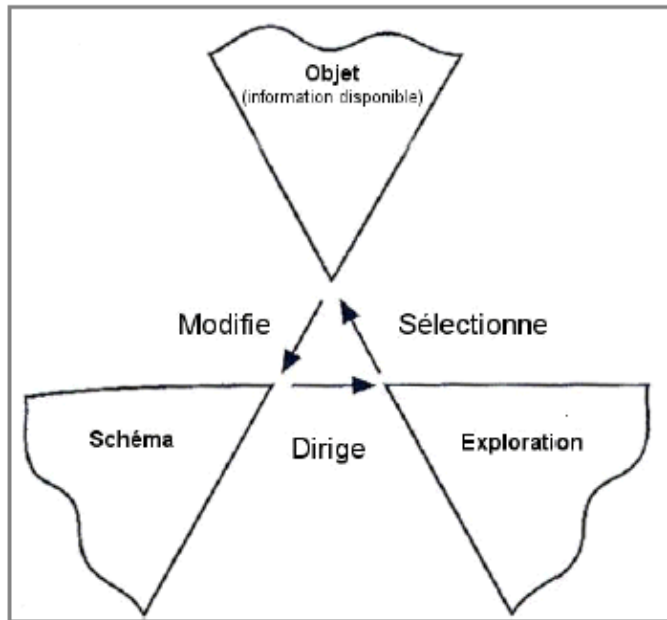
1.3 Le cycle Perception-Action

Le cycle perception-action de Neisser (1976) montre le rapport réciproque du schéma, de l'exploration et de l'environnement (ie : objet). Il est utile pour décrire le lien entre la connaissance, la perception, afin d'atteindre des buts.

1.3.1 Le cycle perception-action de Neisser

La figure 7 montre que le cycle de perception/action se compose de trois éléments: (1) l'objet (ie : l'information disponible dans l'environnement externe); (2) le schéma (ie : la connaissance interne qui est théoriquement structurée d'une façon organisée, développée par l'expérience ou l'entraînement, et qui est stockée dans la mémoire à long terme quand elle n'est pas utilisée); et (3) l'exploration (ie : une recherche d'information dans l'environnement par l'observateur).

Figure 7 : Cycle perceptuel d'après Neisser 1976



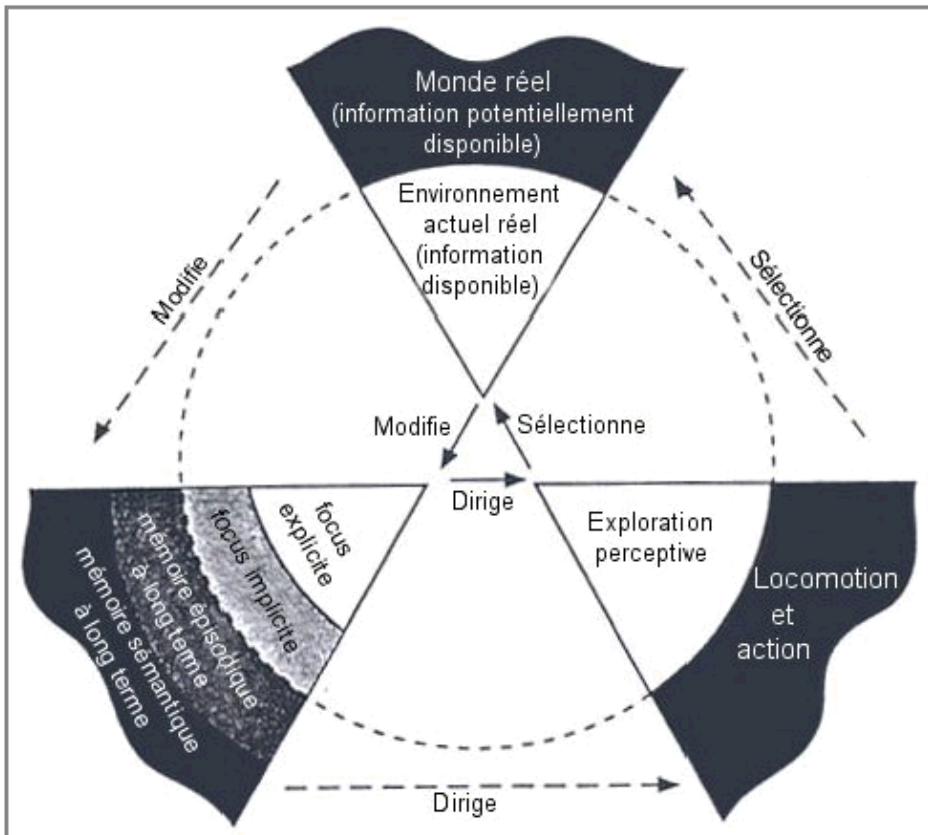
Selon Neisser (1976), le cycle fonctionne de la manière suivante : l'objet modifie le schéma, le schéma dirige l'exploration, et l'exploration mène au prélèvement de l'information sur l'objet dans l'environnement. Comme son nom l'indique, le cycle de perception/action suggère que le processus du rassemblement de l'information est cyclique, ni le commencement ni la fin du processus ne sont indiqués. Par conséquent, cette approche suggèrera que le processus d'élaboration de la Conscience de la Situation est relativement dynamique.

1.3.2 Conscience de la Situation et Cycle Perception-Action

Adams et al (1995) expliquent la CS en termes de cycle de perception/action, mais à la différence d'Endsley, ils suggèrent que CS devrait être conceptualisée comme produit et processus. En terme de cycle de perception/action, les auteurs proposent que la Conscience de la Situation en tant que produit est l'état du schéma actuellement activé, et comme processus, elle correspond à l'état actuel du cycle perceptuel entier.

D'un point de vue global, la CS serait alors l'accessibilité à une représentation complète et logique de la situation conforme aux résultats des évaluations récurrentes de la situation et mise à jour sans interruption (Sarter & Woods, 1991). La figure 7 suggère que le schéma activé est approprié à la situation. Cependant ce n'est pas toujours le cas. En effet, il arrive que le schéma sélectionné ne soit pas le bon : soit, les données recueillies par l'exploration perceptive ne correspondent pas aux attentes du schéma, soit, les attentes fournies par le schéma sont en désaccord avec les données disponibles dans l'environnement. Afin de prendre en compte ces circonstances, Adams et al (1995) étendent le cercle de Neisser (figure 8) en y intégrant la théorie développée par Sanford et Garrod (1981). Ces auteurs travaillaient sur la compréhension des événements dans un récit. Pour Sanford et Garrod (1981), la mémoire active est composée de deux niveaux, l'un explicite et l'autre implicite. De ce fait, Adams et al (1995) scindent la partie "schéma de l'environnement actuel" en deux boîtes. La première boîte est appelée « focus explicite » et correspond pour les auteurs à la mémoire de travail. A chaque instant, elle ne contiendrait qu'un nombre très limité de pointeurs interconnectés avec des connaissances en mémoire à long terme. La seconde boîte est appelée « focus implicite ». Il contient l'intégralité du schéma qui n'est que partiellement représenté dans le focus explicite. En outre, Adams et al intègrent deux types de mémoire à long terme (ie : inactive). Toujours en référence à Sanford et Garrod (1981), ils intègrent donc une mémoire épisodique et une mémoire sémantique. La mémoire épisodique à long terme contient tous les schémas qui ont été construits ou activés au cours d'une tâche, et la mémoire sémantique à long terme contient la connaissance générale acquise au cours de la vie.

Figure 8 : Version étendue du cercle de Neisser par Adams et al 1995 (traduction)



Ces modifications au cadre conceptuel de Neisser (1976) permettent à Adams et al (1995) d'envisager plusieurs niveaux de traitements de l'information. En effet, ce qui nous importe le plus sont les informations traitées en mémoire de travail. La distinction introduite par Adams et al (1995) permet d'envisager qu'elles demanderont plus ou moins de ressources en fonction de leur niveau de traitement (ie : implicite ou explicite). Le second point fort du travail de Adams et al (1995) porte sur la circularité de ces processus qui rappelle que nous nous intéressons à des mécanismes cognitifs dynamiques. Aussi, la référence au cercle de Neisser permet de briser le cadre rigide des trois niveaux définis par Endsley. En effet, bien qu'Endsley souligne que ces trois niveaux sont indépendants, elle donne une structure hiérarchique, voire séquentielle, à son modèle. Enfin, pour Adams et al, la Conscience de la Situation est décrite comme un modèle mental dynamique de la situation constitué, d'une part, de connaissances actives dans la mémoire de travail (ie : focus explicite), et d'autre part, de connaissances de la mémoire à long terme qui sont appropriées à la situation actuelle, et plus accessibles que les connaissances non pertinentes (ie : focus implicite) (Gugerty, 1997).

Un point commun à toutes ces approches, y compris le modèle d'Endsley, est de faire référence à des concepts flous, polysémiques, en psychologie cognitive : la mémoire de travail, l'attention, les schémas, les modèles mentaux. En revanche, la prochaine approche que nous allons présenter ne se réfère pas totalement à ce champ théorique. En effet, les auteurs font appel à la théorie soviétique de l'activité. Après un bref aperçu de la théorie de l'activité nous verrons où ils situent la Conscience de la Situation.

1.4 Théorie de l'activité et Conscience de la Situation

1.4.1 Qu'est-ce que la théorie de l'activité ?

La théorie de l'activité (AT) s'enracine dans les années 1930, par le travail des scientifiques soviétiques S. L. Rubinshtein (1889-1960) et A. N. Leontiev (1904-1979), ses fondateurs. La théorie de l'activité est un paradigme psychologique qui était une base pour l'étude du comportement de travail dans l'ancienne Union Soviétique. Dans l'AT, l'action est considérée comme l'unité principale d'analyse de l'activité. Les termes action et activité s'étendent aux actions motrices et aux activités cognitives. Chaque action est liée à des buts spécifiques et conscients qui doivent être atteints pour atteindre le but global de la tâche. En effet, l'AT suppose que les comportements sont dirigés par les buts. Ainsi, l'activité est un flot continu d'actions délimitées par des buts intermédiaires. De ce fait, l'AT souligne la dynamique interne liée au traitement actif des images internes et des représentations cognitives (G. Z. Bedny, Seglin, & Meister, 2000). Les buts sont alors considérés comme des images idéales des futurs résultats de l'activité (G. Bedny & Meister, 1997). Par ailleurs, les processus cognitifs peuvent être décrits comme des systèmes d'actions et d'opérations mentales orientées pour atteindre un but conscient. Depuis, cette théorie est notamment utilisée dans le domaine de l'apprentissage et notamment de l'utilisation des nouvelles technologies pour l'enseignement (Linard, 1998a, 1998b; Linard, Bélisle, & Zeiliger, 1998) et plus généralement pour étudier les interactions homme-ordinateur (Kuuti, 1996).

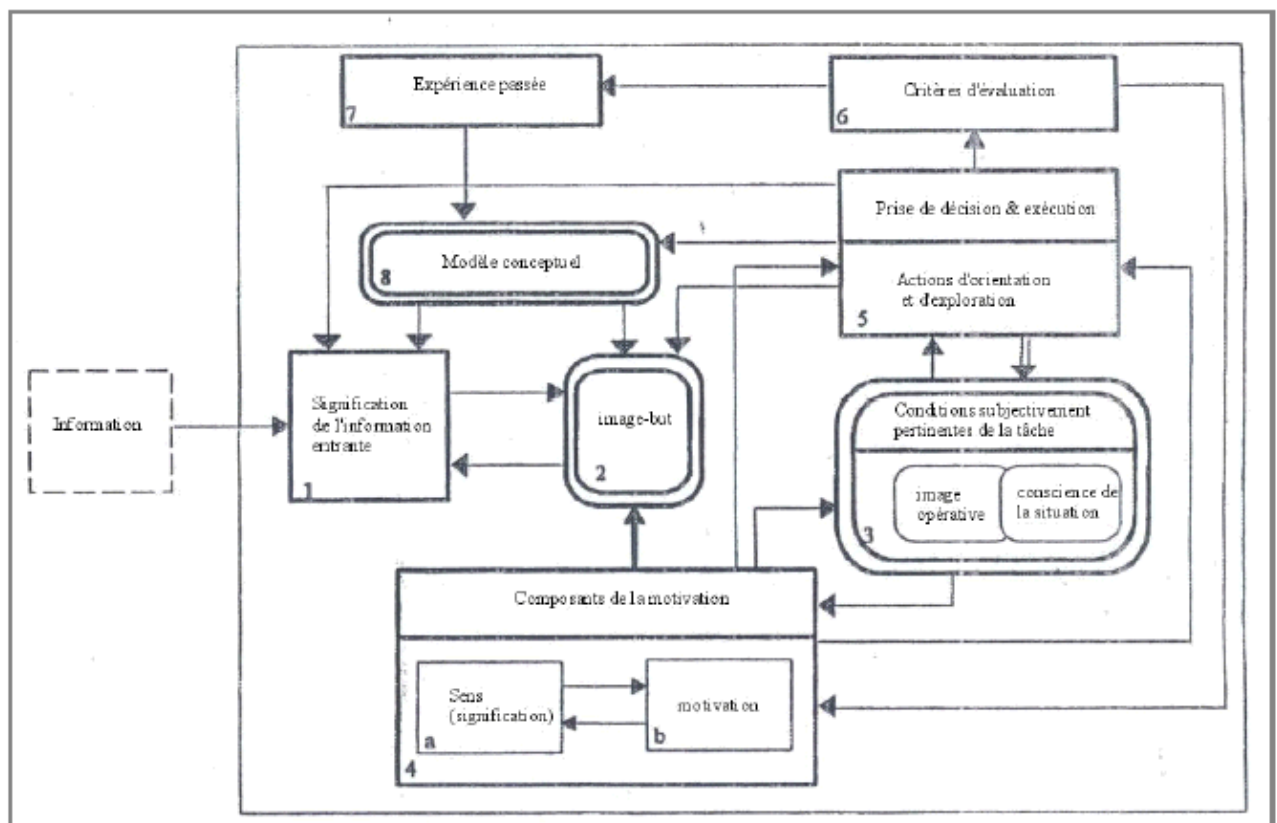
Dans la théorie d'activité, *la tâche est fondamentalement un effort de résolution de problèmes avec une représentation mentale subjective sous-jacente de la tâche* (G. Z. Bedny & Karwowski, 2004, p135). Par ailleurs, pour Bedny et Meister (1999) l'activité peut être divisée en 3 étapes. (1) *L'orientation*, le sujet développe un modèle subjectif de la réalité. Cette image dynamique du monde fournit une interprétation cohérente de la réalité et des anticipations sur les états futurs de la situation. (2) *L'exécution*, inclut la prise de décision et l'exécution de l'action dirigée pour atteindre le but conscient. (3) *L'évaluation* fournit une appréciation du résultat de l'action produite. Cette dernière étape peut mener à corriger l'action ce qui influencera l'orientation et l'exécution. Ainsi, *l'orientation* peut être modifiée par les buts ou par les états internes et les résultats des actions cognitives. De ce fait, des erreurs dans l'étape *d'orientation* de l'activité résulte d'une mauvaise compréhension de la situation et peuvent causer des effets en cascade sur les étapes suivantes de l'activité.

1.4.2 Place de la Conscience de la Situation dans l'activité

Ainsi, d'une part, parce que *l'orientation* et la Conscience de la Situation précèdent la prise de décision et l'exécution de l'action, et d'autre part, parce qu'elles visent toutes deux à comprendre la situation Bedny et Meister (1999) considèrent la Conscience de la Situation (ie : modèle interne qu'élabore l'opérateur de l'état de l'environnement) comme équivalente à la première étape de l'activité : *l'orientation*. Le but premier de l'orientation est de créer une réflexion, un reflet, de la réalité, qui est le processus qui construit le modèle dynamique de la situation. Un tel modèle doit être adéquat aux buts des actions effectuées à un moment donné, de ce fait il doit être remis à jour en fonction de la situation et des actions du sujet. En outre, le modèle mental dynamique exécute des fonctions d'orientation et des fonctions de régulation de l'activité (G. Z. Bedny, Karwowski, & Jeng, 2003). Ainsi, les auteurs considèrent donc la Conscience de la Situation, en tant qu'un composant important de l'activité parce qu'elle fournit une orientation réfléchissante, consciente et dynamique de la situation (*reflective-orientational activity* [Note 1](#)). Par ailleurs, les auteurs précisent que dans la théorie de l'activité, la réflexion dynamique de la situation n'est pas élaborée uniquement via la mémoire et l'attention, mais met également en oeuvre la pensée opérative. Pushkin (1978) présente les caractéristiques de la pensée opérative. La plus importante est que *le processus de pensée (opérative) reconstruit la réalité dans un modèle dynamique de la situation* (G. Z. Bedny et al., 2003). Cependant, bien qu'ils reconnaissent l'importance du concept de Conscience de la Situation, Bedny et Meister (1999) sont critiques sur le modèle de Endsley. *Dans son modèle la CS est traitée simplement comme une autre boîte dans l'écoulement du diagramme du système humain de traitement de l'information* (p65). Les auteurs semblent vouloir accorder une place plus importante à la CS.

En 1999, ils présentent un modèle fonctionnel de l'orientation de l'activité (figure 9) basé sur les travaux d'Anokhin (1962). Dans ce type de modèle l'unité principale d'analyse est le bloc fonctionnel. Un bloc fonctionnel peut être considéré comme étape particulière du traitement d'information. Ils incluent, les mêmes processus psychologiques, mais utilisés de différentes manières en fonction de l'activité. Le modèle représenté figure 9, fait intervenir les concepts d'expérience, de connaissances, de motivation, et de buts. Notre intérêt porte plus particulièrement sur le bloc n°3 : « conditions subjectivement pertinentes de la tâche ». Les auteurs précisent que le fonctionnement de ce bloc implique particulièrement la mémoire de travail (G. Z. Bedny et al., 2003). Le bloc 3 a pour fonction de former plusieurs représentations de la situation qui diffèrent dans leur signification subjective, mais qui sont basées sur la même situation réelle. En effet, les auteurs précisent que la réflexion mentale d'une situation n'est pas le reflet de la réalité dans un miroir. Par ailleurs, l'organisation dans le temps et dans l'espace des différentes représentations élaborées par l'opérateur permet d'analyser la dynamique globale de la situation. De ce fait, ce bloc est fortement impliqué dans la création et le développement des modèles dynamiques de la situation.

Figure 9 : Modèle fonctionnel de l'orientation de l'activité (traduit de Bedny et Meister 1999)



Pour les auteurs, ce bloc est composé de deux sous-blocs fonctionnels : l'image opérative (Ochanine, 1977) et la Conscience de la Situation (Endsley, 1995). *Les composants imaginatifs de la réflexion dynamique s'appellent l'image opérative. Les composants logico-conceptuels de la réflexion dynamique est ce qu'Endsley appelle la Conscience de la Situation. La CS contient la réflexion consciente de la réalité. En revanche l'image opérative inclut aussi bien des composants conscients qu'inconscients. Seules les parties de l'image opérative communes à la CS sont conscientes. La transformation continue d'information d'un sous-bloc à l'autre génère la transformation des composants conscients à inconscients et vice versa* (G. Bedny & Meister, 1999, p72). Pour ces auteurs, l'Image Opérative semble servir de base, de support, à l'élaboration de la Conscience de la Situation. Comme ils le rappellent, le concept d'Image Opérative se rapporte aux travaux de Dimitri Ochanine que nous allons exposer dans la partie suivante. Après quoi nous présenterons d'autres travaux soviétiques (1939-1966) sur la mémoire opérationnelle. Enfin, en dernier lieu, nous verrons comment

ces travaux soviétiques ont été repris par nos contemporains français, et en quoi ils sont pertinents pour aborder la Conscience de la Situation.

Chapitre 2. L'apport des Travaux Soviétiques des années 1940-70

Comme le souligne Spérandio (1981) l'importance des travaux d'Ochanine pour la psychologie est qu'elle suggère d'étudier l'homme réel dans son action sur le monde extérieur. Spérandio rappelle alors deux postulats formulés par Ochanine (1) le traitement de l'information est médiatisé par un système de représentation (2) ce système de représentation, d'images, est modelé, forgé par les nécessités de l'action en cours.

2.1 L'image opérative

Les travaux d'Ochanine s'inspirent de la théorie du reflet. Elle considère que ce qui se passe dans le psychisme est causé par le monde extérieur. Et, qu'il existe une homologie entre ce qui est psychique et ce qui existe dans le monde matériel. Comme nous l'avons déjà noté ce reflet n'est pas passif et fidèle comme celui d'un miroir. C'est une réflexion active qui implique une certaine action du monde extérieur sur l'individu, mais aussi en retour une action de l'individu sur le monde extérieur. *Pour que l'homme puisse diriger un phénomène quelconque, il est nécessaire qu'un reflet de ce phénomène se forme dans son cerveau. Le reflet subjectif des phénomènes sous forme de sensations, perceptions et pensées, lui procure l'information indispensable pour commander, c'est-à-dire, agir activement sur un phénomène, un processus, de façon à parvenir à un but précis* (Leontiev, Lerner, & Ochanine, 1961, p4).

2.1.1 Les travaux de Dimitri Ochanine

A l'origine, Ochanine s'intéresse à l'adaptation des dispositifs de travail à l'opérateur. Ces travaux le conduiront petit à petit à s'intéresser d'avantage au fonctionnement de l'opérateur lui-même. Dès 1960, Ochanine s'oriente vers les problèmes du traitement de l'information, c'est-à-dire vers une psychologie cognitive, alors qu'en France domine encore le behaviorisme. Ochanine réalise en laboratoire des expérimentations qui tentent de reproduire des situations concrètes de travail. C'est dans ce contexte qu'Ochanine introduit le concept d'Image Opérative. Dans un premier temps, nous définirons quelques termes employés par Ochanine afin de comprendre ce qu'est l'image opérative. Puis, nous nous attacherons à présenter comment se construit ce reflet opératif de l'objet dans la conscience de l'opérateur. Enfin, en dernier lieu, nous expliciterons les caractéristiques des images opératives.

2.1.1.1 Définition de l'image opérative

Selon Ochanine, dans les situations de travail l'opérateur agit sur des objets. L'objet est alors considéré comme un système. Un système est un ensemble d'éléments solidaires, dont les liaisons entre les différents éléments, constituent la structure de l'objet. La *structure intégrale* est l'ensemble des relations existantes entre tous les éléments d'un système. Parallèlement, la *structure partielle* est un groupe de relations pris à part pour une raison quelconque et examiné séparément (Ochanine & Chebek, 1968). Enfin, Ochanine distingue également la *structure manifeste* de l'objet qui est la structure immédiatement perceptible de l'objet.

Par ailleurs, du point de vue de l'activité de l'opérateur, il existe des éléments de l'objet, des relations qui pour une tâche donnée ne présentent pas d'intérêt. L'opérateur doit en faire abstraction lorsqu'il résout son problème. Par contre, il existe d'autres relations à l'aide desquelles la tâche peut être réalisée. L'opérateur doit donc tenir compte de ces relations. Ochanine appelle *structure opérative* la structure qui réunira toutes les relations indispensables à l'activité et elles seules. Cette structure sera, pour l'auteur, la plus pertinente, la plus

fiable et donc la plus simple. Enfin, l'*image opérative* est le reflet de la *structure opérative* dans la conscience de l'opérateur. Pour Ochanine, dans l'activité, le traitement de l'information par le sujet s'effectue par l'intermédiaire des images opératives.

L'auteur distingue les *images opératives* des *images cognitives*. Les *images cognitives* sont le reflet intégral des objets dans toute la diversité de leurs propriétés accessibles. En revanche, les images opératives sont des structures informationnelles spécialisées qui se forment au cours de telle ou telle action dirigée sur des objets (Ochanine & Koslov, 1971, p1). Cette distinction permet à l'auteur de souligner l'ambivalence fonctionnelle de l'image : *l'image est, en même temps qu'un instrument de connaissance, un régulateur de l'action* (Ochanine, Quaas, & Zaltzman, 1972, p1). L'image cognitive remplit la fonction d'instrument de connaissance. En revanche, l'image opérative forme un ensemble informationnel spécialisé dont le contenu et la structure dépendent des tâches qui constituent une action concrète sur un objet. L'aspect cognitif tend à collectionner le plus d'informations possibles sur l'objet, mais est contradictoire avec une action rapide, alors que l'aspect opératif (rôle régulateur) ne reflète que les aspects utiles des objets (Spérandio, 1984).

En outre, Ochanine distingue deux types d'images opératives selon la fonction qu'elles remplissent dans le traitement de l'information au cours de l'action sur l'objet : les *images afférentes* et les *images effectrices* (Ochanine & Koslov, 1971, p1). Les *images opératives afférentes* conditionnent les états successifs des objets. Par contre, les *images opératives effectrices* conditionnent le choix et la préparation d'actions finalisées sur les objets. Elles sont définies comme images de l'action projetée sur l'objet et apparaissent dans les caractéristiques structurelles de l'objet.

Enfin, Ochanine précise que si l'opérateur travaille dans un milieu dynamique, sur des objets dynamiques, le reflet de son activité sera également dynamique. De ce fait pour l'auteur les *images dynamiques correspondantes doivent être considérées comme des images opératives* (Ochanine & Morossanova, 1973, p1). De plus, l'aspect dynamique des images opératives correspond pour Ochanine à une anticipation sur le devenir du processus contrôlé par l'opérateur. *La prévision du déroulement des événements représente en fait leur reflet anticipé dans la conscience sous forme d'images dynamiques opératives. A la suite d'un tel reflet, l'image se transforme avec une certaine avance par rapport à la dynamique réelle de l'objet contrôlé* (Ochanine, Krémen, & Koulakov, 1973, p1). Ce reflet anticipé n'est pas seulement cognitif, en effet, il permet à l'opérateur de préparer ses actions, mais aussi de les mettre en oeuvre. *Le reflet anticipé, combinant les états de l'objet et les réactions adéquates à ces états permet de passer directement de la dynamique de l'objet à la préparation, puis à la réalisation d'actions de commande sur cet objet* (p2). En effet, comme le note Spérandio (1984), l'image opérative n'est pas seulement le reflet subjectif de l'objet, mais le reflet de l'action projetée sur l'objet. De ce fait, en fonction des objectifs, un même objet peut générer différentes images opératives.

2.1.1.2 Construction de l'image opérative

L'image opérative est construite au cours de l'action sur l'objet, pour l'action et par l'action. Nous avons vu précédemment qu'elle est le reflet de la structure opérative de l'objet dans la conscience de l'opérateur. Par ailleurs, la structure opérative correspond à l'ensemble des éléments de l'objet les plus pertinents pour la tâche. Nous avons vu qu'Ochanine spécifie que cette structure opérative n'est pas immédiatement perceptible puisqu'il la distingue de la *structure manifeste* de l'objet. A ce sujet, l'auteur précise qu'il est parfois laborieux de dégager la structure opérative d'un objet car il est difficile de faire abstraction de sa structure manifeste (Ochanine & Morossanova, 1973). Cependant il n'est pas explicitement dit comment l'opérateur dégage cette structure opérative si ce n'est par l'action sur l'objet.

Néanmoins, Ochanine (1969) distingue un moyen de structuration de l'information-signal lors de la formation de l'image opérative : dégager les structures sémantiques partielles ou *blocs informationnels*. Il s'agit du procédé d'*information chunking* (Miller, 1956). En effet, Ochanine souligne que l'information contenue dans l'image opérative est *structurée en un tout cohérent dont les constituants s'inscrivent dans un ensemble de*

relations déterminées (Ochanine, 1969, p1). Aussi, il est important de préciser que le contenu de l'image opérative est fortement influencé par la finalité de l'activité en cours. Par conséquent, dès lors que le but poursuivi par l'opérateur est modifié, l'image opérative peut s'avérer inopérative. Dans ce cas, *la recherche de moyen à employer pour atteindre ce but modifié conditionne la formation d'une nouvelle image opérative qui lui soit adéquate* (Ochanine & Zaltzman, 1971, p1)

De plus, Ochanine appelle l'information qui vient au sujet au cours de l'action *l'information-signal*. Pour l'auteur cette information-signal interagit *activement* avec l'image opérative (Ochanine, 1969). En outre, il définit également un autre type d'image opérative : les *images opératives de référence* ou *images opératives étalons*. Ces images étalons seraient des structures opératives d'objets, stockées en mémoire au cours de la pratique (Ochanine & Koslov, 1971). Chaque fois que le sujet agit sur un objet, il en dégage une structure opérative spécifique à cette tâche. Ainsi, pour un même objet, différentes structures opératives seraient accumulées et compilées en une seule image étalon généralisée. Ces images étalons constitueraient des classes. Pour Cazamian (1981, p 13), *l'image-étalon vise une expérience passée ; l'image-signal une perception présente ; l'image-structure opérative vise plutôt une action à venir*. Pour Ochanine, la formation de l'image étalon (ou de référence) et la perception (ou information-signal) ont des effets réciproques. *L'image référence en formation, « filtrant » en quelques sortes l'information extéroceptive redondante, participe à la formation progressive de l'image opérative perceptive qui, à son tour, constitue une base de correction sensorielle pour l'image-référence, en la maintenant au niveau requis (opératif) d'actualisation* (Ochanine & Koslov, 1971, p13). Ainsi, l'image opérative résulte de la confrontation de l'information dont le sujet dispose déjà, (ie : image étalon) et de l'information qu'il recueille dans l'environnement (ie : information-signal). *Cette information préexistante, à laquelle est confrontée l'information extéroceptive, apparaît très souvent organisée en une image opérative* (Ochanine, 1969, p1). Par ailleurs, Cazamian (1981, p14) rapporte les propos d'Ochanine (conférence à Bruxelles, 1967) pour rendre compte de l'interaction des trois formes images (signal, étalon, opérative) lors d'une tâche de contrôle d'un processus automatisé. *Au départ l'opérateur perçoit une image-signal du processus ; il la compare avec l'image-étalon qu'il possède en mémoire ; s'il y a conformité entre les deux images, il n'intervient pas ; s'il y a désaccord, il recourt à l'image-structure opérative du processus pour découvrir une stratégie opératoire qui remédiera à l'incident.*

2.1.1.3 Caractéristiques de l'image opérative

Ochanine définit trois caractéristiques de l'image opérative : (1) la finalisation, (2) le laconisme, (3) les déformations fonctionnelles (Ochanine et al., 1972).

La finalisation est la propriété principale de l'image opérative. En effet, Ochanine distingue l'image opérative de l'image cognitive du fait que la première se forme au cours d'une action donnée sur un objet, alors que la seconde est le reflet intégral de l'objet. Par ailleurs, nous avons vu qu'une image opérative peut ne plus être adéquate pour la tâche si au cours de l'activité le but est modifié. Le fait que l'opérateur doit continuellement ajuster son image opérative aux objectifs poursuivis est une preuve de la finalité de cette construction mentale. De plus, Ochanine souligne que la structure opérative de l'objet sera *celle qui contiendra le plus petit nombre possible de relations, suffisant pour la réalisation de la tâche ou, en d'autres termes, celle qui, par le plus petit nombre possible de relations, fournira au sujet de l'action le maximum d'informations pertinentes sur l'objet* (Ochanine & Chebek, 1968, p2).

Ainsi, la finalisation de l'image opérative a pour conséquence directe la sélection de l'information pertinente. En Effet, pour Ochanine *l'image opérative ne retient que ce qui est directement utile à l'action, en ce sens elle est sélective. Tout doit être économique : par rapport à l'image cognitive, elle est laconique* (Weill-Fassina, 1981, p65). Nous retrouvons ici l'idée que le reflet subjectif de l'objet construit dans la conscience du sujet n'est pas le reflet d'un miroir. Ochanine va plus loin dans cette idée de sélection des informations pertinentes, pour lui l'image opérative est une déformation fonctionnelle de la réalité.

La déformation fonctionnelle est l'*accentuation des « points » informatifs les plus importants en fonction de la tâche visée : propriétés de l'objet, ses divers aspects, ses structures partielles* (Ochanine et al., 1972, p1). Cette déformation est dite fonctionnelle tout d'abord parce qu'elle implique que le reflet soit toujours adéquat à la réalité. En outre, bien que cette déformation puisse masquer certains aspects de la réalité, elle n'est que temporaire. *Elle n'apparaît qu'au moment de l'exécution des tâches intermédiaires dont se compose l'action envisagée* (Ochanine et al., 1972, p2). Ensuite, cette déformation est fonctionnelle parce qu'elle vise à minimiser les possibilités d'erreurs. Pour Ochanine, *la déformation fonctionnelle des images opératives vise toujours à supprimer ou à ramener au minimum l'incertitude de la situation d'action* (p16). Par exemple, au moment de la confrontation de l'information-signal avec les images-étalons, la déformation fonctionnelle permet de réduire les risques d'erreur au moment de la détermination des classes de situations. Elle augmente les différences et minimise les ressemblances. Enfin, la déformation est fonctionnelle car elle manifeste la souplesse et la plasticité de l'image opérative. *Il suffit que la tâche à effectuer ou les conditions concrètes de son accomplissement changent pour que la déformation fonctionnelle disparaisse complètement ou change de caractère, d'importance ou de polarité* (p2).

2.1.1.4 Evolution de l'image opérative au cours de l'expérience

Une expérience très connue d'Ochanine a permis de montrer comment l'image opérative évolue au cours de l'apprentissage d'une activité, il s'agit de l'expérience de la thyroïde (Spérandio, 1984). Trois groupes de sujets ont examinés des personnes atteintes de pathologies de la thyroïde. Les sujets étaient répartis en fonction de leur niveau de connaissances et de pratiques : des spécialistes confirmés, des médecins débutants et des infirmières. Dans un premier temps, les sujets devaient palper la glande malade, puis réaliser un moulage en glaise de celle-ci telle qu'ils l'avaient perçue par la palpation. Dans un second temps, ils examinaient le scintillogramme (ie : scintigramme : image graphique de la glande réalisée par la fixation d'iode radioactif dans les tissus thyroïdiens). A la suite de quoi, sans recourir à une nouvelle palpation, ils devaient réaliser un nouveau moulage. Enfin, dans un troisième temps, les sujets effectuaient un troisième moulage à partir d'un nouvel examen du scintillogramme et d'une nouvelle palpation. En dernier lieu, les sujets donnaient leur diagnostic. Les résultats ont mis en évidence qu'en général les moulages des médecins les plus qualifiés présentent des écarts importants par rapport à la réalité. Les détails non significatifs sont négligés alors que les symptômes significatifs sont exagérés. En d'autres termes, les écarts observés par rapport à la réalité sont des déformations fonctionnelles. Par contre, les sujets les moins qualifiés ont réalisés des moulages très justes anatomiquement, mais cependant plus pauvres en ce qui concernent les informations pertinentes : les symptômes. Cette expérience permet de mettre en évidence que les déformations fonctionnelles, caractéristiques de l'image opérative, n'apparaissent qu'avec l'expérience. Aussi, Ochanine (1971, p11), décrit le processus de mise en évidence et de fixation de la structure opérative, au cours de l'expérience, en trois phases présentées par Spérandio (1984 p83). (1) *phase de réactions chaotiques qui témoignent des prises d'informations non structurées qu'effectue le sujet face à une situation nouvelle* ; (2) *phase de recherche et de mise en évidence de la structure opérative qui témoigne des essais « d'accrochage opératoire » du sujet* ; (3) *phase de fixation définitive de la structure opérative au terme de laquelle la performance est maximale*.

2.1.2 Qu'est-ce que l'image opérative ?

L'image opérative est donc une construction mentale de l'objet (ie : reflet dans la conscience de l'opérateur), ou du système sur lequel l'opérateur agit. En outre, elle ne représente que les éléments qui sont pertinents pour l'opérateur en fonction de sa tâche en cours. C'est pourquoi, Ochanine la décrit comme laconique et lui attribue la caractéristique de présenter des déformations fonctionnelles.

De plus, l'image opérative est également liée aux connaissances du sujet (ie : image cognitive, image étalon). De ce fait, en suivant Cazamian (1981, p12) nous pouvons dire que *pour agir sur un objet l'opérateur doit donc posséder une image mentale opérative reflétant la structure opérative de l'objet*. Cette image permet à

l'opérateur d'agir sur l'objet qu'elle représente, mais aussi de le contrôler s'il s'agit d'un processus. Dans ce dernier cas, nous avons également vu qu'Ochanine attribue une capacité anticipatrice à l'image dynamique opérative. Enfin, d'après les textes d'Ochanine l'image opérative revêt un caractère transitoire : elle est étroitement liée à l'action en cours. De ce fait, elle doit être modifiée dès que les objectifs de l'activité, ou les conditions de l'activité évoluent. Ce caractère transitoire suggère que cette image élaborée d'une part à partir des informations perçues dans l'environnement (information-signal) et d'autre part à partir des connaissances en mémoire (image étalon, ou image de référence) soit élaborée dans une structure psychique différente de la mémoire permanente. Pour Ochanine, l'image opérative est élaborée dans la conscience de l'opérateur.

Par ailleurs, pour Vermersch (1981) le terme d'image opérative initié par Ochanine peut poser des problèmes sémantiques. En effet pour cet auteur, dans les travaux d'Ochanine le terme image est employé pour décrire un *modèle intériorisé de la réalité* (ie : reflet subjectif de la structure opérative de l'objet dans la conscience de l'opérateur). Mais, le caractère strictement imagé de ce reflet n'est pas défendu par Ochanine, Vermersch propose donc de le remplacer par *représentation*. En outre, le terme *opérative* décrit le caractère adapté, ou non, à l'activité, il renvoie donc à l'idée d'opérationnalité. Mais, il ne fait pas référence à l'acception de *la théorie opératoire de l'intelligence* de Jean Piaget. C'est pourquoi Vermersch propose de substituer le terme de *représentation opérationnelle* à celui d'*image opérative*. Dans la même idée, Vergnaud (1985) qualifie les représentations de fonctionnelles. Pour lui, le rôle de la représentation est de conceptualiser le réel pour agir efficacement dans le cadre des attentes du sujet et des effets produits à partir des signifiants utilisés par le sujet, des signifiés qu'il élabore et des schèmes qu'il utilise où construit. L'aspect fonctionnel de la représentation est lié au rôle qu'elle joue dans le réglage de l'action et des attentes du sujet. Par celles-ci le sujet élabore et corrige ses représentations.

La révision sémantique proposé par Vermersch, apportée dans les années 1980, nous amène d'autant plus à nous pencher sur les textes originaux de Zintchenko (1966) qui présentent le concept de mémoire opérationnelle. Ce concept ayant été repris par Bissieret dans les années 1970 comme synonyme de représentation opérationnelle : *Représentation est synonyme de : « représentation mentale circonstancielle », « représentation de la situation », « modèle mental », « représentation fonctionnelle », « représentation opérationnelle », « mémoire opérationnelle » etc* (Bissieret, 1995, p5).

2.2 La Mémoire Opérationnelle

Après une présentation de la mémoire opérationnelle définie telle que Zintchenko (1966) l'introduit, nous reviendrons sur les travaux de Bissieret afin de comprendre son point de vue.

2.2.1 Les travaux de Zintchenko et de Smirnov, la mémoire et l'activité

Le titre de l'article de Smirnov (1966) *la mémoire et l'activité* reflète très bien l'une des préoccupations des recherches soviétiques en psychologie, des années 1940-70, orientées vers l'analyse du travail des opérateurs dans l'industrie. Dans cet article, comme le rappelle Zintchenko(1966, p7), Smirnov expose ses expérimentations et ses conclusions sur la *dépendance de la mémoire à l'égard de l'activité de l'homme*. Ces études partent du postulat de base de cette branche de la psychologie soviétique pour laquelle l'action et la connaissance sont étroitement liées. *L'homme prend connaissance du monde qui l'entoure en agissant sur lui, en le transformant* (Smirnov, 1966, p47). Par ailleurs, d'après des expérimentations menées par Zintchenko (1939; 1945), Smirnov insiste sur la *subordination de la mémorisation spontanée à l'objectif et au caractère de l'activité pendant laquelle elle se réalise, à la place qu'elle occupe dans la structure de cette activité et à la fonction qu'elle remplit, en particulier selon qu'elle est le but de l'action ou seulement un moyen de la réaliser* (p52). Petit à petit les questions de ces chercheurs ont glissé de l'acquisition des connaissances au cours de l'activité à la dépendance de la mémoire et de l'activité. C'est alors que Zintchenko (1966, p7) pose clairement le concept de *mémoire opérationnelle dont la fonction consiste justement à servir les besoins concrets de l'activité*. Auparavant, le terme de mémoire opérationnelle était utilisé en cybernétique afin de le

distinguer de la mémoire permanente. Par la suite, Zintchenko a estimé que ces deux termes, mémoire permanente et mémoire opérationnelle, étaient valables dans le domaine de la psychologie humaine. Par conséquent, Zintchenko (1966) les distingue très clairement. Tout d'abord, il conçoit la mémoire permanente en tant que l'accumulation de l'expérience, la conservation de celle-ci et son emploi dans des activités ultérieures. Mais, il souligne que lors de n'importe quelle *activité on éprouve le besoin, non seulement de mettre à profit l'expérience acquise, mais de garder le souvenir de telles ou telles données de départ, de telles ou telles conditions de la tâche (dans le sens large du terme), à réaliser, de tels ou tels résultats intermédiaires ainsi que de l'ordre de succession des opérations à effectuer, etc...* (1966 p9). Ainsi, il souligne la nécessité de mémoriser temporairement un certain nombre d'informations utiles uniquement durant l'accomplissement de l'activité en cours. De plus, Zintchenko insiste également sur la nécessité pour l'opérateur d'oublier en temps voulu les renseignements dont il n'a plus besoin pour son activité. C'est pourquoi, cette mémoire ne peut selon lui se limiter à l'accumulation et à l'utilisation de l'expérience. Zintchenko cite comme exemple la recopie d'un texte. *Recopier un texte en se rappelant du « passage » que l'on lit tandis qu'on le couche sur le papier tout en fixant dans la mémoire le groupe de mots suivants, alors que le souvenir de ce qu'on a écrit reste encore indispensable un certain temps à la compréhension du sens* (1966 p10).

En outre, Zintchenko distingue également la mémoire opérationnelle de la mémoire immédiate. Il définit la mémoire immédiate comme *l'aptitude psycho-physiologique de l'homme à garder le souvenir, à retenir sur le coup un matériel à peine assimilé* (1966 p10). En revanche la mémoire opérationnelle *n'est concevable que strictement subordonnée aux buts d'une activité donnée, que liée au contenu même de cette activité* (1966 p10). De ce fait, l'auteur précise que si ces deux mémoires sont transitoires, la brièveté de la mémoire opérationnelle est relative à l'activité qu'elle sert. Certes, la mémoire opérationnelle est brève par rapport à la mémoire permanente mais elle peut donc être longue par rapport à la mémoire immédiate. De ce fait, pour Zintchenko la mémoire opérationnelle accomplit une fonction spécifique, et possède un contenu particulier.

Au cours d'expérimentations Zintchenko chercha à élucider les particularités de la mémoire opérationnelle. Il a ainsi mis en évidence que la diminution des capacités de la mémoire opérationnelle lorsque la complexité de la tâche augmente. De plus, ses résultats ont également permis de constater des différences individuelles dans l'exécution de tâches mettant en œuvre la mémoire opérationnelle. Par exemple, il met en évidence que les procédés d'intégration des informations en mémoire opérationnelle sont très variables d'un sujet à l'autre. En effet, les sujets qui assemblent les informations en *unités de mémoire* ou *unités opérationnelles* (ie : chunking) sont plus performants que ceux qui n'y parviennent pas. Lors d'une expérimentation auprès d'écoliers, en situation de recopie de texte, Zintchenko met en évidence que les unités de la mémoire opérationnelle des élèves peuvent appartenir à trois niveaux différents. Les unités du niveau inférieur se limitent aux lettres et aux syllabes, celles du niveau intermédiaire comprennent des mots, et enfin les unités opérationnelles du niveau supérieur absorbent des groupes de mots et des propositions. Par ailleurs, il analyse que les niveaux inférieurs et moyens n'assurent que très faiblement la justesse orthographique et sémantique du texte retranscrit. En mettant en place des séances d'entraînement pour les écoliers les plus en difficulté, Zintchenko mit en évidence que le passage à des unités opérationnelles du stage supérieur permettait de diminuer le nombre d'erreurs et d'augmenter la vitesse de copie. *Graduellement, l'automatisation des opérations suscitait ainsi la modification des procédés de la mémorisation opérationnelle, la formation d'unités de la mémoire d'un niveau plus élevé* (p17). De ce fait, pour Zintchenko, la formation de ces unités opérationnelles de niveau supérieur, d'une part, assure de meilleurs résultats et, d'autre part, est étroitement liée à l'expérience des sujets.

2.2.2 Reprises du concept de mémoire opérationnelle

Les méthodologies employées par Zintchenko mettent en jeu des tâches assez simples (recopie, ou rappel de chiffres inscrits sur des tableaux). Cependant le concept de mémoire opérationnelle a été repris par Bisseret (1970) alors qu'il étudiait la tâche centrale des contrôleurs aériens (ie : prise en charge des avions après le décollage pour assurer l'anticollision pendant tout leur trajet).

2.2.2.1 La mémoire opérationnelle avant que n'existe le concept de mémoire de travail

Lorsque Bisseret (1970) utilise le terme de mémoire opérationnelle les travaux de Zintchenko lui sont contemporains et le concept de mémoire de travail n'existe pas encore. De ce fait, pour Bisseret il semble évident que la mémoire immédiate (mémoire à court terme) ne peut correspondre qu'à des activités de stockage temporaire d'informations. C'est pourquoi, en suivant Zintchenko il distingue la mémoire opérationnelle de la mémoire immédiate et de la mémoire permanente. *C'est en réaction à des travaux américains sur la mémoire à court terme (running memory en particulier) que j'ai proposé « mémoire opérationnelle » pour le phénomène constaté d'une mémorisation sans commune mesure avec ce qui était admis pour la mémoire à court terme ; tout en le distinguant de la mémoire à long terme, parce que transitoire* (Bisseret, 2004). A cette époque, Bisseret (1970) envisage que la mémoire opérationnelle est constituée non pas d'une copie du réel, mais d'un ensemble d'informations pré-traitées, ou enregistrées sous une forme qui prépare et facilite le traitement de l'information.

2.2.2.2 La mémoire opérationnelle et la mémoire de travail

Au cours des années 1970, la notion de mémoire à court terme a été petit à petit abandonnée au profit de la mémoire de travail. La mémoire à court terme était considérée comme un système de stockage transitoire. En revanche, la mémoire de travail est pensée comme un système de stockage transitoire et de traitement de l'information. Richard (1990) discute le lien entre mémoire de travail (A. D. Baddeley & Hitch, 1974) et la mémoire opérationnelle (Bisseret, 1970). Pour Richard ces deux notions sont voisines. Il considère que la notion de mémoire opérationnelle vise à *rendre compte du fait que dans la réalisation d'une tâche significative la mémorisation est extrêmement dépendante des objectifs de la tâche et traduit l'idée que la mémoire est structurée par les exigences de la tâche à accomplir* (Richard, 1990, p35). Cependant, pour Richard, ces trois concepts (mémoire permanente, mémoire de travail et mémoire opérationnelle) ne se situent pas au même niveau. Il distingue d'une part un niveau structural de la mémoire humaine et un niveau fonctionnel. La mémoire permanente et la mémoire de travail permettraient de décrire les structures de la mémoire humaine, alors que la mémoire opérationnelle serait une notion purement fonctionnelle. Pour Richard (1990, p36) *elle décrit des états de l'information mémorisée, ce n'est pas une nouvelle structure de mémorisation avec ses mécanismes propres*. Par ailleurs, pour Richard, le contenu de la mémoire opérationnelle peut être considéré comme constitué de l'information contenue en mémoire de travail et la partie active de la mémoire à long terme. Le contenu de la mémoire opérationnelle serait la représentation mentale.

En 1995, lorsque Bisseret revient sur la notion de mémoire opérationnelle, il fait toujours référence au concept de Zintchenko, mais, également à Richard (1990). De ce fait, selon Bisseret (1995) *il est vrai que ce que nous avons appelé mémoire opérationnelle à la suite des auteurs soviétiques, est plutôt un concept fonctionnel et correspond en fait à la représentation* (p124). Cependant Bisseret note une réserve à cette fusion sémantique. En effet, pour l'auteur, la brièveté de la mémoire opérationnelle n'est pas de même nature que celle de la mémoire à court terme, *elle est déterminée par le contenu, le degré de complexité de l'activité qu'elle sert* (1995 p75). C'est pourquoi Bisseret pense que la mémoire de travail telle que la conçoit Richard, en référence à Baddeley, *ne peut rendre compte des phénomènes constatés sous le terme de « mémoire opérationnelle » (au point de vue capacité en particulier)* (Bisseret, 2004). Par conséquent, Bisseret pense que la seule issue possible à ces difficultés terminologiques et conceptuelles est la théorie de la *mémoire de travail à long terme* (Ericsson & Kintsch, 1995).

2.2.2.3 La mémoire opérationnelle, une mémoire de travail à long terme ?

La théorie de la mémoire de travail à long terme est en fait l'intrication entre la mémoire de travail et la mémoire à long terme. En effet, selon Ericsson et Kintsch (1995) la mémoire de travail fait partie intégrante

de la mémoire permanente. Comme dans le modèle Cowan (1988), auquel se réfère Endsley (2000), la mémoire de travail est envisagée comme la partie active de la mémoire permanente.

Ericsson et Kintsch (1995) soulignent que dans les tâches cognitives complexes une grande quantité d'information doit être maintenue active. Comme Bisseret le suggère, ils pensent que cette quantité d'information est très supérieure à ce que laissent envisager les études de la mémoire de travail en laboratoire telle qu'elle est analysée par Baddeley (1986; 2000). En outre, les auteurs soulignent que dans de nombreuses situations, l'activité du sujet est ponctuée d'interruptions et de reprises. *L'hypothèse centrale du modèle est que, dans des conditions bien délimitées, les sujets peuvent élargir leur mémoire de travail traditionnelle au moyen d'un accès par indices aux informations stockées en mémoire à long terme* (Gaonac'h & Larigauderie, 2000, p250). Par ailleurs, pour les auteurs la MTLT est étroitement liée à l'expérience des sujets. Elle permettrait de récupérer, de manière hautement stratégique, des contenus stockés en mémoire à long terme et de les activer en mémoire de travail. La MTLT serait donc une partie de la MLT spécialisée dans le stockage d'indices de récupération des connaissances (*retrieval cues*) qui ont pu être utilisées lors de la réalisation d'une tâche antérieure. Ces indices sont envisagés comme des structures de récupération stratégiquement associées avec les unités de connaissances stockées en mémoire à long terme (ie : schémas). La simple activation de ces indices permettrait d'activer, de façon économique, toutes les connaissances requises pour une tâche donnée. *En ce sens, l'instance de mémoire de travail à long terme n'est pas générique et ne peut être utilisée que pour une activité donnée dont la réalisation est devenue experte* (Chanquoy & Alamargot, 2002, p395).

2.2.2.4 Mémoire opérationnelle et charge de travail

Une autre position est envisagée par Spérando (1975; 1984) qui se réfère aux travaux de Bisseret (1970). *Lorsque l'on parle de mémoire « opérationnelle », on ne se réfère ni à une théorie particulière des processus mnémoniques, ni à un certain découpage de la mémoire dans le temps (comme on parle de mémoire à court terme ou à long terme). Ce n'est pas non plus la mémoire telle qu'on l'étudie classiquement en laboratoire, ni non plus la mémoire de la vie courante* (Spérando, 1975 p41). Pour Spérando, la mémoire opérationnelle est totalement liée à l'activité de travail. Il la définit comme *l'ensemble des informations dont l'opérateur disposait au cours de la tâche* (1984 p66). Par conséquent, l'auteur s'est notamment intéressé aux effets de la charge de travail sur la mémoire opérationnelle des contrôleurs aériens. Dans ce but, il a étudié la mémoire opérationnelle des contrôleurs en fonction du nombre d'avions contrôlés.

Les résultats d'observations de contrôleur en cours d'activité réelle ont montré qu'en fonction du nombre d'avions à contrôler les sujets mettent en œuvre des stratégies différentes. En effet, tant que le nombre d'avions est faible les contrôleurs respectent les critères de sécurité mais aussi des critères secondaires (eg : trajectoire favorisant une économie de carburant). En revanche, plus le nombre d'avions augmente plus le nombre de critères respectés diminue (la sécurité étant toujours respectée). Lorsque le niveau d'exigence de la tâche est faible (peu d'avions) Spérando montre que les stratégies alors mises en œuvre nécessitent des raisonnements plus fins, de nombreuses prises d'informations et de nombreux échanges verbaux. En revanche, lorsque le niveau d'exigence de la tâche est élevé (grand nombre d'avions) le temps de traitement accordé à chaque avion est minimal, et les procédures mises en œuvre sont stéréotypées.

Par ailleurs, une autre expérimentation a permis de comparer la quantité d'information contenue en mémoire opérationnelle toujours en fonction du nombre d'avions à contrôler mais également, en fonction du délai de rappel (Spérando, 1975). Il en ressort qu'un effet d'oubli attribuable à l'augmentation du nombre d'avions à contrôler est augmenté par la durée du délai de rappel. Cependant, certains avions sont mieux rappelés que d'autres. Spérando observe que ce résultat n'est pas lié au temps pendant lequel les informations sur ces avions étaient disponibles. En effet, les avions les mieux rappelés sont ceux qui ont été les plus manipulés par les contrôleurs : les plus opérationnels durant la séance de contrôle (avions en cours de contrôle lors de la prise de poste, ou en fin de vacation et avions impliqués dans des conflits lors de la vacation).

Ces études réalisées auprès de contrôleurs expérimentés mettent en évidence que les capacités de la mémoire opérationnelle sont fortement dépendantes de l'activité menée. *Les rappels ne se répartissent pas au hasard, mais au contraire touchent électivement certains avions et certaines informations caractéristiques des avions, en liaison explicite avec les caractéristiques opérationnelles de la tâche* (Spérando, 1975, p61).

2.3 Représentation Mentale et Conscience de la Situation

Nous avons vu dans notre première partie que la théorie de la Conscience de la Situation renvoie à l'idée de l'élaboration d'un produit cognitif afin de servir une activité en cours. Au cours de la présente partie nous avons présenté le concept d'image opérative qui s'inscrit totalement dans cette conception de l'activité humaine. Cependant, chronologiquement, il serait plus juste de dire que c'est la théorie de la Conscience de la Situation qui s'inscrit dans la lignée des travaux soviétiques sur l'activité cognitive de l'opérateur.

Quoi qu'il en soit, le champ théorique dans lequel nous nous inscrivons postule que l'activité cognitive du sujet est centrée sur l'élaboration d'un produit interne qui lui permet d'agir sur le monde : la représentation mentale de la situation soit la conscience de la situation. Cette construction mentale n'est pas permanente, sa durée de vie se limite à l'utilité qu'elle revêt pendant l'activité. De ce fait, d'un point de vue fonctionnel elle est à distinguer des connaissances permanentes de l'opérateur. *Les représentations mentales sont des constructions circonstanciées (...) finalisées par la tâche et la nature des décisions à prendre* (Richard, 1990). Par ailleurs, *les représentations doivent être distinguées de connaissances ou des croyances* (Richard, 1990, p10). Cette distinction reprend celle faite par Le Ny (1985) entre les représentations-types et les représentations occurrentes. Pour cet auteur, les représentations-types renvoient à des structures permanentes inscrites en mémoire à long terme, ce sont par exemple les représentations sociales. En revanche, les représentations occurrentes décrites par Le Ny (1985) sont transitoires. Elles correspondent à l'activation momentanée d'une représentation-type, pour un traitement particulier. En d'autres termes, les représentations occurrentes sont ce que Richard (1990) appelle les représentations mentales. Si un consensus a été établi entre ces auteurs pour distinguer des structures de connaissances permanentes et des constructions mentales circonstanciées, cette distinction n'est pas si claire chez tous les auteurs. En effet, parfois le terme de représentation peut-être employé pour définir des connaissances permanentes. Par exemple, pour Abric (2003) une représentation est constituée d'un noyau central, élément stable de la représentation et d'éléments périphériques qui fonctionneraient comme une grille de décryptage de la situation. Pour l'auteur, ces éléments périphériques constitue l'interface entre le noyau central et la situation réelle dans laquelle s'élabore ou fonctionne la représentation. Notons que le champ d'étude d'Abric est celui des représentations sociales et non des représentations cognitives.

Pour la suite de ce travail, de psychologie cognitive, nous utiliserons donc le terme connaissance en ce qui concerne les structures de connaissances permanentes stockées en mémoire à long terme, et le terme de représentation mentale pour les constructions mentales circonstanciées. En outre, notre intérêt porte donc sur les constructions circonstanciées, les produits cognitifs que sont les représentations mentales. Néanmoins, plusieurs formats ont été proposés pour décrire la nature du contenu de ces représentations mentales.

2.3.1 Quelle est la nature de l'information dans les représentations mentales ?

Un grand débat porte sur la nature du contenu des représentations mentales. Est-il verbal ou imagé ? En d'autres termes, l'information traitée par le sujet, est-elle codée de manière imagée ou de manière verbale ? Intuitivement, pour tout un chacun, l'idée que nous nous représentons le monde en image n'est pas irrecevable. Cependant, nous allons voir que le statut cognitif de l'image n'a pas été facilement admis par la communauté scientifique.

2.3.1.1 Fondements du débat

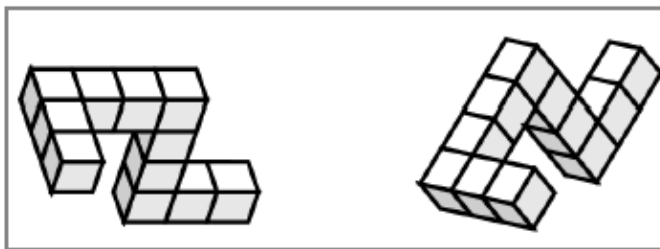
C'est le behaviorisme fut à l'origine du déclin de l'importance du concept d'image dans la psychologie scientifique. La raison de ce rejet était l'absence de preuve expérimentale. En effet, les images mentales n'étaient accessibles que par l'introspection qui n'était pas reconnue comme une méthode expérimentale. En revanche, le matériel recueilli par les expérimentateurs étant le plus souvent verbal, c'est donc cette forme de codage qui a été mis au premier rang. A partir des années 60, le développement de la psychologie cognitive redonne une place à l'image dans l'activité cognitive. Les travaux de Piaget et Inhelder (1963; 1966) ont alors marqué un tournant dans le statut accordé à l'imagerie mentale. Denis (1979, p34) souligne les deux points fondamentaux de ces travaux. *L'image mentale n'est plus conçue comme un simple prolongement de l'activité perceptive ou comme une forme résiduelle de la sensation, mais comme le produit d'une activité symbolique.* De plus, le caractère actif et constructif des processus d'imagerie est reconnu. L'image mentale est *une construction active opérée par l'individu*. L'image mentale prend alors une fonction symbolique comme le langage. Dès lors, ces formes de codes de l'information en mémoire de travail ont été défendues et comparées. Une solution a été apportée par Paivio (1986) qui s'inscrit dans la théorie du double codage. Pour cet auteur, les deux modes de représentations co-existent : un système de représentations imagées et un système de représentation verbale. La mise en œuvre des représentations imagées sera d'autant plus probable que le sujet traitera des informations concrètes. Cette forme de codage fait référence à des expériences perceptives passées. En revanche, le système de représentation verbale, qui fait référence au langage, sera plus utilisé dans des situations abstraites. La théorie du double codage postule que les textes et les images sont traités et stockés séparément, mais qu'il existe des inter-relations entre le codage verbal et le codage imagé. En outre, un mot qui est abstrait (eg : liberté, justice) sera codé de manière verbale, alors qu'un mot concret (eg : oiseau, voiture) sera codé de manière visuelle. En d'autres termes, lorsque le matériel est imageable, des images mentales peuvent facilement être construites par les sujets. Afin d'asseoir le statut cognitif de l'image, de nombreuses recherches ont cherché à étudier de plus près les processus d'imagerie pour les comparés au processus de perception visuelle.

2.3.1.2 Exemple d'études de l'imagerie mentale

Le statut cognitif de l'imagerie mentale retrouvé, des recherches ont alors visé à comparer l'imagerie visuelle et la perception visuelle, les deux thèmes les plus connus sont la rotation mentale et le balayage d'image mentale.

Shepard et Metzler (1971) ont étudié la rotation mentale. Des paires de stimuli étaient présentés aux sujets qui devaient dire si les deux figures étaient identiques ou non (figure 10). Pour comparer ces deux figures, il est indispensable d'en faire tourner une mentalement. Pour les auteurs, ce processus est de nature analogue à une rotation d'objets dans la réalité.

Figure 10 : Exemple de paire de stimuli utilisés par Shepard et Metzler 1971



Par ailleurs, Kosslyn et al (1978) ont réalisé des expérimentations sur le balayage d'images mentales. Ces auteurs présentaient à leur sujet la carte géographique d'une île fictive (figure 11). Après avoir demandé au sujet de bien mémoriser les objets représentés sur la carte (eg : lac, hutte, arbre) ainsi que leurs localisations,

l'expérimentateur retirait la carte. Il était alors demandé au sujet de se représenter mentalement la carte et de regarder mentalement l'un des éléments figurant sur la carte (eg : hutte). Puis, on leur indiquait un second objet (eg : arbre). Le sujet devait alors vérifier que ce second objet était présent sur la carte en imaginant un point qui se déplaçait en ligne droite du premier objet (eg : hutte) au second (eg : arbre). Lorsque le sujet avait, mentalement, atteint le second objet, il devait appuyer sur un bouton. De cette manière, Kosslyn et al mesurent le temps nécessaire au déplacement mental. Les résultats de cette expérimentation ont mis en évidence qu'à mesure que la distance réelle (ie : sur la carte) entre les objets augmentent le temps de réponse des sujets augmente. Cette étude a permis de mettre en évidence que les sujets ont pu construire une représentation mentale de la carte qui a conservé les caractéristiques spatiales de cette dernière.

Figure 11: Carte de l'île (Kosslyn et al 1978)



D'autres opérations sur les images mentales ont été étudiées : la comparaison d'images mentales (Paivio, 1978) ou encore des tâches de pliage (Shepard & Feng, 1972). Toutes ont suggéré que nous disposons de capacités à former et traiter des représentations analogues aux stimuli qu'elles représentent. *L'image est une forme de représentation qui résulte d'une abstraction, sans toutefois que le degré atteint par cette abstraction fasse perdre à la représentation son isomorphisme structural à l'égard de la perception* (Denis, 1989, p9). En outre, pour Kosslyn (1980), les processus impliqués dans la perception visuelle et dans l'imagerie mentale sont les mêmes. Si tous les auteurs ne s'accordent pas sur cette identité, il est cependant indéniable que ces processus entretiennent une étroite parenté (Denis, 1989). Toutefois, Pylyshyn (1973) reproche de ne postuler que des modes de représentations imagés ou visuels, c'est-à-dire uniquement des représentations analogiques.

2.3.1.3 Une nouvelle controverse sur l'image mentale ?

Pour Pylyshyn, il est indispensable d'envisager un mode de représentation abstrait, inaccessible à la conscience du sujet. Pour l'auteur, ces représentations sont amodales, de nature conceptuelle et propositionnelle. Elles ne ressemblent pas à l'objet qu'elles représentent : leur structure n'est pas analogue à la structure de l'objet réel. De ce point de vue, d'une part, toutes les informations sont stockées d'une seule et même manière : les propositions, et d'autre part l'imagerie mentale n'est qu'un épiphénomène des propositions. Cette vision n'est pas incompatible avec le point de vue de Kosslyn (Fortin & Rousseau, 1993). En effet, pour Kosslyn, l'élaboration d'images mentales met en jeu deux structures mnésiques. Premièrement, une mémoire sémantique qui renvoie à la signification des objets et des événements, cette mémoire contient des représentations propositionnelles. Et deuxièmement, une mémoire à court terme visuelle (ie : buffer). Le

modèle de Kosslyn est computationnel. Le buffer serait une sorte d'écran permettant d'afficher l'image à partir de la représentation propositionnelle contenue en mémoire. Ainsi, selon ce modèle, il nous semble que la nouvelle controverse introduite par Pylyshyn ne toucherait pas directement aux représentations mentales. En effet, selon nous, les propositions abstraites que défend Pylyshyn renvoient aux connaissances permanentes stockées en mémoire à long terme et non aux représentations mentales élaborées en mémoire opérationnelle. En ce qui concerne le débat autour de l'existence des images mentales nous suivons, le spécialiste français de la question, Michel Denis (1979) et pensons que le débat n'est toujours pas clos !

Cependant le point de vue de Pylyshyn introduit l'idée de représentations mentales à différents niveaux d'abstraction, ce qui nous semble intéressant. En effet, nous pouvons la rapprocher de l'idée selon laquelle les informations peuvent être traitées à un niveau symbolique (ie : conscients, à base de règles) ou un à niveau sub-symbolique (ie : automatisés et inconscients). L'articulation de ces deux niveaux renvoie également à la conception de contrôle cognitif défini par Hoc et Amalberti (1994). Cependant, les activités humaines étudiées ne sont plus comparables avec les tâches de laboratoire que nous venons de présenter. En effet, le champ d'investigation de Hoc et Amalberti (eg : contrôle de haut fourneau, pilotes d'avion, contrôleurs aériens) s'apparente plus à celui d'Ochanine qu'à celui de Paivio ou Kosslyn. En effet, le débat sur la nature du contenu des représentations mentales fait un peu perdre de vue l'aspect fonctionnelle de ces constructions cognitives. Le concept de représentation pour l'action permet de resituer le champ d'investigation des représentations mentales dans l'activité du sujet.

2.3.2 Les représentations mentales pour l'action

Dans notre acception, le concept de *représentation pour l'action* dépasse le sens que lui avait attribué Bruner (1966) en parlant des représentations *énactives*. Selon Bruner, cette forme de représentation est liée à l'exécution de procédures et en contrôle le déroulement. Elle concerne les activités motrices mais aussi les habiletés cognitives de nature symbolique. C'est le cas des règles de jeux bien connues comme la bataille navale ou la pétanque.

En revanche, nous parlerons de représentation pour l'action afin de souligner l'aspect fonctionnel et finalisé des représentations mentales qu'un sujet élabore lors d'une activité. *Ce concept se rapproche ainsi, d'une part, de la notion de « modèles mentaux » dans la mesure où les représentations pour l'action réfèrent, pour le sujet, à des propriétés constitutives de classes de situations, et d'autre part, des notions de « schémas » et de « scripts » dans la mesure où ils renvoient à des procédures mémorisées. En confrontation avec la spécificité des situations, les représentations sont, pour partie, dans le guidage et l'organisation de l'action* (Weill-Fassina, Rabardel, & Dubois, 1993, p17). De ce fait, les *représentations pour l'action* sont à rapprocher de l'image opérative d'Ochanine, ou du concept de représentation opérationnelle que nous avons tous deux présentés plus haut. En effet, les représentations pour l'action sont élaborées en fonction de la finalité de l'activité. C'est pourquoi nous pouvons dire que leur vocation est de construire du sens sur la situation de l'activité. En ce sens, Weil-Fassina (1993) souligne *leur variabilité temporelle pour une même situation de base et un même individu en fonction des buts, des circonstances et du temps*.

2.3.3 Représentation Mentale pour l'Action et/ou Conscience de la Situation ?

Quelle que soit la situation, l'activité cognitive du sujet est orientée par un but (hormis la contemplation). En fonction de ce but et de ses connaissances le sujet interprète la situation, réalise des traitements, afin de prendre des décisions et d'exécuter des actions. *Interpréter la situation c'est en construire une représentation qui est circonstancielle, spécifique de la situation et des traitements relatifs* (Bisseret, 1995). Cette représentation mentale est une image opérative de la situation, dans le sens que Vermersch (1981) attribue à la représentation opérationnelle : un modèle interne du monde adapté à l'activité en cours. Ainsi, l'opérateur qui agit dans une situation, élabore de cette situation une représentation mentale, circonstancielle, transitoire,

laconique et déformée fonctionnellement. Ces représentations sont des reconstructions cognitives (Martin, 1984). Cette représentation circonstancielle est construite dans une structure cognitive fonctionnelle particulière : la mémoire opérationnelle. Selon nous, la mémoire opérationnelle est une sorte de mémoire de travail, lieu de stockage transitoire et de traitement de l'information nécessaire à l'activité en cours. Pour Richard (1990) et pour Bisseret (2004), la mémoire opérationnelle et la représentation mentale sont intimement liées.

En outre, en fonction de l'expérience des sujets, Ericsson et Kintsch (1995) pensent que la mémoire de travail et la mémoire à long terme entretiennent des liens spécifiques, offrant ainsi de meilleures capacités à la mémoire de travail. Les auteurs proposent alors le terme de mémoire de travail à long terme pour qualifier cette structure mnésique spécifique. De notre point de vue, l'idée fondamentale défendue par ces auteurs, sur les effets de l'expérience sur les connaissances, ne peut être niée. Cependant, il est également possible de rendre compte des effets de l'expérience autrement que par le concept de mémoire de travail à long terme. Nous reviendrons plus en détail sur les questions liées à l'expérience dans la partie 3.3. En résumé, nous pouvons déjà dire que l'expérience permet une meilleure organisation des connaissances permanentes (ie : schémas) en mémoire à long terme. En revanche, d'un point de vue fonctionnel il est nécessaire de distinguer une mémoire transitoire (ie : mémoire opérationnelle) où sera élaborée la représentation mentale et une mémoire à long terme en tant que stock de connaissances permanentes (ie : schémas). Au cours de la pratique, l'utilisation de ces connaissances au cours de l'activité sera optimisée. Le profit de l'expérience de l'opérateur sera d'élaborer des représentations mentales plus adéquates, plus pertinentes à la situation réelle que ne pourrait le faire un novice, et ce pour un moindre coût cognitif.

C'est ce dernier point qui nous permet d'exploiter le concept d'Endsley de Conscience de la Situation. Bien que l'auteur ne soit pas très clair sur l'architecture cognitive de son modèle, il a l'avantage de mettre en lien les concepts de connaissances, d'expérience, de ressources cognitives et d'un produit cognitif construit au cours de l'action afin de servir l'action. Dominguez (1994) qui a rassemblé une partie des définitions de Conscience de la Situation (tableau 2) extrait 4 composants qui, selon elle, doivent être présents dans une définition complète de la conscience de la situation. Il s'agit (1) d'extraire l'information à partir de l'environnement (2) d'intégrer cette information avec les connaissances internes appropriées pour créer une image mentale de la situation actuelle; (3) d'utiliser cette image pour diriger l'exploration dans un cycle perceptif continu (4) de prévoir de futurs événements. C'est sur cette base qu'elle construit sa définition de la CS « *l'extraction continue des informations disponibles dans l'environnement, l'intégration de cette information avec la connaissance précédente pour former une image mentale logique, et d'utilisation de cette image pour diriger la perception et prévoir le futur* » (Dominguez 1994). En outre, en 1991, Endsley définit la Conscience de la Situation comme le modèle mental qu'une personne a du monde qui l'entoure (« *situation awareness, a person's mental model of the world around him* » p 801).

Tableau 2: Table de définitions "Situation Awareness" (Dominguez 1994)

Definition	Author(s)
Conscious awareness of actions within two mutually embedded four dimensional envelopes.	Beringer & Hancock 1989
A pilot's continuous perception of self and aircraft in relation to the dynamic environment of flight, threats, and mission and the ability to forecast, then execute tasks based on that perception.	Carroll 1992
The ability to extract, integrate, assess and act upon task-relevant information is a skilled behaviour known as "Situational Awareness".	Companion, Corso, Kass & Herschler
The accurate perception of the factor and conditions that affect an aircraft and its flight crew.	Edens 1991
The accurate perception of the factor and conditions that affect an aircraft and its flight crew during a period of time.	Schwartz 1993
The perception of the elements in the environment within a volume of time and space, the comprehension of their meaning and the projection of their Status in the near future.	Endsley 1990
The knowledge that results when attention is allocated to a zone of interest at a level of abstraction.	Fracker 1988
The pilot's overall appreciation of his current "world".	Gibson, Garrett 90
One's ability to remain aware of everything that is happening at the same time and to integrate that sense of awareness into what one is doing at the moment.	Haines & Fleteau 1992
<u>Where</u> refers to spatial awareness ... <u>What</u> characterises identity awareness, or the pilot's knowledge of the presence of threats and their objectives, [as well as] engine status and flight performance parameters. <u>Who</u> is associated with responsibility, or automation awareness; that is knowledge of who is in charge. Finally, <u>When</u> signifies temporal awareness and addresses knowledge of events as the mission evolves.	Hardwood, Barnett & Wickens, 1988
The ability to envision the current and near-term disposition of both friendly and enemy forces.	Masters, McTaggart & Green 1986
Awareness of conditions and threats in the immediate surroundings	Morishige and Retelle, 1985
The ability to maintain an accurate perception of the surrounding environment, both internal and external to the aircraft as well as to identify problems and/or potential problems, recognise a need for action, note deviations in the mission, and maintain awareness of task performed.	Prince & Salas 1993
S.A. means that the pilot has an integrated understanding of factors that will contribute to the safe flying of the aircraft under normal or non-normal conditions.	Regal, Rogers & Boucek 1988
Situation Awareness refers to the ability to rapidly bring to consciousness those characteristics that evolve during flight.	Wickens, 1992
The pilot's knowledge about his surroundings in light of his mission's goals.	Whitaker & Klein 1988

Nous comprenons alors le terme de modèle mental au sens de Norman (1983) : des modèles internes des choses avec lesquelles les sujets sont en train d'interagir. Pour Gineste et Indurkha (1993) les modèles mentaux sont construits en mémoire de travail pour une durée limitée au traitement requis par la situation. Ils sont constitués d'une part des informations en cours de traitement et d'autre part d'autres matériaux stockés en mémoire à long terme (ie : connaissances). Soulignons également que les modèles mentaux ne sont pas des structures statiques. En effet, l'une des caractéristiques des modèles mentaux est de permettre de « voir » dans sa tête, ce qui arriverait si on avait telle ou telle action sur le modèle. De ce fait, le modèle mental peut être considéré comme un outil élaboré mentalement permettant une simulation mentale dynamique de la situation. De ce point de vue nous sommes d'accord avec Endsley qui compare la Conscience de la Situation au modèle mental du sujet.

L'image mentale dont parle Dominguez est sans nul doute une image opérative de la situation. Par ailleurs, lorsque Endsley assimile la CS à un modèle mental construit par l'opérateur, nous entendons à nouveau qu'il s'agit d'une construction mentale finalisée en vue de l'activité. De ce fait, cette représentation mentale de la situation, (ie : Conscience de la Situation) avec toutes les propriétés que nous lui avons assignées, est la clef de voûte de l'activité cognitive de l'opérateur humain. C'est pourquoi, dans les chapitres suivants, nous considérerons, les termes de représentation mentale, de modèle mental et de conscience de la situation comme synonymes.

Notre prochain chapitre portera sur l'activité de conduite et la place de cette représentation mentale dans l'activité du conducteur automobile. Dans un premier temps, nous présenterons les caractéristiques de l'activité de conduite. Dans un second temps celles de l'activité cognitive du conducteur ce qui nous permettra de cerner l'importance de la représentation mentale dans cette activité particulière.

Chapitre 3. Application de la Conscience de la Situation à la conduite automobile

Ces dernières années, quelques travaux ont cherché à mettre directement en lien la Conscience de la Situation et l'activité de conduite automobile. Ces études ont envisagé la question en appliquant directement le modèle de Conscience de la Situation (Endsley 1995) à la conduite automobile. Nous verrons que la modélisation cognitive de l'activité du conducteur permet de cerner la place des représentations mentales, et donc de la CS, dans cette activité. Par ailleurs, au cours des trois dernières parties de ce chapitre nous aborderons des questions spécifiques de la conduite automobile, nous remarquerons alors que le concept de Conscience de la Situation est à chaque fois appliqué, ou applicable, à ces problématiques. Nous allons d'abord présenter ce qu'est la conduite automobile du point de vue de l'activité cognitive du conducteur.

3.1 Qu'est-ce que la conduite automobile ?

Pour Neboit (1980), conduire un véhicule, c'est effectuer un déplacement dans un environnement en perpétuelle évolution. Ce déplacement est orienté vers un but : rallier un point B à partir d'un point A. Aussi ce déplacement est soumis à différentes règles explicites (code de la route) ou implicites (règles d'usage). Enfin, il s'effectue par l'intermédiaire d'un outil (le véhicule).

- Par ailleurs, une des caractéristiques du réseau routier réside dans sa grande diversité (Pierre Van Elslande, 1992) :
- diversité des conducteurs (expérience, âge, familiarité des lieux),
- diversité des véhicules (puissances diverses),
- et diversité des environnements (infrastructure, trafic).

Toutes ces caractéristiques contraignent le conducteur à s'adapter en permanence à la situation alors qu'elle est perpétuellement en évolution. De ce fait, l'activité de conduite est une activité complexe. Néanmoins, en fonction du contexte, la complexité de la tâche est variable. En effet, la conduite sur autoroute par faible trafic ne demande au sujet qu'une activité de contrôle de son véhicule, l'activité revêt alors une dominante sensori-motrice. En revanche, la traversée d'une intersection est une activité à forte dominante cognitive (Saad et al., 1992). Ainsi, nous pouvons dire que l'activité de conduite est composée d'activités plus ou moins automatisées. D'une part, elle met en jeu des actions totalement automatisées comme le contrôle latéral et longitudinal du véhicule ainsi que la manipulation des commandes. D'autre part, elle requiert des activités potentiellement consommatrices en ressources cognitives telles que l'analyse de la situation et la prise de décision.

3.1.1 La conduite automobile, une activité de contrôle de processus

Pour évoluer en toute sécurité et s'adapter dans son environnement, le conducteur devra traiter les informations constitutives de cet environnement complexe et dynamique.

3.1.3.1 Les environnements dynamiques

Les situations dynamiques sont caractérisées par le fait que l'opérateur doit contrôler un processus qui évolue au cours du temps. De ce fait, le point commun à toutes ces situations est qu'elles évoluent même en l'absence d'action de l'opérateur (Cellier, 1996). En effet, le processus, possédant sa propre dynamique, continue d'évoluer de manière indépendante à l'action de l'opérateur (Carreras, 1999). Cette évolution se traduit par un changement d'état par rapport à un état antérieur, le maintien d'un état alors constant ou bien l'apparition de nouvelles données (Decortis & Cacciabue, 1991).

Par ailleurs la complexité est souvent une caractéristique commune aux situations dites dynamiques. En effet, pour Woods (1988) le dynamisme est l'une des dimensions caractéristiques d'une situation complexe. *Quand un monde est dynamique, les incidents se dévoilent au cours du temps et sont entraînés par les événements, c.-à-d., les événements peuvent se produire à des moments indéterminés.* En outre, l'opérateur est contraint par une pression temporelle plus ou moins forte. De ce fait, l'auteur note que les opérateurs doivent être *flexibles* afin de détecter et s'adapter aux événements ce qui exige la révision de l'évaluation de la situation et de leurs plans. D'une part, le dynamisme des situations, leur évolution dans le temps, est donc un facteur de complexité. D'autre part, elles impliquent souvent une multitude d'éléments interconnectés plus ou moins accessibles. Cependant, l'opérateur ne peut pas toutes les prendre en compte. Par conséquent, parce qu'il doit choisir l'information qu'il prendra en compte, cette complexité peut être source d'incertitudes et donc de risques.

Or, comme le rappelle Malaterre (1987) la contrainte temporelle et dynamique constitue un aspect primordial de l'activité de conduite. A ce sujet, Van Elslande (1992, p3-4) précise que *l'interaction du conducteur avec la dynamique temporelle des situations a notamment pour conséquences le caractère déterminant de l'utilisation des connaissances disponibles pour lui permettre d'interpréter les informations perçues et d'anticiper les informations à venir, afin de contrôler efficacement le scénario dans lequel il est engagé.*

3.1.3.2 Activités cognitives de contrôle de processus, le diagnostic

Dans une situation dynamique le diagnostic est *une activité de compréhension d'une situation, pertinente à une décision* (Hoc & Amalberti, 1994). Hoc et Amalberti envisagent alors la compréhension sous-jacente au diagnostic en tant que *la construction ou l'évocation d'une représentation opérationnelle* (p180). Cependant, dans une situation dynamique, l'élaboration en temps réel d'un diagnostic ne peut pas porter seulement sur l'état actuel de la situation. Elaborer une représentation en situation dynamique consiste donc à construire une représentation dynamique, évolutive de cette situation. Dès lors, même si nous nous centrons sur le niveau 2 (ie : compréhension) de Conscience de la Situation défini par Endsley, il apparaît que nous ne devons pas perdre de vue le troisième niveau (ie : anticipation). Dans un environnement dynamique, la compréhension de l'état courant et l'anticipation vont de paire pour assurer un contrôle optimal.

Hoc et Amalberti (1994) distinguent trois niveaux de diagnostic. C'est-à-dire, différents niveaux de contrôle de l'activité d'élaboration d'une représentation opérationnelle.

- *Le diagnostic automatique*, sub-symbolique. Il s'appuie sur la détection de signaux (caractéristiques physiques de stimulus) qui orientent immédiatement vers l'action appropriée sans passer par la représentation symbolique. Ce niveau de diagnostic est important surtout dans deux cas. Lorsque l'opérateur est expert et lorsque le processus contrôle est rapide. Le diagnostic automatique n'est pas à

considérer comme une simple liaison “stimulus réponse”. Les signaux perçus peuvent être complexes et entraîner des procédures complexes, c’est pourquoi les auteurs ont recours au paradigme des schémas. En effet, l’appariement de schémas au réel permet une reconnaissance souvent efficace du réel, et qui plus est plus “légère” pour la mémoire de travail.

- *Le diagnostic symbolique*; les stimuli ne sont plus exploités au niveau de leurs caractéristiques physiques, mais au niveau du contenu qu’ils véhiculent par l’interprétation d’un système de signes. Lorsque l’information est identifiée, la prise de décision peut être directement orientée vers des règles connues (ie : schémas).
- *Le diagnostic conceptuel*, symbolique, il renvoie à des mécanismes interprétatifs plus profonds que la simple orientation vers une règle applicable. Ce niveau est proche de la résolution de problèmes.

Ces trois niveaux de diagnostic sont liés à l’expérience des sujets. En d’autres termes, selon le niveau d’expertise du conducteur, l’élaboration d’une représentation opérationnelle de la situation monopoliserait plus ou moins de ressources cognitives.

Nous venons de voir qu’une activité est dite complexe d’une part, lorsqu’elle nécessite la prise en compte de multiples sources d’informations, et d’autre part, lorsqu’elle s’intègre dans un environnement dynamique. Par conséquent, la conduite automobile est bien une activité complexe. Par ailleurs, dans un environnement dynamique nous avons vu que la compréhension indispensable à la prise de décision repose sur l’activité de diagnostic, voire de pronostic. Selon nous, cette activité correspond à l’élaboration de la Conscience de la Situation (compréhension de la situation et anticipation de l’avenir de la situation) en tant que représentation mentale opérationnelle de la situation. La partie suivante va nous permettre de mieux comprendre en quoi consiste l’activité cognitive du conducteur automobile.

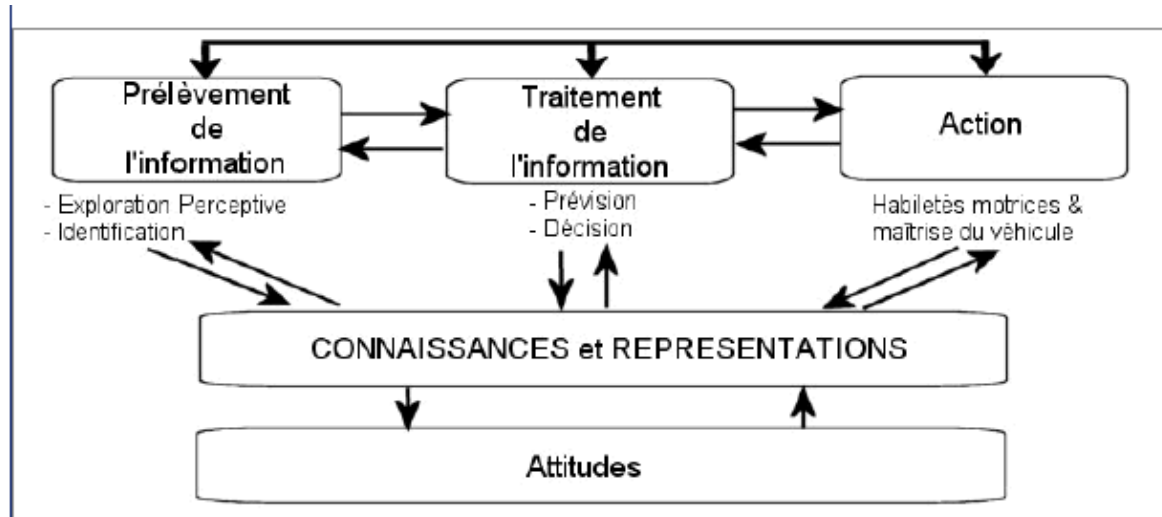
3.1.2 L’activité cognitive du conducteur automobile

3.1.2.1 Prélèvement de l’information dans l’environnement

- Physiologiquement, il nous est impossible de percevoir l’intégralité de notre environnement. De plus, toutes les informations présentes dans une situation routière ne sont pas pertinentes pour piloter un véhicule en toute sécurité. Ainsi, le conducteur n’a pas besoin de traiter toute l’information de l’environnement, une étape précède donc le traitement de l’information il s’agit du prélèvement de l’information. Cette question a particulièrement été étudiée par Neboit (1980). La prise d’information n’est pas faite au hasard, mais en fonction des objectifs du conducteur et de son expérience. En effet, *le conducteur expérimenté aurait appris non seulement à sélectionner les informations significatives par rapport à la tâche, mais aussi à adapter ses modes de consultation et de traitement aux caractéristiques et aux exigences spécifiques des différentes sources d’information* (Neboit, 1980, p222). Par ailleurs, l’information peut être obtenue via 2 modes d’acquisition. En situation de conduite automobile ces modes d’acquisition d’informations co-existent.
- L’information n’est pas recherchée de manière volontaire par le conducteur, mais elle est prégnante et donc s’impose d’elle-même au conducteur (obstacle sur la route). On parlera alors d’intégration perceptive, elle est dirigée par les données, il s’agit de processus dit bottom-up.
- L’information est recherchée de manière active par le conducteur. Cette recherche d’information est guidée par les connaissances, à long terme, du conducteur. On parle alors de processus top-down.

Selon Shinoda et al (2001) les processus bottom-up ne sont pas suffisants pour assurer l’intégration des éléments de signalisation. Les auteurs soulignent par exemple que l’intégration des panneaux « stop » nécessitent une recherche active et donc la mise en œuvre de processus top-down. Ils précisent également que cette recherche peut être facilitée par les connaissances acquises au cours de la pratique et par la stabilité des infrastructures (ie : intersection). En revanche, ils suggèrent que ce n’est peut être pas le cas pour des éléments plus saillants, tels que les autres véhicules.

Figure 12 : Les activités cognitives mises en jeu dans la conduite, (Neboit, 1978)

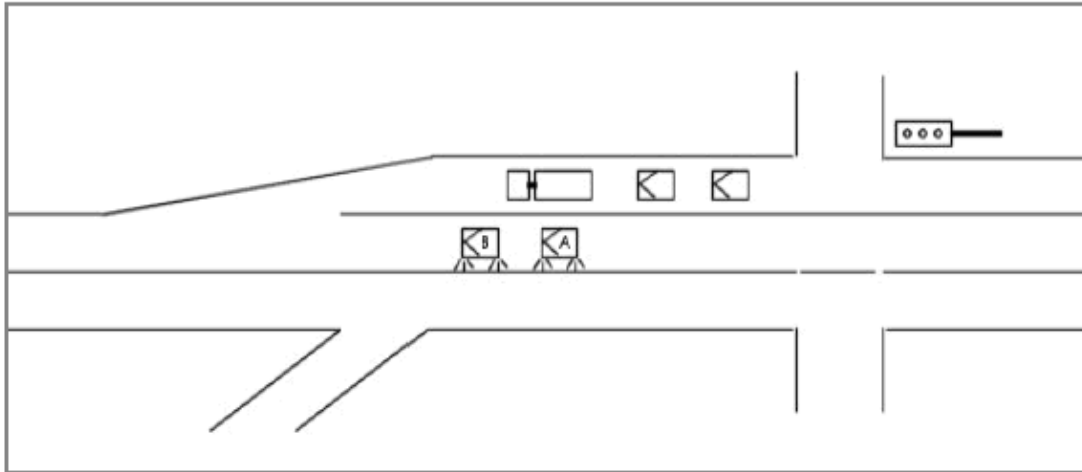


Par ailleurs, Neboit a proposé un modèle des activités perceptives et cognitives impliquées dans la conduite (figure 12). L'auteur distingue l'exploration perceptive, l'identification, la prévision et la décision. Selon ce modèle, le conducteur recueille des indices nécessaires à l'exécution de sa tâche (ie : exploration perceptive). Puis, il classe ses indices (ie : identification). L'auteur précise qu'au fil de la pratique de conduite, le conducteur étant confronté à de plus en plus de situations, il utilisera de moins en moins d'indices en se limitant aux plus pertinents pour une situation donnée. En d'autres termes, avec l'expérience les catégories d'indices, d'événements se multiplient ainsi, la classification devient de plus en plus fine. A partir des indices perçus et organisés le conducteur pourra anticiper les événements possibles de la situation (ie : prévoir).

Enfin, le processus de décision ne réfère pas aux actions entreprises par le conducteur, mais à l'ensemble des processus impliqués dans l'activité de conduite, du prélèvement de l'information jusqu'aux prévisions. En outre, Neboit insiste d'une part sur le lien entre les connaissances et les représentations, et d'autre part entre connaissances, représentations et comportements. Pour l'auteur, le conducteur doit construire une *représentation probabiliste des événements qu'il rencontre* (Neboit, 1980, p219). Ici aussi, le terme de probabiliste sous-entend que cette représentation ne concerne pas que la situation courante, mais aussi les anticipations. Cette représentation est au cœur de son modèle car elle déterminera les comportements (ie : attitudes) du conducteur. L'auteur souligne les difficultés inhérentes à l'élaboration de cette représentation : *puisque le conducteur procède par échantillonnage, l'information recueillie et utilisée ne constitue qu'un échantillon restreint de l'information disponible dans l'environnement* (Neboit, 1980, p219). Par ailleurs, rappelons que le conducteur est également soumis à une forte pression temporelle. De ce fait, Neboit précise le dilemme du prélèvement de l'information : *recueillir le maximum d'indices pour minimiser le risque d'erreur, ou recueillir le minimum utile pour que le délai de réponse soit court, il -le conducteur- doit ainsi composer entre une exigence de sécurité et une exigence de rapidité* (Neboit, 1980, p220).

C'est sur la base de cette représentation mentale, opérative, fonctionnelle et lacunaire que le conducteur prendra ses décisions. Ainsi, une représentation mentale erronée peut conduire à des prises de décisions erronées et donc à l'accident. Ainsi, *l'erreur sera interprétable comme un écart entre la représentation développée et la réalité qu'elle est censée représenter* (P. Van Elslande, 2002, p14). A titre d'exemple nous nous rapportons à la figure 13, proposée et commentée par Van Elslande (1992).

Figure 13 : Plan de la situation d'accident, (d'après Van Elslande 1992)



Après un démarrage au feu, le conducteur A se rapproche de la voiture B située sur la voie de gauche et dont le clignotant gauche est activé. Alors que les 2 véhicules dépassent une file plus lente située à droite, le conducteur B, arrivé à hauteur d'une route sécante, se met à freiner. Surpris le conducteur A le percute à l'arrière. A l'issue de l'accident, le conducteur A déclarera « il avait le cligno comme moi pour doubler la file de voitures... jamais j'aurai pensé que le gars allait tourner ici ».

Comme le démontre cet exemple, Pour Van Elslande (1992), les erreurs de compréhension de la situation peut provenir d'une *mauvaise catégorisation de la situation-problème et d'une instanciation connexe de schémas de traitements co-activés par les situations catégorisées* (1992, p131). Pour cet exemple l'auteur précise que plusieurs éléments contribuent à favoriser l'erreur d'interprétation. Certains sont liés au conducteur. Bien qu'il ait une forte fréquentation de ce lieu, le conducteur A n'a jamais rencontré de véhicule en bifurcation à cet endroit. Si non il aurait pu le considérer comme un carrefour et pas uniquement comme une voie de dépassement. L'auteur souligne que d'autres éléments sont liés aux indices situationnels : la polysémie du clignotement qui permet deux types d'interprétation (ie : dépassement ou tourne à gauche) et la faible saillance de l'intersection. Enfin, par inférence le conducteur A qui voit le conducteur B agir comme lui (ie : accélération depuis le feu précédemment et émission du clignotant) peut inférer qu'ils poursuivent le même objectif : dépasser les véhicules plus lents. Ainsi, pour Van Elslande (1992) la catégorisation de la situation par le conducteur A, l'a mené à activer un schéma qui n'a pas pu être remis en cause compte tenue de la faible saillance des informations environnementales (ie : l'intersection à gauche). Le conducteur n'avait donc aucune raison suffisante pour remettre son interprétation de la situation en cause. L'erreur est alors considérée comme une distorsion entre la représentation mentale et le réel (Pierre Van Elslande, 1997). Cet exemple illustre pourquoi l'analyse des représentations mentales des conducteurs est importante en terme de sécurité routière.

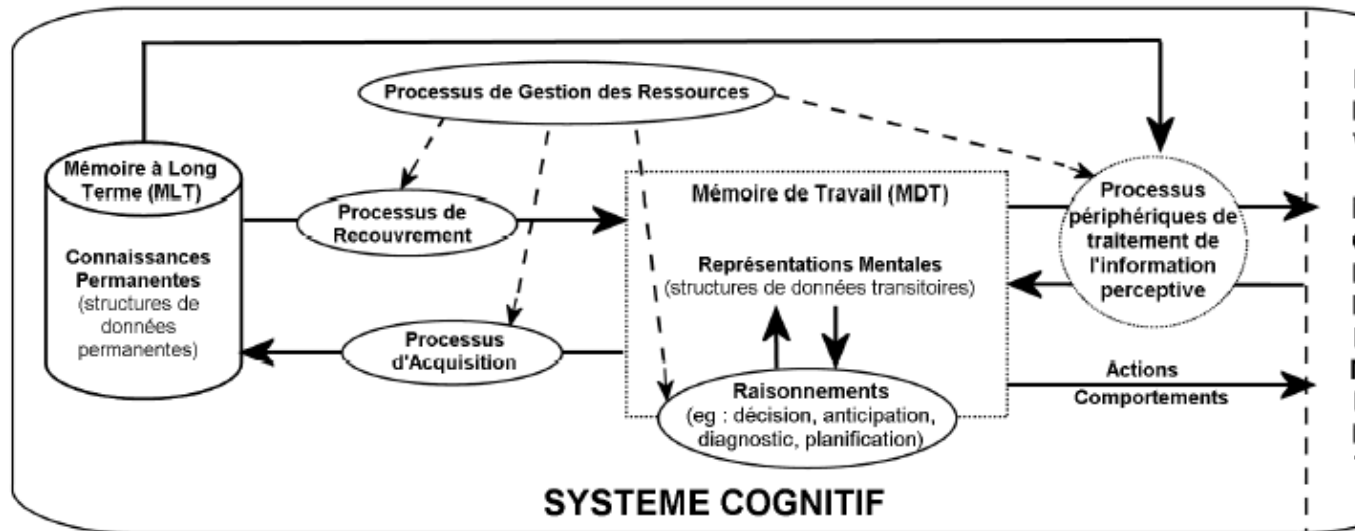
Par ailleurs, depuis les années 70-80 les chercheurs en sciences cognitives ont souvent cherché à modéliser l'activité des conducteurs automobiles. Comme le rappelle Bellet (1998) différents types de modèles ont été élaborés : modèle de l'homéostasie du risque, modèle du risque zéro, modèle de l'évitement de menace, modèle hiérarchique du risque. Nous avons choisi de présenter un modèle de simulation cognitive : COSMODRIVE (Bellet, 1998). D'une part, parce que nous verrons qu'il met très bien en évidence l'importance des représentations mentales dans l'activité de conduite. Et d'autre part, parce que nos travaux s'inscrivent dans la lignée des études réalisées au LESCOT pour l'élaboration de ce modèle.

3.1.2.2 Place de la représentation mentale dans l'activité du conducteur automobile : COSMODRIVE

L'architecture cognitive sous-jacente au modèle du conducteur de Bellet (1998) est représentée par la figure 14. Elle est composée de deux types de structures mnésiques. Tout d'abord, la mémoire à long terme qui contient l'ensemble des connaissances et souvenirs acquis par le sujet au cours de sa vie. Comme nous l'avons

vu précédemment, ces données stockées en MLT sont des connaissances permanentes (ie : schémas). Ensuite, une mémoire de travail, ou mémoire opérationnelle, où sont construites des structures de données transitoires : les représentations mentales. En outre, le fonctionnement du système cognitif résulte de processus cognitifs (ie : raisonnements, anticipation, prise de décision, planification d'actions et contrôle de l'activité).

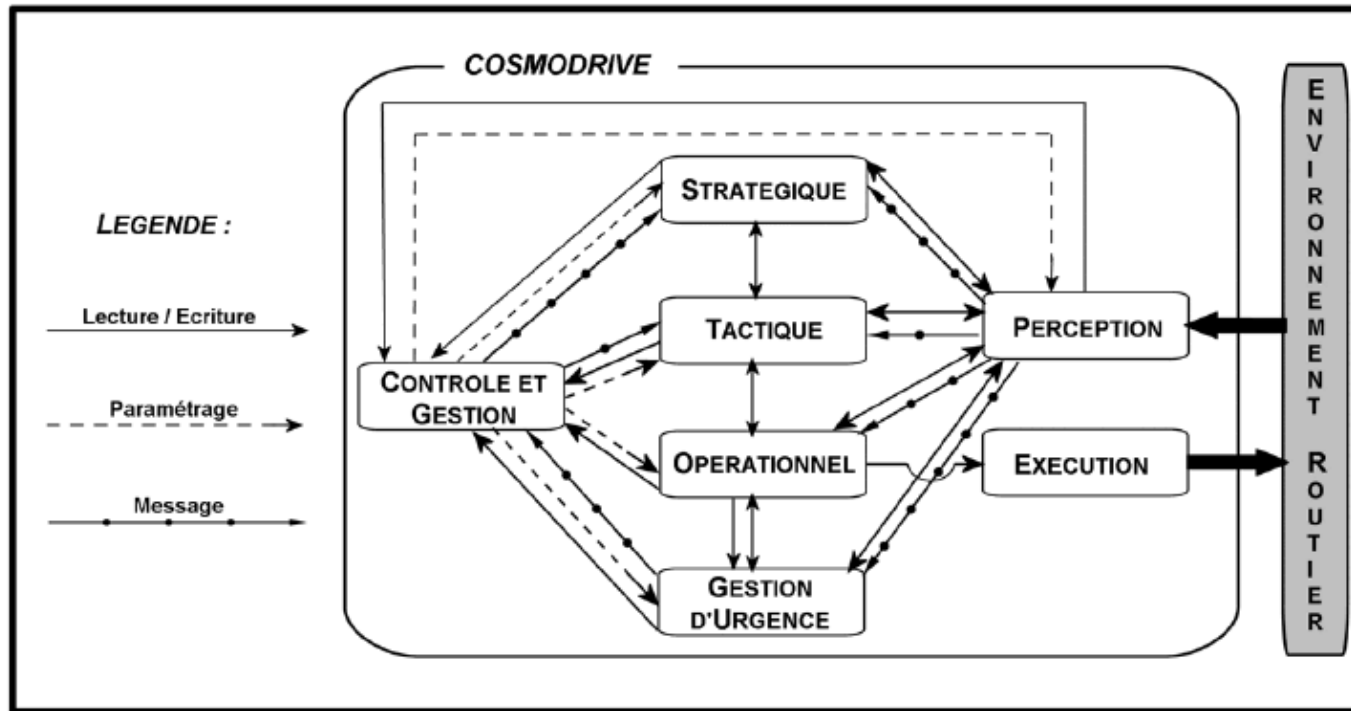
Figure 14 : Architecture cognitive élémentaire du système cognitif humain conçu comme un système de traitement de l'information (Bellet 1998)



Bellet (1998, p85) souligne que *la nature et la complexité de ces traitements sont fonction, d'une part, du type d'activité considérée et, d'autre part, des contraintes inhérentes à la tâche (eg : pression temporelle, risques encourus)*. Par ailleurs, avant que l'information perceptive de l'environnement soit intégrée en MDT son traitement relève de processus périphériques. En dernier lieu, la figure 13 permet de souligner l'importance des processus de gestion des ressources du système cognitif.

COSMODRIVE est composé de 7 modules (figure 15). Le *module perception* joue le rôle d'interface entre l'environnement routier et le modèle (Bellet, 1998, p169). Néanmoins, son rôle ne se limite pas à l'intégration des informations perceptives recueillies dans l'environnement. Il intervient également dans les recherches d'informations initiées par les différents processus cognitifs en cours. Le *module stratégique*, est chargé des processus de planification d'itinéraire et de navigation. Le *module tactique* a en charge la gestion de la situation courante. Et, le *module opérationnel* intervient dans la planification des actions de conduite définies par le module tactique. Cependant, lors de la mise en œuvre de procédures automatisées, le module opérationnel est plus autonome et directement en lien avec le module perception. Ensuite, le *module exécution* permet la réalisation des actions de conduite déterminées précédemment par les modules tactique et opérationnel. Par ailleurs, lorsque la situation de conduite est jugée critique (eg : détection d'un incident) le *module gestion d'urgence* intervient. Dans ce cas, les modules tactiques et stratégiques sont court-circuités et le module gestion d'urgence assure à leur place le contrôle de l'activité de conduite. Le dernier module de COSMODRIVE gère la répartition des ressources cognitives du modèle, il s'agit du *module gestion et contrôle*. Conçu afin de simuler l'activité cognitive d'un conducteur, COSMODRIVE est à son image limité par la quantité de ses ressources. Les processus cognitifs envoient des demandes d'allocation de ressources, que le module gestion et contrôle gère en fonction de l'ensemble des demandes. Par ailleurs, il revient également à ce module de gérer le passage entre les différents modes de fonctionnement du modèle. C'est lui qui lors de la détection d'un incident bloquera les modules tactiques et stratégiques en ne leur allouant plus de ressources cognitives, et inversement lorsque la situation aura été rattrapée.

Figure 15 : Architecture générale de COSMODRIVE (d'après Bellet 1998, 2003)



Dans COSMODRIVE, le module auquel nous portons le plus d'attention est le module tactique. En effet, il est considéré par l'auteur comme un générateur de représentations internes de l'environnement routier ; c'est ici que sera élaboré la Représentation Tactique Courante (RTC). *Ce module est en charge de simuler les processus d'interprétation de la situation de conduite et de prise de décision en vue d'évoluer dans l'environnement routier. Cela requiert l'élaboration de représentations circonstanciées (ie : modèles mentaux) capables de décrire le contexte situationnel actuel ou futur. Toute l'activité du module tactique est orientée vers l'élaboration et la manipulation de ces représentations internes* (Bellet & Tattegrain-Veste, 2003, p86). La Représentation Tactique Courante correspond à ce que nous avons décrit plus haut comme représentation mentale (ie : représentation opérationnelle, image opérative). Appliquée à la conduite, elle est une représentation mentale de la situation routière. Elle constitue un reflet du réel pour le conducteur. Comme nous l'avons dit plus haut, ce reflet n'est pas une copie conforme du réel. Il est plus ou moins déformé, plus ou moins lacunaire, mais toujours finalisé en fonction des objectifs du conducteur. Le module tactique produit également une sorte de représentation mentale : les représentations anticipées (RA). Pour une RTC il existe plusieurs Représentations Anticipées. Elles correspondent aux devenirs possibles de la situation courante, c'est-à-dire, des déclinaisons potentielles de la RTC. L'élaboration de ces différents produits cognitifs repose sur l'implication de différents agents cognitifs. Dans COSMODRIVE, les agents traitent en parallèle l'information et échangent des données par l'intermédiaire de structures transitoires de stockage communes, les tableaux noirs (annexe). En fait, ces agents cognitifs cherchent à simuler les processus cognitifs du conducteur.

Cette brève présentation de cOSMODRIVE permet de constater que le noyau central de l'activité cognitive du conducteur est l'élaboration de la représentation de la situation courante, modèle interne de la situation. Quel est le lien entre cette représentation mentale et la conscience de la situation telle que nous l'avons vu plus haut ?

Premièrement, nous pensons que les représentations mentales telles que nous les avons abordées à travers différents auteurs correspondent aux produits élaborés par le module tactique : la représentation tactique courante et ses représentations anticipées. C'est-à-dire des modèles mentaux du monde, plus ou moins

déformés, mais permettant à l'opérateur d'agir dans l'environnement de manière efficace. Deuxièmement, nous avons vu que la théorie de Conscience de la Situation permet de considérer aisément la construction d'un tel produit cognitif en prenant en compte les limites du système cognitif, ainsi que ses effets positifs tels que les bienfaits de l'expérience d'un opérateur. Par conséquent, nous pensons que la conscience de la situation d'un conducteur automobile doit répondre aux mêmes exigences tout en tenant compte des particularités de l'activité de conduite que nous avons pointées plus haut. En d'autres termes, tout conducteur automobile élaborera une représentation mentale de sa situation courante de conduite, qui correspondra à sa Conscience de la Situation. En revanche, en fonction des exigences de la situation (ie : niveau de pression temporelle, niveau de complexité de la situation, et des capacités du conducteurs : expérience, âge, ressources cognitives disponibles), cette représentation mentale sera plus ou moins adéquate à la situation. Par conséquent, les actions engagées par le conducteur seront plus ou moins pertinentes en regard des caractéristiques de la situation. En outre, les anticipations qu'il fera seront plus ou moins appropriées. Bref, sa conscience de la situation sera plus ou moins bonne.

Arrivant au même constat que nous, plusieurs auteurs ont appliqué le concept de Conscience de la Situation à l'étude des conducteurs automobiles (Gugerty, 1997; Matthews, Bryant, Webb, & Harbluk, 2001; McGowan & Bandury, 2004; Sommer, Rothermel, & Verwey, 2002). Cependant tous ont juste juxtaposé théoriquement le modèle de Endsley à ce qui est connu de l'activité du conducteur. Peu d'études ont, à ce jour, cherché à analyser la conscience de la situation d'un conducteur en tant que le modèle mental qu'il a élaboré de la situation de conduite (Bolstad, 2001, unpublished; Bolstad & Hess, 1995; Bolstad & Hess, 2000; Parkes & Hooijmeijer, 2000; Sommer et al., 2002). Au cours de 3 sous-parties suivantes, nous allons présenter des champs de recherche sur les conducteurs automobiles. Premièrement, nous aborderons le problème du manque de ressources cognitives du conducteur, deuxièmement, la question de l'expérience de conduite, et troisièmement, les effets du vieillissement cognitif sur la conduite automobile. Chacune de ces parties sera bâtie en trois temps. Dans un premier temps nous aborderons la question d'un point de vue général de l'activité cognitive. Dans un second temps, nous présenterons les résultats des recherches, les méthodologies et les principales conclusions, appliquées à la conduite. Enfin, dans un troisième temps, nous envisagerons la question du point de vue la Conscience de la Situation du conducteur, en nous appuyant dès que possible sur des recherches applicatives.

3.2 Les Ressources Cognitives des Conducteurs

En 1995 la variable *distraction du conducteur / inattention à la conduite* a été intégrée à la base de donnée, NASS-CDS du Centre National pour de Statistiques et Analyse de l'Administration Nationale Américaine de Sécurité Routière (NHTSA <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/departments/nrd-30/ncsa/NASS.html>). Chaque année, cette base détaille des données sur un échantillon représentatif et aléatoire de milliers d'accidents mineurs, sérieux, et mortels. En 2001, une étude a été menée à partir des données de la base NASS-CDS pour les années 1995 à 1999 (Stutts, Reinfurt, Staplin, & Rogdman, 2001). Cette étude a permis d'identifier que 8% des conducteurs impliqués dans ces accidents étaient « distraits ». D'autres études ont montré que la distraction du conducteur a été un facteur contributif dans plus de 20% des collisions (Treat et al., 1979; Wang, Knipling, & Goodman, 1996). Selon Streff & Spradlin (2000) en situation de conduite la distraction peut être définie comme le déplacement de l'attention loin des stimuli critiques pour la conduite vers des stimuli qui ne sont pas liés à la conduite. Ainsi, toute activité qui éloigne l'attention du conducteur loin de la tâche de la conduite peut être caractérisée de distractive (Ranney, Mazzae, Garrott, & Goodman, 2000). En d'autres termes, une tâche est distractive lorsqu'elle est s'ajoute à l'activité principale de conduite et qu'elle lui subtilise des ressources cognitives. La distraction du conducteur est de ce fait très souvent étudiée via les protocoles de double tâche. En effet, ces dernières années, le développement des nouvelles technologies et leur intégration dans les habitacles automobiles ont modifié l'activité des conducteurs. Par conséquent, de nombreuses sources de distractions peuvent potentiellement atteindre le conducteur. Les conducteurs ont de plus en plus l'occasion de mener parallèlement à leur activité de conduite d'autres tâches plus ou moins liées à la conduite. Il peut effectivement soit, s'agir de technologies d'assistance au conducteur (ex : aide à la navigation) soit, de technologie de communication n'ayant, la plupart du temps, aucun lien direct avec la

conduite (ex : téléphone). Dans les deux cas, les recherches parlent de distractions internes, car la source distractive se situe à l'intérieur de l'habitacle. Il s'agit alors d'activités que le conducteur mène conjointement à son activité de conduite. De ce fait, il « partage » son attention, ses ressources cognitives entre ces activités. Par opposition, les distractions externes concernent les éléments de l'environnement sur lequel le conducteur peut porter son attention alors qu'ils ne sont pas pertinents pour la conduite (eg : affiche de publicité). Dans ce cas, le conducteur ne partage pas son attention entre deux activités : son attention est « capturée » par des éléments distractifs. La question qui nous préoccupera est celle de l'effet d'une utilisation des ressources cognitives par une tâche parallèle (interne ou externe) sur les représentations mentales des conducteurs.

L'utilisation du téléphone mobile au volant est sans doute la tâche secondaire qui a été la plus étudiée. C'est pourquoi nous en présenterons les principales conclusions. Cependant avant cela nous devons revenir sur des points fondamentaux du système cognitif afin de comprendre pourquoi une activité secondaire peut venir perturber la conduite.

3.2.1 Qu'est-ce que l'attention ?

Tout le monde sait ce qu'est l'attention. C'est quand l'esprit prend possession, sous une forme claire et active, d'un objet ou d'une pensée parmi d'autres qui se manifestent au même moment. Focalisation et concentration de la conscience lui sont indispensables (James, 1890 cité (S. K. Reed, 1999, p68)). La définition de James souligne le caractère d'une part, sélectif (ie : *d'un objet ou d'une pensée parmi d'autres*) et d'autre part, volontaire (ie : *focalisation et concentration de la conscience lui sont indispensables*) de l'attention. En effet, l'une des fonctions de l'attention est de nous aider à nous focaliser sur un stimulus particulier de l'environnement.

3.2.1.1 La sélection de l'information pertinente : l'attention sélective

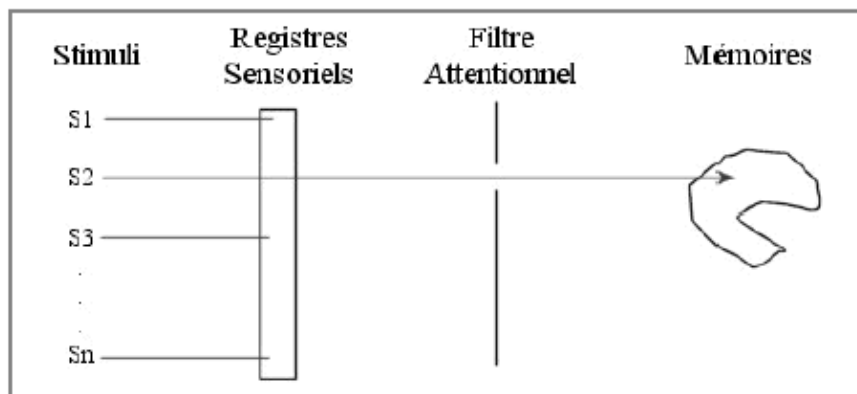
L'attention sélective est l'habileté à orienter son activité mentale vers les informations pertinentes tout en éliminant les données non pertinentes. Chapon et al (2004) distinguent deux types de processus permettant de mobiliser l'attention : les processus top-down et les processus bottom-up. Les premiers déterminent l'attention active. Dirigés par les facteurs liés au sujet (ie : connaissances permanentes, expérience, motivation) et la tâche qu'il doit réaliser, les processus top-down permettent une recherche active et volontaire dans l'environnement des informations nécessaires à la réalisation de la tâche courante. En revanche, les processus bottom-up qui déterminent l'attention passive sont dirigés par les données de l'environnement. Ce sont les stimuli contenus dans l'environnement qui s'imposent au sujet. Les éléments pertinents seront les informations utiles à l'accomplissement de la tâche, par contre les autres seront considérés comme des distracteurs. Pour Kahneman et Treisman (1984) les processus mis en œuvre dans la distraction sont passifs et automatiques. Par contre, pour Näätänen (1992) il peut y avoir commutation de l'attention passive en attention active ce qui entraîne un changement de statut du distracteur en cible, au détriment de la tâche à exécuter initialement. Selon le même auteur, l'attention passive n'est donc présente que liée à un signal qui "surgit" dans l'environnement. A contrario, l'attention active est mobilisée hors de la présence d'un signal que le sujet doit détecter. De ce fait, Chapon et al (2004) souligne que seule l'attention active est anticipatrice. Nous avons vu plus haut que dans la situation de conduite les processus top-down et bottom-up co-existent. Cependant, à quel niveau se situe cette sélection (ie : distracteur vs pertinent) dans le système cognitif ?

3.2.1.2 À quel niveau situer le filtre de l'attention sélective ?

Les premiers travaux réalisés sur la dimension sélective de l'attention ont été conduits par Broadbent (1958). Comme nous le voyons sur la figure 16, pour Broadbent, l'attention est un filtre qui agit très précocement dans le système cognitif. Dans le même esprit, Treisman (1960) propose un modèle de l'attention. La différence entre ces deux modèles est que pour Broadbent les informations non pertinentes ne passent pas le filtre, alors que pour Treisman toutes les informations passent le filtre mais les non pertinentes sont atténuées.

Pour ces deux auteurs, la sélection attentionnelle intervient au niveau sensoriel. Enfin, il existe un modèle de sélection dite tardive (Deutsch & Deutsch, 1963). Deutsch et Deutsch postulent qu'il n'y aura pas du tout de sélection des informations à l'entrée du système cognitif. Ce ne serait qu'au moment de l'entrée en mémoire à court terme, après l'étape dite de reconnaissance de forme, que l'information serait triée et traitée plus ou moins en profondeur. Ces trois conceptions d'une part, soulignent que le système cognitif ne peut pas prendre en compte toutes les informations de l'environnement, d'autre part, posent l'hypothèse du canal unique de traitement. Par conséquent, tôt ou tard, au cours du traitement des informations une sélection des données les plus pertinentes doit être réalisée. Selon nous, cette sélection ne peut pas être réalisée avant une comparaison entre la nature des attributs du stimulus présent et celle des objets recherchés dans l'environnement, pertinents pour la tâche à réaliser. Le temps nécessaire à l'analyse des attributs varie donc selon chacun d'entre eux. Ainsi, si un objet rouge est recherché, tout objet non-rouge sera très vite rejeté. A l'inverse, les caractéristiques spatiales du stimulus peuvent exiger davantage de temps tout particulièrement si cela implique la mise en œuvre de rotation mentale. Nous pensons que la sélection intervient après l'analyse des attributs du stimulus permettant une discrimination entre le stimulus présent et celui qui est attendu : le stimulus prend alors une valeur sémantique au regard des exigences de la tâche à réaliser. De ce fait, le filtre sera plus ou moins précoce selon que l'attribut déterminant pour donner une valeur sémantique au stimulus sera, de part sa nature, traité plus ou moins rapidement. C'est à ce niveau qu'interviendrait le processus dit d'inhibition (ie : rejet d'un stimulus non pertinent) et de réhaussement (ie : prise en compte prioritaire d'un stimulus pertinent) avant la mise en œuvre d'une catégorisation plus élevée du stimulus.

Figure 16 : Modèle de Broadbent

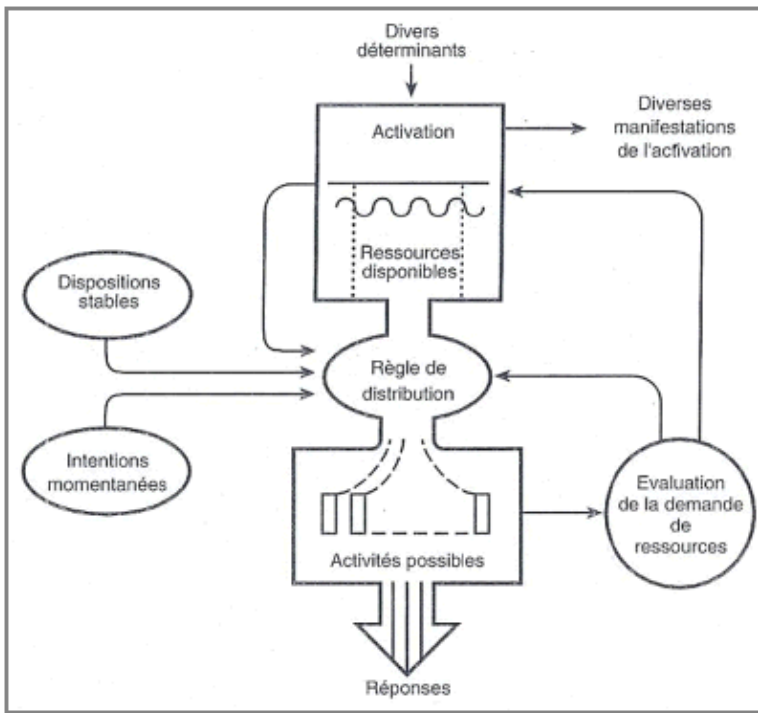


Plutôt que de considérer que les limites attentionnelles sont structurelles (ie : canal unique), Kahneman (1973) introduit la notion des ressources attentionnelles. Il est alors envisagé que l'attention soit *une ressource contenue dans une sorte de réservoir générale de capacité limitée* (Fortin & Rousseau, 1993, p77). Ainsi, les recherches ne visent plus à situer un filtre dans le canal unique de traitement, mais elles cherchent à étudier ce qui rend possible ou non l'exécution de deux tâches en même temps.

3.2.1.3 Répartir l'attention entre des tâches : l'attention partagée

Selon Näätänen (1992) l'attention partagée survient lorsque le sujet doit contrôler simultanément au moins deux sources d'information. Dans ces circonstances, il est possible d'observer une décroissance du niveau de performance à une des tâches, du fait de la réalisation de l'autre. Cette baisse a habituellement été expliquée en termes de limitations de capacités (Kahneman, 1973) ou d'incompatibilité des modes de réponses exigés par les tâches (Wickens, 1984b).

Figure 17 : Modèle de distribution des ressources attentionnelles, d'après Reed 199



Le modèle de Kahenam (1973) est un modèle de distribution des ressources, toujours limitées, entre les différentes activités mentales sollicitant le système cognitif. (figure 17) C'est pourquoi l'auteur introduit un mécanisme de gestion des ressources attentionnelles. Le modèle de Kahenam soutient qu'il existe une limite à la capacité générale d'un sujet à effectuer des activités mentales. De plus, le modèle suggère que le sujet a un contrôle sur la manière de gérer ses ressources attentionnelles (ie : modèle de distribution des ressources attentionnelles figure 17). Cette fonction de distribution est assurée par « *allocation policy* » (ie : règle de distribution). La quantité de ressources disponible est déterminée par le niveau d'activation. En fonction de l'activité, des intentions du sujet, de la quantité prévisible de ressources nécessaire, et des ressources disponibles une quantité de ressources est allouée à la tâche. Le gestionnaire de ressources détermine des niveaux de priorité aux différents processus. C'est-à-dire que lorsque je décide que ma priorité est d'écouter la radio, les ressources que j'allouais pour remplir ma grille de mots croisés sont redistribuées pour l'écoute du programme radiophonique qui n'était auparavant qu'un bruit de fond.

Le modèle de Wickens (1984) est dit « des ressources attentionnelles multiples » dans lequel les réservoirs de ressources sont définis par 4 facteurs imbriqués : les modalités d'entrées et les modalités de sorties, les niveaux de traitements et enfin, les codes utilisés. L'imbrication de ces facteurs structure des réservoirs indépendants de ressources attentionnelles. Ainsi, dès lors que les ressources impliquées dans le traitement de chacune des tâches n'appartiennent pas au même réservoir, les tâches pourront être réalisées simultanément sans baisse des performances. Le cas échéant les performances pourront se dégrader, l'auteur précise également que l'augmentation de la difficulté d'une des tâches peut également conduire à une dégradation des performances.

Ainsi, que l'on considère un canal unique de traitement ou un partage des ressources attentionnelles, il est indéniable que les capacités cognitives du système sont limitées. Deux tâches complexes ou coûteuses en attention ne pourront être réalisées en même temps sans que la performance de l'une d'elle n'en soit détériorée. D'une part, le modèle du canal unique prétend qu'il y aura interférence entre les deux tâches car un seul mécanisme est sollicité en même temps pour réaliser deux tâches. D'autre part, le modèle des ressources attentionnelles étant limité, il y aura interférence entre les deux tâches lorsque la demande des deux activités dépassera la capacité du réservoir de ressources. Pour Chapon (2004) la distinction que l'on peut faire entre ces deux modèles est qu'ils n'utilisent pas la même échelle temporelle. *Par exemple lors d'une tâche de longue durée, l'exigence de cette dernière varie et lorsqu'il ne se passe rien un peu de temps peut être*

accordé à la réalisation d'une tâche ponctuelle. Le modèle du partage des ressources implique donc un partage de temps. Cependant, à un instant donné (et c'est à ce niveau qu'il faut situer le modèle structurel du filtre de l'attention) on ne peut gérer simultanément deux tâches exigeant de l'attention et selon l'importance respective donnée à chacune des tâches l'une sera traitée en priorité, l'autre sera différée. De ce point de vue, les deux types de modèles n'abordent pas la question de l'attention sous le même angle. L'analyse proposée par Chapon (2004) permet de considérer la question de l'attention par le temps de traitement nécessaire pour un stimulus donné. Sous cet angle, nous sommes d'accord avec lui pour dire qu'il n'est pas possible de mener à bien, simultanément deux tâches contrôlées (eg : deux opérations mentales complexes nécessitant de l'attention active). Par ailleurs, l'auteur précise aussi que la principale attaque que l'on pourrait faire à l'encontre des modèles de partage des ressources réside dans leur manque de clarté vis-à-vis des processus automatiques d'une part et des activités automatisées d'autre part, qui conditionnent l'absence de demande d'attention.

3.2.1.2 Les processus ne nécessitent pas tous de l'attention

Posner et Snyder (1975) ont été les premiers à définir les notions de processus contrôlés (ie : attentionnels) et de processus automatiques. Pour ces auteurs, l'automatisme est déterminé par trois critères :

- absence d'intention,
- absence d'attention consciente,
- absence d'interférence avec d'autres activités en cours.

Un processus automatique s'exécute rapidement, sans effort mental conscient. En effet, Schneider et al (1984) caractérisent un processus automatique par le fait qu'il est rapide, rigide, difficile à supprimer une fois qu'il a été appris et non limité par les capacités de la mémoire de travail ou de l'attention. Par ailleurs, Schneider et Shiffrin (1977) ont montré qu'un processus peut s'automatiser suite à un entraînement intensif. Näätänen (1992) parle alors de processus automatisés afin de distinguer les processus automatiques par nature et les processus automatisés par acquisition. Cet auteur distingue trois types de processus entièrement automatiques :

- l'entrée en mémoire sensorielle,
- le traitement des attributs du stimulus, hors sa localisation spatiale
- et ce qui précède la commutation de l'attention passive en attention active.

Par opposition aux processus automatiques et processus automatisés, Schneider et al (1984) précisent qu'un processus contrôlé est lent, séquentiel, limité en capacité, met en jeu la mémoire de travail mais est flexible. Un processus contrôlé nécessite donc du temps et de l'attention active.

De ce fait, alors qu'un processus automatisé n'est pas restreint par les limites attentionnelles, un processus contrôlé l'est. Aussi, en fonction du niveau d'apprentissage un stimulus peut être traité de manière automatisé ou contrôlé, c'est-à-dire nécessiter ou non de l'attention (cf partie 3.3).

C'est pourquoi, de notre point de vue, réaliser deux tâches en même temps n'est pas concevable si l'une des deux tâches n'est pas automatisée. Dans ce cas, l'activité automatisée ne demandera pas d'attention active et pourra être menée parallèlement à l'activité contrôlée. Le cas échéant, lorsque deux tâches contrôlées sont théoriquement à mener conjointement, les traitements seront forcément sériels : l'une des deux tâches devra être mise « en attente » pendant que l'autre sera traitée (Chapon, 2004). Comme nous l'avons vu la tâche de conduite implique des processus cognitifs plus ou moins coûteux en ressources attentionnelles, car plus ou moins automatisés en fonction de l'expérience des sujets. Par conséquent, nous pouvons nous demander, quel sera l'impact d'une diminution des ressources attentionnelles disponibles sur le comportement du conducteur. De plus, comme nous l'avons souligné à plusieurs reprises, le coût des processus cognitifs inhérents à l'exécution d'une tâche varie en fonction de l'expérience que le sujet a de cette tâche. C'est pourquoi, nous

pouvons penser que l'impact d'une double tâche ne sera pas le même pour des conducteurs expérimentés que pour des conducteurs novices. Les premiers ayant automatisé certains traitements devraient garder une meilleure représentation mentale, sous réserve que l'élaboration de cette représentation requiert des ressources. Le paradigme expérimental utilisé pour étudier la question du manque de ressources cognitives est le paradigme de la double tâche.

3.2.2 Manque de ressources et conduite, exemple de l'utilisation du téléphone au volant

Des études sur route, sur piste ou sur simulateur de conduite ont cherché à mettre en évidence les effets de l'utilisation du téléphone mobile sur la conduite et plus généralement l'effet d'une activité secondaire cognitive (calcul mental, conversation téléphonique, tâche de mémorisation). Ces travaux mettent en évidence des modifications sur le comportement des conducteurs induites par le manque de ressources cognitives utilisées pour mener la tâche secondaire.

Les premiers travaux cherchant à connaître l'effet d'une activité parallèle à la conduite ont été réalisés par Brown et al (1969). Cette étude a prouvé que la capacité des conducteurs à juger si leur véhicule pouvait négocier différentes distances intervéhiculaires a été perturbée quand ils accomplissaient une tâche de raisonnement verbal par talkie-walkie. Depuis, des études portent spécifiquement sur l'étude du téléphone au volant. Ces études ne mettent pas toujours en scène une conversation téléphonique. Cependant, elles utilisent toujours le paradigme de la double tâche et de ce fait, sont pertinentes en ce qui concerne l'étude d'un manque de ressources attentionnelles pendant la conduite. En fonction des protocoles expérimentaux et des données recueillies, ces études ont mis en évidence différents résultats. Ces différentes études sont réalisées soit sur route, soit sur piste, soit sur des simulateurs de conduite. D'une manière générale, la double tâche provoque :

- Une augmentation des temps de réaction des conducteurs (Alm & Nilsson, 1995; Brookhuis, De Vries, & De Waard, 1991; Hancock, Lesch, & Simmons, 2003; Lambale, Kauranen, Laakso, & Summala, 1999; Pachiaudi, Morgillo, Deleurence, & Guilhon, 1996)
- Une déviation latérale de la trajectoire (M. P. Reed & Green, 1999)
- Une prise de risque plus importante (Cooper & Zheng, 2002)
- Une modification de la fréquence des regards et une diminution du champ d'exploration visuelle (Harbluk & Noy, 2002; Recarte & Nunes, 2000)
- Une diminution de la conscience de la situation (Matthews et al., 2001; Pachiaudi et al., 1996; Parkes & Hooijmeijer, 2000)

Par ailleurs, ces études montrent que les effets du manque de ressources cognitives sont proportionnels à la complexité de la situation de conduite et à la complexité de la double tâche (McKnight & McKnight, 1993; Rakauskas, Gugerty, & Ward, 2004). En outre, les altérations provoquées par la double tâche sont plus importantes pour les conducteurs âgés (Alm & Nilsson, 1995; Hancock et al., 2003; M. P. Reed & Green, 1999; Woo & Lin, 2001). En revanche, il a été montré que les conducteurs expérimentés arrivent mieux à partager leur attention, entre l'activité principale de conduite et une activité secondaire, que les jeunes conducteurs (Wiknam, Nieminen, & Summala, 1998). Par conséquent, il n'y a aucun doute sur le fait que l'ajout d'une tâche secondaire à la conduite augmente la charge de travail des conducteurs. De nombreux résultats expérimentaux tendent à montrer que les conducteurs sont conscients de ce fait (Alm & Nilsson, 1995; Fairclough, Ashby, Ross, & Parkes, 1991; Pachiaudi et al., 1996; Parkes & Hooijmeijer, 2000). Ces effets constatés, des auteurs se sont attachés à savoir si les conducteurs avaient conscience de leurs conséquences sur leur performance de conduite (Lesch & Hancock, 2004).

L'étude de Lesch et Hancock (2004) a été réalisée sur une piste fermée, équipée d'une intersection à feux tricolores. Les sujets (n=36) avaient pour consigne de maintenir leur vitesse et de considérer le passage au feu rouge comme une situation d'arrêt d'urgence. Avant le départ, les sujets doivent mémoriser un numéro de

téléphone (ie : 7 chiffres) qu'ils devront rappeler après chaque test (ie : tour de piste). Dans certains tests les sujets n'avaient qu'à conduire et appliquer la consigne de s'arrêter au feu rouge. Dans d'autres, lorsqu'ils approchaient de l'intersection, la sonnerie d'un faux téléphone portable, fixé sur le tableau de bord, retentissait. Simultanément, un numéro de téléphone s'affichait sur l'écran du téléphone. Les sujets avaient pour consigne de dire si ce numéro était le même que celui qu'il leur avait demandé d'apprendre. Ils donnaient leurs réponses en appuyant sur des touches du téléphone, l'une pour « identique », l'autre pour « différent ». Les données recueillies concernent le temps de réaction au changement de couleur du feu, la distance et le temps de freinage nécessaire à l'arrêt total du véhicule, ainsi que la conformité de l'arrêt au passage du feu au rouge. Par ailleurs, les sujets devaient en fin d'expérimentation estimer leur performance ainsi que la difficulté de chaque tâche (conduire vs freiner). Ainsi, les auteurs ont pu comparer les performances de conduite des sujets aux estimations subjectives de ces derniers. Les résultats suggèrent que plusieurs sujets ne sont pas conscients de la diminution de leur performance de conduite. Il apparaît en effet que les sujets modifient guère les estimations de leur performance ou des difficultés de la tâche en fonction de la double tâche (ie : appel téléphonique), même si leur performance baisse. C'est pourquoi, les auteurs soulignent l'importance de mettre en place des campagnes de sensibilisation des conducteurs. Si les conducteurs avaient conscience de cette baisse de capacité, les auteurs pensent qu'ils pourraient juger en situation réelle du déclin de leur capacité à conduire tout en menant une seconde activité.

Nous venons de voir que les études portant sur le manque de ressources cognitives des conducteurs analysent plusieurs traits de l'activité du conducteur : les temps de réaction, le regard, la prise de risque. Cependant, à notre connaissance une seule étude a directement porté sur l'impact d'une tâche secondaire sur la qualité de la représentation mentale élaborée au cours de la conduite (Parkes & Hooijmeijer, 2000). Cependant, nous pouvons faire l'hypothèse que les dégradations mesurées dans ces études proviennent d'une altération des capacités du conducteur à élaborer une représentation mentale adéquate à la situation.

3.2.3 Ressources cognitives du conducteur et Représentation de la Situation

Pour Gibson et al (1997) 86% des problèmes de Conscience de la Situation rencontrés par les pilotes d'avions, sont dus à des problèmes attentionnels (charge de travail trop élevée ou distractions). Comme nous l'avons vu, l'activité d'un pilote d'avion et celle d'un conducteur sont comparables, de ce fait, il est légitime de se demander quel sera l'impact d'un manque de ressources cognitives sur la conscience de la situation, la représentation mentale d'un conducteur. C'est ce que Parkes et Hooijmeijer (2000) ont voulu étudier dans leur étude sur l'influence de l'utilisation du téléphone mobile. Leur expérimentation se déroulait sur simulateur. Les sujets avaient à répondre à deux stimuli apparaissant pendant environ 2 secondes. A l'apparition d'un carré vert devant la voiture, ils devaient faire clignoter les phares du véhicule aussi rapidement que possible, ce stimulus apparaît deux fois dans le circuit. En outre, lorsqu'un carré rouge, représentant un danger, apparaissait les sujets devaient réaliser un freinage d'urgence et stopper le véhicule (une seule fois dans le circuit). Par ailleurs, chacun des trois niveaux de Conscience de la Situation a été mesuré par trois questions posées aux sujets à deux endroits fixes (à 6,5 milles et à 9 milles après le début de la séquence). La simulation s'arrêtait et l'écran devenait blanc. A ce moment là, une voiture était dans le rétroviseur central et trois ou quatre voitures s'approchaient sur la rue opposée. Après avoir posé les questions, la simulation reprenait là où elle s'était arrêtée.

Tableau 3 : Questions sur la Conscience de la Situation du conducteur (traduit de Parkes et Hooijmeijer 2000)

1. *Pouvez vous me dire quels véhicules étaient présents avant que j'arrête la simulation ?*
2. *Pouvez-vous me dire la couleur de la voiture qui était dans votre rétroviseur central ?*
3. *Est-ce que la voiture dans votre rétroviseur central, roulait plus vite que vous ?*

L'étude porte sur 15 sujets (âge moyen 24 ans, expérience de conduite plus de trois ans). Les tests sont effectués dans deux conditions expérimentales différentes : sans conversation téléphonique et avec

conversations téléphoniques. Par ailleurs, l'utilisation du simulateur permet de recueillir diverses données telles que la vitesse, la position latérale et le maintien de la trajectoire.

Les résultats de cette étude mettent en évidence une augmentation du temps de réaction pour le premier stimulus vert lorsque les sujets sont en condition de double tâche, par rapport à la situation sans conversation téléphonique. Les temps de réactions pour les deux autres stimuli (2ème signal vert et signal rouge) ne sont pas influencés par la conversation téléphonique. Cependant les auteurs notent que le premier stimulus vert intervient juste après le début d'un appel téléphonique. De ce fait, leur résultat est cohérent avec leur hypothèse selon laquelle un appel téléphonique gênerait plus le conducteur en début de conversation (Parkes, Fairclough, & Ashby, 1993).

Cependant, les résultats les plus importants pour nous portent sur les trois questions posées afin de « mesurer » la Conscience de la Situation des conducteurs (tableau 3). Les différences observées dans le tableau 3, pour le nombre de réponses correctes entre les deux conditions expérimentales sont significatives (Parkes & Hooijmeijer, 2000). Les performances de réponses correctes sont deux fois moins bonnes lorsque les sujets sont en conversation téléphonique.

Les auteurs soulignent que dans la situation « téléphone » beaucoup de sujets avaient une très petite idée de ce qu'il se passait autour d'eux, et qu'ils n'étaient pas capables de rappeler la présence ou les actions des autres usagers. De ce fait, les auteurs concluent que si les autres résultats de leur étude montrent que les conducteurs arrivent très bien à contrôler la vitesse et la trajectoire du véhicule en situation de double tâche, il n'en est pas de même en ce qui concerne l'intégration des éléments de la situation de conduite.

Tableau 4 : Nombre de réponses correctes (traduit de Parkes et Hooijmeijer 2000)

1er arrêt		
	Sans téléphone	Avec téléphone
1ere question (présence véhicule devant)	14	4
2ème question (couleur du véhicule derrière)	14	6
3ème question (vitesse du véhicule derrière)	13	6
2ème arrêt		
	Sans téléphone	Avec téléphone
1ere question (présence véhicule devant)	12	5
2ème question (couleur du véhicule derrière)	12	4
3ème question (vitesse du véhicule derrière)	12	5

Cette étude permet donc de constater que les ressources cognitives monopolisées par la conversation téléphonique font défaut aux conducteurs pour prendre en compte leur environnement de conduite. Les trois questions posées lors de cette expérimentation portent toutes sur des événements de l'environnement (ie : véhicules). Toutefois, nous pouvons nous demander si la diminution des ressources cognitives du conducteur agit de la même manière sur les événements et sur les éléments de signalisation routière. De plus, l'environnement routier simulé est simple : *l'itinéraire utilisé dans la simulation a été conçu pour garder l'attention du conducteur sur la route ; une route à une voie dans un environnement de campagne a été employée* (Parkes & Hooijmeijer, 2000, p2). Les simulateurs simplifiant déjà les environnements de conduite, au vu de ces résultats, nous pouvons nous demander si dans un environnement complexe (ie : conduite

urbaine), l'impact d'une activité parallèle à la conduite sera encore plus important que celui mesuré par cette étude ? Enfin, cette étude porte sur de jeunes conducteurs, (expérience de conduite : environ 3 ans). La diminution des ressources cognitives aurait-elle le même impact sur des conducteurs plus expérimentés ?

Nous allons voir dans la partie suivante en quoi la pratique d'une activité modifie l'activité cognitive de l'opérateur. Nous nous centrerons ensuite sur l'activité de conduite et l'expérience de conduite.

3.3 L'expérience de conduite

Au cours de la pratique les conducteurs rencontrent de plus en plus de situations. Ces situations sont hétérogènes de par les infrastructures mais également, en fonction des événements qui s'y déroulent. De ce fait, ils acquièrent de l'expérience. De nombreuses recherches de psychologie cognitive ont été menées afin d'étudier les différences experts vs novices en situation de prise de décision dans différents domaines. Dans un premier temps, nous présenterons ces différences d'un point de vue général du fonctionnement cognitif. Pour cela, nous nous référerons surtout à des études réalisées en milieu médical qui est l'un des secteurs de recherches privilégiés pour les questions d'expertise. Après quoi, nous présenterons les travaux réalisés sur les effets de l'expérience pour l'activité de conduite. Enfin, en dernier lieu nous verrons quels peuvent être les effets de l'expérience de conduite en terme de conscience de la situation de conduite.

3.3.1 Rôle de l'expérience sur l'activité cognitive d'un opérateur

Selon Raufaste (2001) l'expertise peut être caractérisée par trois axes : la richesse, la pertinence et la flexibilité. Bien que ces travaux portent sur l'expertise en situation de diagnostic médical, ces trois idées peuvent nous servir de trame pour comprendre les effets généraux de l'expérience.

3.3.1.1 Richesse des connaissances permanentes

Raufaste (2001) définit la richesse par *la quantité de connaissances et de savoir-faire mobilisée par le diagnosticien* (p79). L'expertise est une conséquence de la pratique. Au cours de la pratique, le sujet rencontre des situations nouvelles au cours desquelles il acquiert des connaissances spécifiques à son domaine de compétence. Ainsi, il construit une base de connaissances de plus en plus riche. De ce fait, la différence entre l'expert et le novice provient de la disponibilité chez l'expert d'un stock important de savoir-faire spécifiques lui permettant de faire face et de traiter une plus grande variété d'éventualités (Reason, 1993).

Par ailleurs, Bastien (1997) dégage deux caractéristiques de la connaissance experte. Premièrement, les experts procèdent rarement par raisonnement. Leurs connaissances sont directement activées en fonction de leur action et de la situation rencontrée. Deuxièmement, les connaissances des experts ne sont pas organisées sémantiquement. En effet, l'organisation des connaissances expertes est fonctionnelle. En d'autres termes, *elles sont organisées par les contextes dans lesquels elles trouvent leur pertinence* (Bastien, 1997, p38). Nous verrons plus loin que ces deux caractéristiques ont des conséquences directes sur ce que Raufaste (2001) appelle la *pertinence* et la *flexibilité* des experts.

Les auteurs s'accordent pour dire que l'expertise résulte d'une acquisition. En effet, la théorie des schémas, postule qu'au cours de l'expérience les sujets stockent en mémoire permanente des structures de connaissances (ie : schémas) qui seront de plus en plus fines, de plus en plus spécifiques et de mieux en mieux organisées. Au cours de la pratique, les schémas se spécifient : lorsque les sujets rencontrent une situation nouvelle, un nouveau schéma est élaboré en mémoire à long terme. Les schémas constituent des blocs de connaissances structurés. Bellet (1998, p67) définit les schémas comme *des modèles génériques et opératoires élaborés empiriquement par le système cognitif, et qui correspondent à des prototypes d'événements, de situations, d'objets concrets ou de séquences d'actions*. Pour l'auteur ils constituent le *support des représentations mentales qu'élabore le sujet*. C'est pourquoi nous pouvons dire qu'ils sont au cœur du

traitement de l'information. Les schémas guident les stratégies d'exploration perceptive et pilotent l'activité adaptative du sujet. Ainsi, ils permettent donc des réponses plus rapides, plus adéquates et plus performantes.

3.3.1.2 Pertinence des informations sélectionnées dans l'environnement

La pertinence renvoie à la théorie de la pertinence (Sperber & Wilson, 1989, 1995). Le fond de cette théorie est : l'effet cognitif maximum pour le coût cognitif minimum. Pour Raufaste (2001) une information, une connaissance ou un raisonnement est pertinent dès lors qu'il simplifie la prise de décision plutôt que de la compliquer.

Effectivement, face à un environnement, il est impossible d'explorer et de traiter toute l'information disponible. Aller au plus pertinent est donc un gain non négligeable. Des études montrent que les représentations mentales que les experts élaborent de la situation courante mettent en jeu des éléments plus pertinents que celles élaborées les novices (cf. parties 2.1.1.4 et 2.2.2.4). Cette capacité découle de l'organisation de leurs connaissances permanentes qui leur indiquent "ce qui est important" et guident leur recherche d'information. En radiologie, Lesgold et al (1981) ont mis en évidence que les experts sont plus habiles à faire usage des indices pertinents et à ignorer les autres indices. En outre, Myles-Worsley, Johnston et Simons(1988) ont soumis des radiographies de poumons à deux groupes de sujets : des pneumologues expérimentés et des étudiants en fin de spécialisation. Le point qui nous intéresse est que les regards des sujets ont été enregistrés. Ainsi, les données recueillies ont permis de constater que les futurs médecins examinaient tous les radiographies de la même manière et que leur stratégie correspondait à la méthode classique présentée dans les manuels de radiographie. En revanche, aucun des experts n'a appliqué cette stratégie. De plus, les auteurs ont compté autant de stratégies de balayages visuels différents que de médecins expérimentés. En d'autres termes, les stratégies de recherche d'information de ces médecins expérimentés étaient bien différentes de l'apprentissage qu'ils avaient reçu. Les auteurs suggèrent que ces stratégies sont modelées par la pratique. Cependant, malgré la variabilité des stratégies utilisées les performances des médecins expérimentés étaient supérieures à celles des novices. Effectivement, les résultats ont montré que les taux de réussite sont bien meilleurs pour les médecins expérimentés (plus de 90% de diagnostic juste contre moins de 60% pour les novices), en un temps quatre fois moins important que pour les étudiants. Pour ces auteurs, performance, rapidité et variabilité stratégique semblent donc être des caractéristiques de l'expérience.

La pertinence, « aller directement à l'essentiel de la situation », est donc fortement liée aux connaissances acquises au cours de la pratique. En effet, les études sur les joueurs d'échecs (Chase & Simon, 1973b) ont mis en évidence que les novices perçoivent des structures plus petites et moins articulées que les joueurs expérimentés. Selon les mêmes auteurs (Chase & Simon, 1973a), pour atteindre un haut niveau, un maître d'échec doit avoir enregistré des dizaines de milliers de configurations de pièces auxquelles il associe des mouvements possibles. Lors d'une partie, il reconnaît directement la configuration et n'a plus qu'à analyser les différentes possibilités de déplacements qu'elle lui offre. Ainsi, comme pour tout le monde le premier type de traitement engagé par le joueur expérimenté est de nature perceptive. Cependant, à partir de la configuration de l'échiquier, l'expert active des connaissances permanentes qui sont pertinentes pour la situation. Ces connaissances lui permettent de ne pas analyser la situation comme le ferait un joueur novice qui ne dispose pas de telles connaissances en mémoire. A partir de ses connaissances, l'expert dispose instantanément de solutions potentielles pour résoudre son problème. Ainsi, nous voyons que les connaissances des experts et la pertinence dont ils font preuve tendent à nous faire envisager l'expertise sous l'angle de l'automatisation des processus et de l'utilisation de connaissances acquises au cours de la pratique. De ce point de vue, les experts fonctionneraient par reconnaissance de situations. Cette idée rappelle les travaux d'Ochanine sur l'image opérative dont l'élaboration repose sur la comparaison de la situation à des images étalons stockées en mémoire permanente. En effet, pour Dreyfus et Dreyfus (1986), l'expert procède par comparaison entre la situation courante et son stock de situations mémorisées. Dans cette conception, la disponibilité de connaissances à long terme spécifiques à la tâche et leur activation automatique des connaissances est une des caractéristiques de l'expert. Les automatismes sont le plus souvent définis en opposition aux processus contrôlés (Shiffrin & Dumais, 1981; Shiffrin & Schneider, 1977) et en soulignant les

caractéristiques des automatismes : dès que les conditions de leur mise en œuvre sont remplies, ils sont déclenchés, une fois déclenchés ils sont très difficiles à interrompre, leur exécution ne nécessite pas de contrôle de l'attention, un automatisme peut être mis en œuvre en parallèle alors qu'une activité contrôlée se déroule séquentiellement.

Pour Logan (1988), l'automatisation correspond à la transformation de la manière d'accéder à l'information et de l'utiliser. De plus, les automatismes sont réputés être des processus rapides, peu coûteux du point de vue cognitif mais, en contre partie ils sont rigides. C'est-à-dire qu'ils ne sont pas généralisables à différents types de situations. De ce fait, il se peut que ces derniers ne soient pas à même de fournir une solution.

3.3.1.3 Flexibilité et niveaux de contrôle de l'activité

La flexibilité cognitive est la capacité d'une personne à modifier son mode ou sa direction de pensée, en fonction d'une tâche changeante ou de contraintes situationnelles, de façon à optimiser l'accord entre les demandes situationnelles et la résolution de son problème (Frensch & Sternberg, 1989). Pour Leplat (1988) la flexibilité est directement liée à l'expertise : *un sujet expert sait traiter des situations qu'il n'a pas encore rencontrées, il sait mettre en jeu de façon originale ses connaissances, il sait aussi trouver des activités vicariantes qui permettront d'atteindre le but fixé par des voies originales quand les moyens habituels ne sont pas accessibles* (p144). En effet, l'expert peut aborder une situation à différents niveaux d'abstraction. De ce fait, la flexibilité requiert l'existence d'un contrôle de l'activité cognitive. Pour Richard (1990) le contrôle désigne *la fonction qui consiste à mettre en œuvre les moyens de réalisation de la tâche et à veiller à son bon déroulement* (p271). De nombreux auteurs ont cherché à identifier différents modes de contrôle ou différents niveaux de contrôle. Comme nous allons le voir, ces théories sont toujours liées de très près à l'expérience des sujets.

Reason (1993) postule deux modes de contrôle de l'activité. Premièrement le mode attentionnel, conscient, séquentiel et lent permet les traitements symboliques et les activités mentales finalisées. Ses capacités analytiques et de traitement de l'information le rendent indispensable lors de situations, ou circonstances, nouvelles ainsi que pour la réparation des erreurs. Reason assimile ce mode de contrôle à la mémoire de travail et aux traitements contrôlés. Deuxièmement, le mode schématique peut traiter rapidement les informations si elles sont familières. Ces traitements sont alors réalisables en parallèle et sans effort conscient. Ce mode de contrôle dépend de la disponibilité de routines. Les routines s'acquièrent lors de la répétition de tâches familières. Elles sont déclenchées par la perception d'un ensemble spécifique de signaux dans l'environnement. Pour Reason, le contrôle de l'activité résulte de l'interaction entre ces deux modes de contrôle. Ainsi, comme le note Raufaste (2001) en situation familière l'expert peut se satisfaire d'un mode de contrôle schématique (ie : subsymbolique), alors que face à une situation inconnue ou atypique il devra passer en mode attentionnel (ie symbolique) pour traiter le problème. Les deux modes de contrôle proposés par Reason sont également présents chez Rasmussen (1986). Rasmussen distingue un processeur subconscient (ie : schématique) qui se limite aux activités routinières et un processeur conscient destiné aux activités plus variées (ie : attentionnel). Selon l'auteur les représentations de l'environnement utilisées par les deux processeurs sont différentes. Le processeur subconscient fonctionnerait par analogie, à partir d'un modèle qui simule l'environnement. En revanche, le processeur attentionnel nécessite l'élaboration d'une représentation fonctionnelle du système à contrôler. Ce mode de contrôle met donc en œuvre des règles de traitements ainsi que des stratégies. Alors que les modes de contrôle de Reason renvoient à des processus et décrivent des modes de fonctionnement cognitif. Les niveaux de contrôle correspondent à des niveaux d'abstraction différents mis en œuvre dans le traitement de la situation en fonction de la familiarité de cette situation pour le sujet. Par ailleurs, Rasmussen (1986) met en exergue 3 niveaux de contrôle de l'activité.

- *Niveau des automatismes (skill based)*. Dans des situations très familières le sujet emploie des procédures fortement automatisées. Ces habiletés cognitives sont susceptibles de se déclencher sur la base d'un simple signal. Comme nous l'avons vu plus haut l'automatisation est relative à l'expérience.

- *Niveau des règles (rules based)*. Dans des situations qui ne sont pas inconnues, mais plus ou moins atypiques, le sujet développe des activités de diagnostic à partir des informations qu'il a prélevées dans l'environnement. A ce niveau, le sujet reconduit des solutions déjà connues en mémoire. Pour Rasmussen, les règles qui interviennent à ce niveau sont du type « *Si <condition> Alors <action>* ».
- *Niveau des connaissances (knowledge based)*. Face à une situation inconnue, l'information que prélève le sujet nécessite un traitement en profondeur pour être comprise. Ce niveau de contrôle intervient également lorsque les procédures habituelles (règles ou automatismes) n'ont pas été efficaces. Les connaissances alors mises en œuvre sont déclaratives. Les actions doivent être planifiées en temps réel. Le mode de contrôle de ce niveau est conscient c'est pourquoi les traitements réalisés sont très coûteux cognitivement.

Pour Rasmussen, à mesure que le sujet acquiert de l'expérience pour une activité, le contrôle se déplace du « niveau basé sur les connaissances » au « niveau basé sur les automatismes ». Par ailleurs, tant que le niveau automatique permet la réalisation de la tâche ce niveau est conservé, le cas échéant le niveau de contrôle augmente. De plus, l'expérience permet aux sujets de passer plus aisément d'un niveau de contrôle à un autre en fonction des contraintes de leur activité. Cette aptitude sera d'autant plus importante que l'environnement du sujet est potentiellement imprévisible. C'est le cas de l'environnement de conduite qui d'une part change continuellement et d'autre part est hétérogène à différents points de vue (eg : infrastructure, usagers, événements). Le conducteur va alors être successivement confronté à des situations plus ou moins typiques qui nécessiteront des traitements de niveaux différents. De plus, au cours de la pratique un conducteur rencontrera de plus en plus de situations singulières (atypiques). De ce fait, il disposera de plus en plus de connaissances (ie : schémas). Ces schémas devraient permettre de mieux adapter la sélection des informations pertinentes de la situation et ainsi de mettre en œuvre des actions mieux adaptées qu'un jeune conducteur confronté, pour la première fois, à l'une de ces situations non familières. Dans ces conditions, quelles sont les différences que nous pouvons observer entre un conducteur expérimenté et un jeune conducteur ? De nombreux travaux portent sur l'étude des différences entre les conducteurs en fonction de leur expérience de conduite. Nous allons présenter leurs principaux résultats dans la partie suivante.

La perception visuelle joue un grand rôle dans l'activité de conduite. En effet, le canal visuel est le premier à fournir de l'information sur l'environnement dans lequel le conducteur évolue. Nous avons vu que les représentations mentales sur lesquelles il prendra ses décisions sont formées à partir des indices qu'il perçoit ou qu'il recherche dans l'environnement. Le canal visuel n'est donc pas à considérer uniquement comme un point de départ, une entrée d'information par intégration (processus bottom-up). Il est également un moyen actif de recherche d'information dirigé par les connaissances permanentes (ie schémas) et les représentations mentales du conducteur (processus top-down). De ce fait, l'analyse des stratégies visuelles des conducteurs fournit des indices importants sur les traitements cognitifs de ces derniers.

3.3.2 Effet de l'expérience sur la conduite automobile

Ces trente dernières années, de nombreux travaux ont mis en évidence des différences relatives à l'expérience de conduite au niveau des stratégies visuelles. La majorité de ces études analysent deux types de mesures : le temps de fixation et l'étendue du champ visuel, sur les axes horizontal et vertical.

Le pattern élémentaire des mouvements oculaires des conducteurs est maintenant connu par de nombreux travaux. La plupart du temps, le conducteur fixe une zone près du point d'expansion avec des excursions régulières du regard sur les éléments que la route fournit (marquages au sol, véhicules...) (Helanders & Söderberg, 1972; Mourant & Rockwell, 1972). En outre, lorsque l'environnement devient complexe, le nombre de mouvements oculaires augmente alors que la moyenne des temps de fixation diminue (Erikson & Höberg, 1980; Lumoa, 1986; Miura, 1990; Robinson, Erickson, Thurston, & Clark, 1972). En effet, le type d'environnement et les événements qui peuvent se produire influencent les stratégies visuelles des conducteurs. Chapman et Underwood (1998) soulignent que face à un film de scènes routières rurales, les temps de fixation sont plus longs que pour des scènes urbaines. Les auteurs mettent également en évidence

que les temps de fixation augmentent en cas de situation dangereuse. L'augmentation des fixations oculaires selon le type de route reflète la complexification visuelle des scènes urbaines (plus d'éléments à percevoir). En revanche, la seconde augmentation, en cas de situation à risque, reflèterait les connaissances des sujets sur les dangers potentiels de la situation et le temps additionnel qui leur est nécessaire pour traiter ce type d'information. Les auteurs appuient cette dernière interprétation sur le fait qu'en situation dangereuse, les jeunes conducteurs semblent plus affectés que les experts car ils présentent des fixations plus longues.

Par ailleurs, il est admis que les conducteurs non expérimentés concentreraient leurs recherches visuelles dans une zone plus petite, et fermée devant leur véhicule, ce qui suggère qu'ils n'ont pas encore appris à utiliser leur vision périphérique (Mourant & Rockwell, 1972; Summala, Nieminen, & Punto, 1996). En effet, comme le montre Neboit (1980) l'exploration visuelle des conducteurs expérimentés témoigne d'une recherche anticipée d'information. En outre, Neboit (1980) souligne qu'au cours de la pratique, la prise d'information des sujets évolue au niveau du contenu de l'information prélevée et au niveau de la forme d'exploration. *Chez le débutant, le contenu de la recherche d'information paraît à la fois très diversifié puisque le sujet présente une activité oculaire plus grande que l'expérimenté, et plus orientée vers les aspects instrumentaux de la tâche : au début de l'apprentissage, le conducteur recherche l'information sur les outils de la réalisation de la tâche (commandes du véhicules par exemple) et sur l'environnement le plus proche. Ce n'est que progressivement qu'une activité d'anticipation apparaît, se traduisant à la fois par une prise en compte d'éléments plus lointains (dans l'espace et dans le temps), et par une précision à plus long terme* (Neboit 1980, p 221).

Plus récemment, Crundall et Underwood (1998) mettent également en évidence des différences experts//novices sur l'étendue du champ visuel des conducteurs. Les conducteurs expérimentés ont un champ visuel horizontal plus étendu que les jeunes conducteurs pour les routes de type nationale ou voie express ("dual-carriageways"). D'autre part, ils soulignent la capacité spécifique des conducteurs expérimentés à adapter leurs stratégies visuelles (balayage sur l'axe horizontal) à la complexité de la situation, alors que les jeunes conducteurs gardent inflexiblement les mêmes stratégies quelles que soient les situations. En effet, lorsque la complexité de la scène augmente, les conducteurs expérimentés ont tendance à étendre leur champ visuel horizontalement et à diminuer les temps de fixation. En revanche, dans la même situation, les novices conservent le même champ visuel et augmentent leur temps de fixation (Crundall & Underwood, 1998). En outre, lorsque la complexité de la zone centrale augmente, les performances de détection en zone périphérique diminuent (Chan & Courtney, 1993; Reynolds, 1993). Par ailleurs, Miura (1990) ajoute que la diminution des recherches en zone périphérique tendrait à être compensée par des recherches plus soutenues en zone centrale, d'où un regard plus fixe "droit devant" pour les jeunes conducteurs. Aussi, l'analyse des caractéristiques des accidents impliquant des jeunes conducteurs a également montré que ces conducteurs souffraient d'un manque d'anticipation, d'inattention et qu'ils n'évitaient pas suffisamment les distractions (Lestina & Miller, 1994).

Les conducteurs non-expérimentés auraient donc des stratégies visuelles plus rigides. Leur regard serait plus fixe et plus fermé près du véhicule ainsi qu'à l'intérieur de l'habitacle (Neboit, 1980; Pottier, 2000). Par conséquent, ils anticipent moins. De plus, ils n'adaptent pas leurs stratégies visuelles aux difficultés des environnements routiers (ie : spécificités des situations). Les auteurs s'accordent pour interpréter ces attitudes comme une difficulté des jeunes conducteurs à traiter un environnement complexe, nécessitant plus de temps de traitement, cumulée à un manque d'automatisation du contrôle de leur véhicule et des limites d'anticipation.

3.3.2 Conscience de la situation et Expérience de conduite

Les derniers travaux de Underwood et al (2002) remettent en question la convention selon laquelle les jeunes conducteurs manquent de ressources cognitives pour comprendre la situation car ils les utilisent principalement pour contrôler leur véhicule. Les auteurs s'interrogent sur la véritable cause des difficultés rencontrées par les jeunes conducteurs. Ils souhaitent vérifier si les différences stratégiques d'exploration

perceptive observées entre des conducteurs expérimentés et des conducteurs novices ne seraient pas dues au manque de connaissances des novices sur « ce qui peut se dérouler sur certaines types de routes ». Dans ce but, ils ont mis au point un protocole expérimental allégeant les conducteurs des tâches qui monopoliseraient les ressources des conducteurs non expérimentés : le contrôle du véhicule. L'expérimentation se déroulait en laboratoire et utilisait la vidéo. Deux groupes de sujets, des conducteurs expérimentés et des non expérimentés, ont visionné des vidéos de scènes routières plus ou moins complexes et denses. Leurs saccades oculaires étaient enregistrées. Dans un second temps, un questionnaire leur était administré. Les conducteurs expérimentés devaient indiquer les éléments qu'ils pensaient avoir le plus regardés dans chaque type de situations. Les novices remplissaient le même questionnaire, mais ils devaient également indiquer ce qu'ils pensaient regarder lorsqu'ils auraient plus d'expérience.

L'analyse des stratégies visuelles des deux groupes a mis en évidence que même en laboratoire, dispensés de la tâche de contrôle du véhicule, les deux groupes n'utilisent pas les mêmes stratégies. De ce fait, les auteurs rejettent l'hypothèse selon laquelle c'est la tâche de contrôle du véhicule qui monopolise la majorité des ressources cognitives des jeunes conducteurs qui seraient donc moins à même d'explorer leur environnement. Les auteurs concluent donc que lorsque les stratégies visuelles de novices sont moins performantes que celles des experts c'est parce que les novices n'ont pas encore acquis la connaissance de ce qui peut advenir dans de telles ou telles conditions. Experts et novices n'attendent pas les mêmes événements dans les mêmes situations. Les experts ont à leur disposition des modèles mentaux plus riches sur certains types de routes.

La seconde partie de l'expérimentation permet de constater que les deux groupes de sujets sous-estiment les temps de fixations les plus importants et sous-estiment "ce que regardaient les conducteurs experts". De ce fait, les auteurs suggèrent que les stratégies visuelles des conducteurs expérimentés, mais aussi leurs connaissances, sont en partie implicites. Cette conclusion corrobore les études menées par Neboit (1980) pour qui, lors de la pratique de conduite, les processus de traitements sont initialement basés sur les données (bottom-up), mais évoluent vers des mécanismes dirigés par les connaissances des conducteurs (top-down). Pour De Graef, (1998) l'utilisation des connaissances (ie : schémas) a 3 effets. Premièrement, elle augmente les processus top-down pour les éléments attendus. Deuxièmement, elle supprime l'utilisation de processus bottom-up pour les éléments attendus (évitant ainsi la redondance). Troisièmement, l'utilisation des schémas lors de l'exploration perceptive d'une scène accroît l'utilisation de processus bottom-up pour les éléments qui ne correspondent pas aux attentes du sujet.

Cette étude permet donc de constater en laboratoire une évidence : au cours de la pratique les conducteurs acquièrent des connaissances à travers les différentes situations qu'ils rencontrent. Ces connaissances guident l'exploration visuelle dans l'environnement, il s'agit donc de processus top-down (ie : dirigés par les connaissances du sujet). Cependant, cette étude permet également de constater que, après coup, les conducteurs expérimentés ne sont pas conscients de tout ce qu'ils ont regardé, des informations qu'ils ont recherchées, ces processus sont donc plus ou moins automatisés. De ce fait, ils sont d'une part plus efficaces car ils permettent une recherche d'informations pertinentes en fonction de la situation courante, et d'autre part ils sont moins coûteux en ressources cognitives, car plus ou moins automatisés. Par conséquent, nous pouvons penser que les conducteurs expérimentés élaboreront des représentations mentales de la situation de conduite plus pertinentes, car ils savent quelles sont les informations importantes. Par ailleurs, l'élaboration de cette représentation mentale devrait nécessiter moins de ressources cognitives pour les conducteurs expérimentés. Néanmoins, à notre connaissance aucune étude n'a encore cherché à étudier si les effets de l'expérience étaient les mêmes pour tous les éléments de la situation de conduite. Nous savons que la représentation mentale d'un conducteur expérimenté privilégiera les éléments les plus pertinents de la situation, alors que celle d'un conducteur novice pourra rassembler plus d'éléments pertinents ou non pertinents. Cependant, est-ce vrai pour tous les types d'éléments de la situation ? Ces différences de sélection d'information sont-elles vraies pour tous les éléments de la scène : les autres véhicules, les usagers, les caractéristiques de l'infrastructure ? Quelque soit leur nature ou leur distance ?

Par ailleurs, comme les conducteurs expérimentés semblent utiliser moins de ressources cognitives que des

jeunes conducteurs pour élaborer leur représentation mentale de la situation, est-ce que l'impact d'une activité parallèle sera le même pour ces deux types de conducteurs ? Aussi, cet impact sera-t-il le même pour les deux populations en fonction de la nature des éléments de la situation que l'on considère ? Ou bien en fonction de la distance des ces éléments ? Lorsqu'une partie des ressources cognitives des conducteurs sont mobilisées pour réaliser une autre tâche, quelle est l'information qui sera prioritaire pour le conducteur. Un conducteur non expérimenté ira-t-il vers l'information pertinente ? A quelle type d'information pertinente un conducteur expérimenté donnera plus de priorité que les autres informations pertinentes de la situation ?

3.4 Les conducteurs âgés

Les sources INSEE montrent que les personnes âgées de plus de 65 ans représentaient 16.2% de la population française au 1er janvier 2004 contre 14.6% en janvier 1994. Par ailleurs, en 2050, la France métropolitaine comptera de 58 à 70 millions d'habitants selon les différents scénarios retenus. À cet horizon, plus du tiers de la population sera âgée de plus de 60 ans, contre une sur cinq en 2000. De plus, de 1980 à 1998 on note une forte évolution de la motorisation des ménages (de 70.8% à 79.4%) ce qui laisse présager une forte augmentation de la population des conducteurs âgés dans les années à venir. De ce fait, de plus en plus d'études portent sur cette population spécifique de conducteurs. Dans un premier temps, nous présenterons les effets du vieillissement cognitif d'un point de vue général. Notre seconde partie présentera les résultats des principales études sur les effets du vieillissement sur la conduite. Enfin, nous présenterons les travaux de Cheryl Bolstad sur le vieillissement et la Conscience de la Situation.

3.4.1 Changements fonctionnels dus à l'âge pouvant affecter la conduite

Le vieillissement est un processus normal qui atteint, plus ou moins, chaque individu tant sur le plan physiologique que cognitif. La présentation de COSMODRIVE et de la Conscience de la Situation nous ont montré que ces certaines dimensions cognitives sont cruciales à l'élaboration d'une représentation mentale en situation de conduite. Certes, la vision est l'entrée perceptive la plus sollicitée chez un conducteur. Cependant nous avons vu que le traitement de ces informations perceptives engage plus ou moins de ressources cognitives. Enfin, l'une des caractéristiques de l'activité de conduite est la forte pression temporelle qui contraint le conducteur à prendre ses décisions rapidement, et donc à traiter son environnement complexe, rapidement. En outre, le vieillissement cognitif se caractérise par une plus grande difficulté à gérer la complexité et l'inattendu, et ce encore plus lorsqu'il y a une forte pression temporelle. C'est pourquoi, nous allons voir quels sont les effets de l'âge connus pour chacun de ces points, vision, attention (ressources cognitives) et vitesse de traitement.

Eby et al (1998) indiquent plusieurs changements sensoriels dus à l'âge sur la vision. Ces changements d'ordre anatomique modifient les capacités visuelles. En résumé, ces modifications sont l'épaississement de la cornée, la diminution du diamètre de la pupille, la dépigmentation et la rigidification de l'iris, ainsi que le ralentissement des réflexes pupillaires. Ils ont pour conséquence de diminuer la quantité de lumière atteignant la rétine. De ce fait, ils provoquent des problèmes d'adaptation à l'obscurité, mais aussi une augmentation de la sensibilité à l'éblouissement (Gabaude, 2003). Par ailleurs, des changements se produisent également dans les mouvements oculaires. Ils ont pour conséquence d'altérer d'une part, la perception de la profondeur et d'autre part la perception des mouvements. Par conséquent, les conducteurs âgés peuvent mettre plus de temps à localiser un objet dans une scène visuelle complexe, sauf s'ils ont recours à des stratégies de recherches visuelles optimisées. Nous avons vu précédemment que les stratégies de recherche visuelle sont des processus top-down, susceptibles d'être plus coûteux cognitivement, c'est-à-dire impliquant des ressources cognitives ou encore guidés activement par l'attention du conducteur.

Comme le note Richard (1980) l'attention n'est pas une activité comme la perception ou la mémoire, elle n'a pas de produit spécifique. L'auteur note que *l'attention est une notion qui a trait au fonctionnement de*

l'activité psychologique et non à sa structure. Rappelons que classiquement deux grandes sortes d'attention peuvent être distinguées : attention sélective et attention partagée (Lemerrier, Ansiau, El Massioui, & Marquié, 2003).

D'une part, l'attention sélective correspond aux processus qui orientent et maintiennent le traitement cognitif vers les informations pertinentes. Cependant, les travaux de Schneider et Shiffrin (1977) et de Posner et Snyder (1975) sur les processus automatiques et contrôlés ont permis de préciser cette définition. Ces auteurs considèrent l'attention sélective comme un double processus. Il comporte d'une part, un versant activation et/ou sélection de l'information pertinente, et d'autre part, un versant inhibition active de l'information non pertinente (ou distracteurs). Les premiers travaux sur l'attention sélective et le vieillissement ont été réalisés par Rabbitt (1965). L'auteur a montré que les sujets âgés ont plus de difficulté que les sujets jeunes à identifier un stimulus parmi un ensemble d'autres stimuli. Plus récemment, Hasher et Zacks (1988) ont souligné que ce seraient les processus attentionnels inhibiteurs qui seraient altérés par le vieillissement (Kok, 1999). Pour ces auteurs il y aurait maintien en mémoire de travail d'informations non pertinentes, distractives, pouvant interférer avec les traitements en cours. Or, en situation de conduite les informations pertinentes sont noyées dans l'environnement qui contient potentiellement plus d'informations distractives. De ce fait, cette altération pourrait avoir des conséquences négatives sur l'activité de conduite.

D'autre part, l'attention partagée renvoie à la capacité de l'individu à dispatcher une grande quantité de ses ressources cognitives à plusieurs tâches en même temps sans trop altérer la qualité des traitements. Le paradigme de la double tâche permet d'évaluer la capacité des sujets (jeunes ou âgés) à répartir leur ressources cognitives entre deux tâches concurrentes et simultanées. Cependant, les études sur les sujets âgés ne montrent pas les mêmes résultats selon la nature des tâches utilisées. En effet, l'effet de la double tâche a été plus fort chez les sujets âgés que chez les jeunes pour deux tâches d'empan mnésiques combinées (Salthouse, Rogan, & Prill, 1984), ce qui n'a pas été le cas lorsqu'il s'agissait de deux tâches de discrimination perceptive (Somberg & Salthouse, 1982). Ces auteurs précisent également que lorsque les différences liées à l'âge existent déjà en simple tâche, il devient difficile de dire si les différences observées en double tâche relèvent de la capacité à partager son attention ou de la complexité de la tâche. Cela serait d'autant plus vrai pour des tâches impliquant une forte contrainte temporelle. Cette dimension (ie : vitesse de traitement) semble la plus invariablement sensible à l'effet de l'âge (Salthouse & Mein, 1995).

Par ailleurs, de nombreux travaux ont porté sur les effets de l'âge sur les capacités de la mémoire de travail. Feyereisen et Van der Linden (1992) ont testé l'empan de mémoire de travail chez des sujets jeunes et âgés. L'originalité de leur étude est qu'ils ont testé plusieurs empan : de mots, de gestes, d'espace et de configurations manuelles. Leurs résultats mettent en évidence une diminution des 4 types d'empan pour les sujets âgés. Cependant, les données de Salthouse et Babcock (1991) suggèrent qu'un grand nombre de déficits jusqu'alors rattachés à la mémoire de travail seraient sous-tendus par une diminution de la vitesse de traitement même pour des opérations élémentaires. En outre, les personnes âgées seraient plus sensibles que les jeunes à l'accroissement en complexité. Dans cette hypothèse, les performances des âgés seraient plus affectées que celles des jeunes car ils disposent de moins de ressources. Dans tous ces travaux, la performance des âgés est exprimée en fonction de celle des jeunes. Cerella (1985) montre que le ralentissement cognitif serait également fonction de la complexité de la tâche. Ainsi, les difficultés des conducteurs âgés pourraient venir de leur temps plus long pour percevoir et pour réagir aux événements de l'environnement (Lerner, 1994).

De plus, Crook, West et Larrabee (1993) ont employé une tâche de conduite dans laquelle des conducteurs ont été invités à accomplir une tâche secondaire tout en conduisant (apprenant par coeur l'information météo et trafic provenant de l'auto-radio). Ils ont constaté que des adultes plus âgés ont eu plus de difficulté à diviser leur attention pendant la conduite. Leurs performances de la tâche primaire et de la tâche secondaire étaient significativement plus basses que celle des jeunes conducteurs. La littérature redouble d'études démontrant qu'en situation de temps partagé ou de double-tâche, les adultes plus âgés sont plus pénalisés que de plus jeunes (Kramer et Larish, 1996, Korteling, 1993). Même si les auteurs ne sont pas d'accord sur les

mécanismes responsables de différences observées, la robustesse des effets de la tâche secondaire ne peut pas être contestée (Kramer et Larish, 1996). De plus, l'importance de cet effet d'âge tend à augmenter proportionnellement avec la difficulté de la tâche.

Ainsi, la capacité à inhiber les aspects non pertinents d'une tâche, ou bien les informations non pertinentes d'un environnement au profit des informations pertinentes, comme la capacité à partager ces ressources cognitives diminuent avec l'âge. Par ailleurs, ces diminutions sont d'autant plus importantes lorsque les tâches sont cognitivement complexes. Néanmoins, de nombreuses études ont montré que premièrement, des experts âgés peuvent surpasser les performances de jeunes débutants, et deuxièmement, dans quelques situations les experts âgés peuvent avoir des performances aussi bonnes que des jeunes experts (Charness, 1981; Morrow, Leirer, Altieri, & Fitzsimmons, 1994; Salthouse, 1984). La principale explication repose dans les caractéristiques de l'expérience que nous avons présentées plus haut. En effet, les experts peuvent accomplir plusieurs tâches dans leur domaine d'expertise avec peu de ressources. De plus, il s'avère que l'expérience peut compenser l'impact négatif du vieillissement par le développement des mécanismes compensatoires établis au cours de la pratique en réponse aux limitations dues au vieillissement (Charness, 1981; Salthouse, 1984). Toutefois, nous devons aussi noter qu'une forte expérience peut également avoir des effets négatifs qui peuvent imiter les effets dus au vieillissement. Charness et Bieman-Copeland (1992) ont identifié trois effets négatifs de l'expérience pour les personnes âgées. Premièrement, plus on dispose de connaissances plus il faut de temps pour accéder à une information spécifique. Deuxièmement, l'augmentation de connaissances en mémoire à long terme accroît la probabilité de leur activation automatique par les événements de la situation. Enfin, les auteurs notent que la vitesse d'ajout de nouvelles informations aux connaissances permanentes est négativement corrélée avec la quantité de l'information contenue dans ces structures. Ainsi, les connaissances accumulées au cours de la pratique pourraient ralentir les traitements des sujets âgés.

Dans la partie suivante nous allons voir quelles sont les répercussions concrètes de tous ces phénomènes en terme de performance de conduite des conducteurs âgés.

3.4.2 Performance de conduite des conducteurs âgés

Des études statistiques ont montré que les accidents des conducteurs âgés surviennent dans des situations de conflits, principalement aux intersections et plus spécifiquement encore pour les tourne-à-gauche (C. A. Holland, 2001). Aussi, les intersections à stop semblent poser le plus de problème à ces conducteurs. Dans ces situations, le conducteur doit simultanément redémarrer rapidement son véhicule et prendre la décision de s'insérer dans le flot de véhicules. En effet, une des caractéristiques des accidents des conducteurs âgés est qu'ils impliquent plusieurs véhicules alors que les conducteurs jeunes ont plus fréquemment des accidents seuls.

Une étude allemande a comparé les performances de conducteurs âgés (60-82 ans) et de conducteurs d'âge moyen (40-50 ans) pour des tests en laboratoires et des tests sur route. Les tests de laboratoires ont mis en évidence des différences marquées entre les 2 groupes pour : l'acuité visuelle de jour (corrigée), l'acuité adaptée foncée, la performance à un test de perception, notamment dans la quantité de temps nécessaire dans des essais de suivi et de réaction. De plus, les tests sur route ont montré que sur autoroute les conducteurs âgés conduisent plus doucement et ont des difficultés pour les entrées complexes où ils s'insèrent de manière trop hésitante. Sur routes de campagne les conducteurs âgés adoptent un modèle de conduite particulièrement uniforme avec peu d'accélération et d'actions de freinage, c'est-à-dire, avec une tendance à conduire plus à une vitesse plus modérée et sans à-coup. Enfin, en zone urbaine, les conducteurs âgés ont réalisé des actions incorrectes plus souvent que les conducteurs d'âges moyens, spécialement aux arrivées sur des intersections à feux (ils ont plus souvent ignoré les feux rouges bien qu'ils aient moins grillé de feux oranges) et aux priorités à droite qu'ils ont plus négligées.

Par ailleurs, l'étude des accidents des conducteurs âgés nous fournit également des informations sur les difficultés propres de cette population de conducteurs. Van Elslande (2003) a comparé 57 EDANote2. (études

détaillées d'accidents (Ferrandez et al., 1995)) impliquant des conducteurs âgés de plus de 60 ans à des EDA de conducteurs accidentés de moins de 60 ans. Plusieurs types d'informations ressortent de cette comparaison. Comparativement aux conducteurs plus jeunes, les conducteurs âgés ont beaucoup plus de problèmes dans les situations d'intersections et notamment durant la réalisation des changements de direction vers la gauche. En outre, Van Elslande compare également les défaillances fonctionnelles de ces deux groupes de conducteurs. L'auteur caractérise une défaillance fonctionnelle par *l'incapacité momentanée d'une fonction - du point de vue des processus perceptifs, cognitifs et psychomoteurs impliqués- engagée dans la tâche de dysfonctionnement et qui va empêcher sa réalisation correcte* (2003, p194). La défaillance fonctionnelle renvoie à l'idée d'une inadaptation momentanée entre la situation réelle et les traitements engagés par le conducteur. Van Elslande distingue 6 catégories de défaillances fonctionnelles : perception, diagnostic, pronostic, décision, exécution et enfin les défaillances générales ou globales qui *correspondent à une perturbation de l'ensemble de la chaîne fonctionnelle impliquée dans l'activité de conduite* (2003, p194). D'après les données recueillies par les EDA, Van Elslande pointe que, comparativement aux conducteurs jeunes, les conducteurs âgés ont plus de défaillances fonctionnelles dans le domaine de la perception et dans le domaine du diagnostic. L'auteur souligne également un pourcentage beaucoup plus important de défaillances globales pour les conducteurs de plus de 60 ans.

Pour cet échantillon de conducteurs âgés la majorité des défaillances de perception concerne *la saisie d'information focalisée sur une composante partielle de la situation* (2003, p194). Il s'agit de scénario où le conducteur focalise son attention vers un aspect de la situation au détriment d'autres informations. L'auteur donne comme exemple la traversée d'une intersection où le conducteur cherche sa direction (ie : *la focalisation sur un problème directionnel*), et de ce fait, néglige les informations sur les autres usagers traversant l'intersection. Ces défaillances correspondent d'une part, aux difficultés des âgés à prendre en compte différentes sources d'informations, et d'autre part, à la difficulté de juger quels sont les éléments les plus pertinents de la situation. Toujours dans les défaillances de perception, les résultats soulignent un second type de défaillances appelé *recherche sommaire/précipitée d'information* (2003, p195). Il s'agit de situations difficiles (configuration des lieux, trafic important) où le conducteur âgé, mal à l'aise, s'impose une contrainte de temps forte, afin de ne pas gêner les autres usagers. Par conséquent, il opèrerait une recherche d'information rapide qui ne correspondrait pas aux exigences de la situation. Ces défaillances sont expliquées par le sentiment d'inconfort du conducteur qui se presse pour sortir de cette situation désagréable.

En ce qui concerne les défaillances du domaine de diagnostic, les défaillances qui caractérisent l'échantillon des EDA impliquant des conducteurs de plus de 60 ans sont premièrement, les difficultés d'évaluation d'un créneau d'insertion dans le trafic et deuxièmement, la mauvaise compréhension du fonctionnement de la situation. Pour Van Elslande, les difficultés d'insertion dans le trafic peuvent être dues soit une manœuvre précipitée provoquée par un sentiment d'inconfort, soit à un manque d'adaptation d'un fonctionnement habituel à la situation réelle particulière. Par ailleurs, les difficultés de compréhension de la situation surviennent dans des intersections complexes, atypiques ou peu lisibles. Il s'agit de conducteurs non familiers des lieux qui comprennent mal la situation ou bien de conducteurs familiers de l'environnement qui ne détectent pas un changement dans l'aménagement de la situation. L'auteur associe ces dernières défaillances à une *certaine forme de rigidité dans l'analyse que les conducteurs opèrent sur les aménagements* (2003, p194). Dans ces situations, le conducteur prend ses décisions sans adapter sa représentation mentale aux caractéristiques courantes de la situation.

Enfin, ce sont dans le domaine des défaillances globales que l'échantillon des conducteurs de plus de 60 ans sont les plus surreprésentés (environ 20% chez les conducteurs âgés contre 2% chez les autres conducteurs). *19.3% des défaillances renvoyant à un dépassement des capacités cognitives qui se manifeste pas une désorganisation générale de l'activité au moment de la rencontre d'une difficulté au cours du trajet* (2003, p 195). Les EDA permettent alors de pointer le caractère hésitant de ces conducteurs, la réalisation de manœuvre surprenante telle que l'insertion sur une autoroute en contre-sens. Van Elslande souligne que ces comportements concernent les conducteurs les plus âgés de son échantillon.

De plus, toujours à partir de ces EDA, Van Elslande distingue 6 principales causes, types d'explications, des défaillances observées pour son échantillon de conducteurs âgés:

- les problèmes d'attention, de distraction et de vigilance (11%)
- le temps de réaction plus long que les autres conducteurs (8.6%)
- la pratique épisodique de la conduite (8.6%),
- la méconnaissance des lieux (8%)
- l'exécution de manœuvre routinière (6.7%)
- les problèmes d'orientation directionnelle (6.7%).

En revanche, si le vieillissement provoque le déclin des capacités cognitives des conducteurs âgés cette population bénéficie des effets de l'expérience que nous avons décrits plus haut. En effet, Holland (2001) note que les conducteurs âgés ont de bonnes capacités à anticiper le danger dans une situation donnée. Ce résultat corrobore les comparaisons des EDA de Van Elslande (2003) qui montrent une moindre proportion des défaillances de types pronostiques pour les conducteurs âgés (environ 5%) que pour les autres conducteurs (environ 15%).

3.4.3 Effet de l'âge en terme de CS et de conduite

La majorité des travaux sur la CS est réalisée en aéronautique et plus particulièrement sur les pilotes de chasse. C'est pourquoi, peu d'études portent sur les effets de l'âge sur la conscience de la situation (Bolstad & Hess, 1995). Cependant, Bolstad (Bolstad, 2001; Bolstad & Hess, 2000) a cherché quelles conséquences pouvaient avoir les principaux effets du vieillissement (ralentissement, diminution des capacités de traitement cognitif, diminution des capacités d'inhibition, rôle de l'expérience) pour chacun des niveaux de Conscience de la Situation proposés par Endsley.

Dans un premier temps, Bolstad et Hess (2000) posent les hypothèses suivantes. Tout d'abord, l'intégration perceptive des éléments pertinents de la situation (niveau 1 de CS) serait le processus, nécessaire à l'élaboration de la CS, le plus altéré par les effets négatifs du vieillissement. En effet, ils notent que le vieillissement diminue l'efficacité des individus à extraire l'information pertinente de l'environnement (Plude, Schwarz, & Murphy, 1996) et à la stocker en mémoire. De ce fait, les individus âgés élaboreraient des représentations de leur environnement moins complètes et/ou de qualité différente par rapport à des jeunes adultes. En référence à l'hypothèse de complexité, que nous avons citée plus haut, les auteurs précisent que les effets de l'âge seront d'autant plus importants lorsque l'environnement sera riche en informations, que ces informations feront appel à de multiples modalités, mais aussi quand plusieurs tâches devront être exécutées en même temps. En revanche, Bolstad et Hess (2000) soulignent que ces effets négatifs de l'âge peuvent être modérés par certaines circonstances. Ainsi, au premier niveau de CS, les effets du vieillissement peuvent être moins importants dans des environnements simples, et pour les tâches dans lesquelles l'individu peut s'appuyer sur son expérience. Cependant, d'une manière générale, les auteurs pensent que des individus âgés récolteront moins d'informations dans un environnement complexe et d'autant moins lorsqu'ils seront en situation de double tâche. Pour Bolstad et Hess (2000), c'est donc la phase initiale (ie : perception) de l'élaboration de la Conscience de la Situation qui serait altérée par les effets de l'âge. De ce fait, par effet de ricochet, les deux autres niveaux de CS (ie : compréhension et anticipation) seraient donc également altérés par les effets normaux du vieillissement cognitif. L'élaboration de la conscience de la situation serait donc mise en péril par la diminution des ressources cognitives, le ralentissement de la vitesse de traitement et les diminutions des capacités d'inhibition des âgés. Cependant les auteurs soulignent que l'expérience des âgés peut les aider à modérer ces effets négatifs. Ils soulignent également le gain possible via l'entraînement à des activités spécifiques. En 2001, Bolstad mène une expérimentation pour vérifier ces hypothèses.

Bolstad (2001) s'interroge particulièrement sur le déclin des capacités cognitives des conducteurs âgés expérimentés en fonction de la complexité de la situation de conduite. Trois groupes de 16 sujets ont participé à l'expérimentation sur un mini-simulateur de conduite (annexe 5). Les sujets étaient répartis en fonction de

leur classe d'âge : jeune (19,5 ans), âge moyen (45,1 ans) et âgés (70,4 ans). Trois types de scénarios, de complexité croissante ont été proposés aux sujets (annexe 5). Dans le niveau 1 de complexité, le plus bas, le conducteur est sur une route à double-sens (2x2 voies), il ne rencontre pas d'autres usagers (ni véhicule, ni piéton), et ne traverse pas d'intersection. Le niveau 2 (ie : complexité moyenne), contient un petit nombre d'usagers, d'immeuble et de virages. Enfin, le niveau le plus complexe contient 4 fois plus de trafic, d'immeubles, de virages et d'intersections avec des passages piétons.

Pendant chaque test, la séquence est arrêtée deux fois par l'expérimentateur pour mesurer la Conscience de la Situation des sujets. Dès que le simulateur s'arrête, l'expérimentateur cache l'écran de l'ordinateur avec un papier noir, les sujets ont alors 2 minutes pour répondre à 9 questions sur l'environnement de conduite tel qu'il était avant l'interruption. Ces questions ont été élaborées d'après les réponses de conducteurs expérimentés à qui l'on avait posé la question « *Que voudriez-vous savoir pour avoir une conduite parfaite ?* ». Parmi toutes les informations récoltées des questions ont été créées pour mesurer la conscience de la situation des sujets. A chaque interruption, 9 de ces questions sont choisies de manière aléatoire et présentées au sujet sous la forme d'un QCM (tableau 4).

Tableau 5 : Exemples de questions pour mesurer la Conscience de la Situation, traduit de Bolstad (unpublished)

<p><i>A quelle vitesse roule la voiture juste devant vous ?</i></p> <p><i>A- plus vite que moi</i></p> <p><i>B- moins vite que moi</i></p> <p><i>C- à la même vitesse que moi</i></p> <p><i>D- il n'y a pas de voiture devant moi</i></p>
<p><i>Quelle est la couleur du feu tricolore devant vous ?</i></p> <p><i>A- rouge</i></p> <p><i>B- orange</i></p> <p><i>C- vert</i></p> <p><i>D- pas de feu</i></p>
<p><i>Légalement, pouvez-vous traverser la prochaine intersection sans vous arrêter ?</i></p> <p><i>A- oui</i></p> <p><i>B- non</i></p> <p><i>C- il n'y a pas d'intersection devant</i></p>

Parallèlement à ce test sur simulateur, les sujets sont également soumis à d'autres tests. La mesure de l'UFOV (Useful Field Of View) (Owsley, Ball, & Keeton, 1995) permet d'explorer simultanément les capacités visuelles et attentionnelles. Le test, *Visual Attention Analyser*, comprend trois sous-tests permettant de mesurer : (1) la vitesse d'acquisition de l'information visuelle en vision centrale, (2) l'attention divisée : la capacité à diviser son attention (le stimulus central doit être identifié alors que le stimulus périphérique doit être localisé), (3) l'attention sélective : la capacité à extraire un signal d'un environnement complexe en observant l'influence que peut avoir la présence de distracteur sur les performances précédemment évoquées. De plus, la vitesse de traitement des sujets a été mesurée par le test de comparaison de lettre de Salthouse et de Coon (1994). Enfin, la mémoire de travail dynamique a été mesurée en utilisant la Wais-III de Weschler.

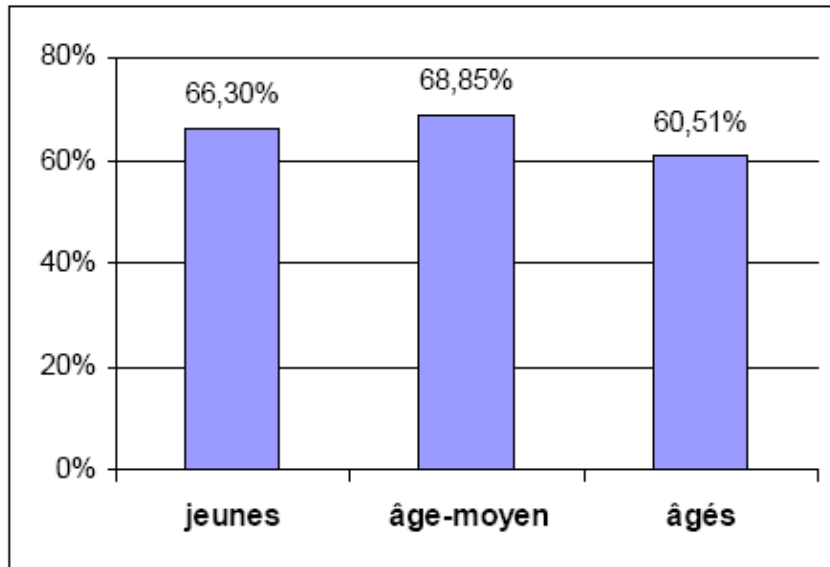
Bolstad (2001) pose deux hypothèses :

3.4.3 Effet de l'âge en terme de CS et de conduite

- les performances de Conscience de la Situation de tous les sujets devraient diminuer lorsque la complexité des situations de conduite augmente ;
- les performances de Conscience de la Situation des conducteurs âgés devraient plus souffrir de l'augmentation de complexité que les performances des autres conducteurs.

Globalement, les résultats mettent en évidence que les conducteurs âgés ont des performances moins bonnes que les deux autres groupes (figure 18). En revanche les performances des jeunes conducteurs et des conducteurs d'âges moyens ne sont pas significativement différentes. Par ailleurs, Bolstad souligne que tous les sujets ont fourni moins de réponses correctes pour le 3ème niveau de complexité par rapport au second. En revanche, elle note que cet effet de complexité est identique pour les trois classes d'âge.

Figure 18: Pourcentage de réponses correctes par classe d'âge, d'après Bolstad 2001



Bolstad compare ces résultats avec ceux des autres tests. En condition de complexité moyenne, l'auto-estimation de la vision, la vitesse perceptive et la CS sont corrélées. Selon Bolstad, ceci peut indiquer que dans des scénarios relativement simples la vision et la vitesse de traitement soient suffisantes pour percevoir et extraire l'information demandée. En situation de complexité élevée, l'auteur attendait que toutes les mesures soient corrélées avec la performance de CS. Cependant, seulement trois sont significatives : l'UFOV attention divisée, l'UFOV attention sélective et l'expérience de conduite. Pour l'auteur, la corrélation forte entre UFOV et la CS suggère que ces mesures mobilisent les mêmes types de traitements et de ressources cognitives. En effet, l'UFOV est une mesure visuelle et une mesure cognitive. Aussi, la capacité de percevoir et d'extraire l'information dans l'environnement peut également être considérée des capacités cognitives visuelles.

Compte tenu de ces résultats, l'auteur suggère que la mesure de la Conscience de la Situation peut-être envisagée comme une méthode de formation ou de sensibilisation des conducteurs âgés. Une telle méthode permettrait d'alerter ces conducteurs de la baisse de leurs capacités à identifier l'information critique dans l'environnement de conduite. De façon générale, Bolstad souligne qu'il est évident que l'augmentation de la complexité de la situation pose plus de problèmes aux conducteurs âgés qu'aux jeunes conducteurs. S'ils sont conscients de leur propre performance, ils se rendent moins compte de leurs environnements.

Quels sont les aspects de la conscience de la situation qui sont le plus dégradés par les effets du vieillissement cognitif normal ? Pour Bolstad c'est le premier stade décrit par Endsley, en d'autres termes l'intégration perceptive des informations prélevées dans l'environnement, à l'intérieur de la représentation mentale. Par

conséquent les autres niveaux de la CS de Endsley seraient compromis.

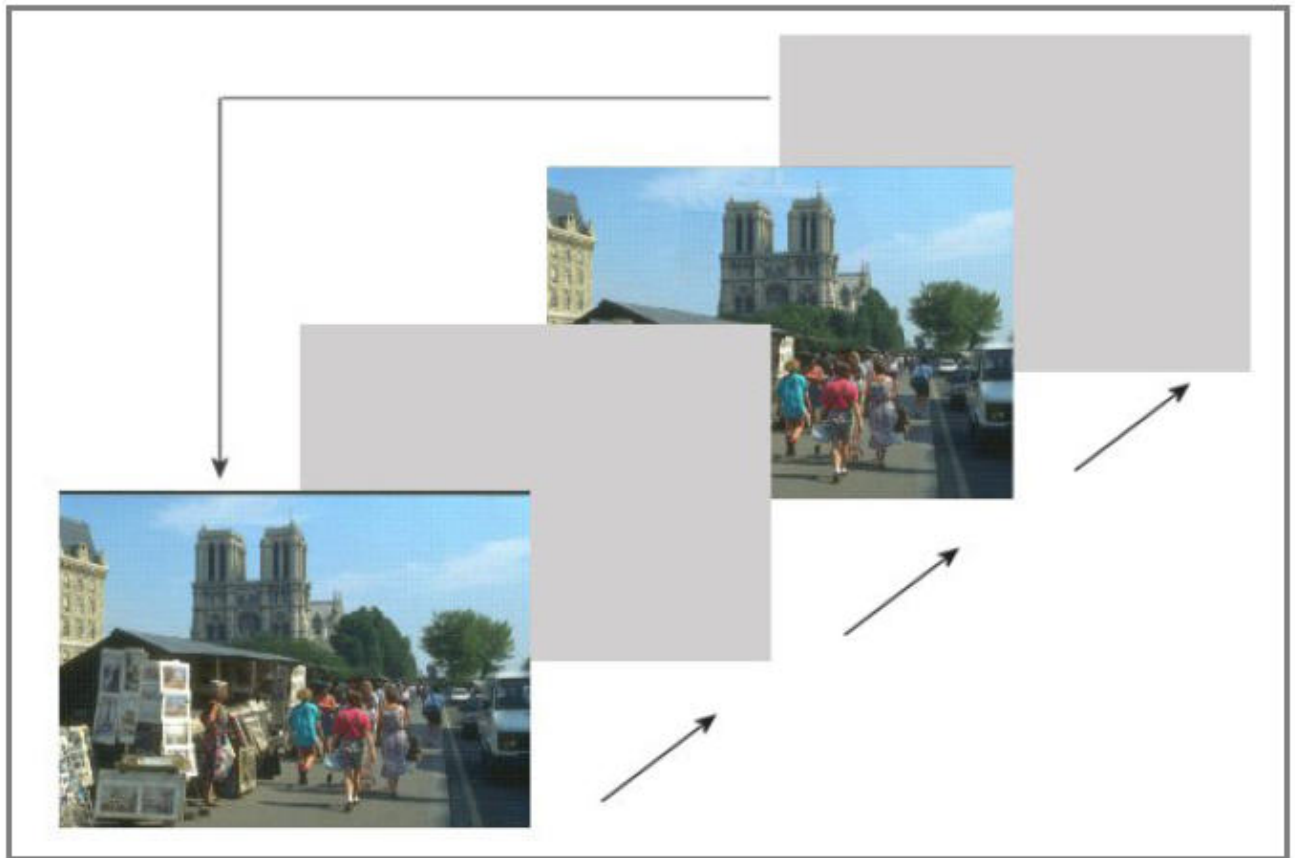
3.5 Comment Analyser les représentations mentales des conducteurs ?

Au cours des parties précédentes nous avons vu que les moyens les plus fréquemment utilisées afin d'étudier les conducteurs automobiles étaient le simulateur et la conduite sur route ou sur piste. Dans cette partie, nous verrons que d'autres protocoles ont été proposés afin d'analyser des points précis de l'activité de conduite.

3.5.1 La cécité au changement (change blindness)

La cécité au changement est l'incapacité à détecter un changement dans une scène lorsque le changement survient pendant un clignotement (O'Regan, Deubel, Clark, & Rensink, 2000), pendant un mouvement oculaire (Wallis & Bulthoff, 2000) ou pendant une image qui masque le début du changement (Simons & Levin, 1998). Les études portant sur la cécité au changement utilisent le plus souvent l'un des deux paradigmes suivants : « *flicker paradigm* » (Rensink, O'Regan, & Clark, 1997) ou « *forced choice detection paradigm* » (Pashler, 1988; Simons, 1996). Dans ces deux protocoles, une image originale et une image modifiée, séparées par un masque, sont alternativement présentées au sujet. Les trois images (originale, masque, modifiée) sont enchaînées très rapidement d'où le nom du premier paradigme : clignotement (ie : flicker). Dans ce paradigme, le sujet donne sa réponse dès qu'il a détecté le changement, le cycle des trois images se répétant tant qu'il ne le détecte pas (figure 19). En revanche, dans le second paradigme, le sujet ne voit qu'une seule fois les images. Cette méthode est moins utilisée que la première car, Rensink et al (1997) montrent qu'il est très rare que les sujets détectent les changements lors du premier cycle, mais aussi que certains changements ne sont toujours pas détectés après 1 minute d'alternance.

Figure 19 : Exemple de 'Flicker Paradigm' utilisé par O'Regan(O'Regan, 2002)

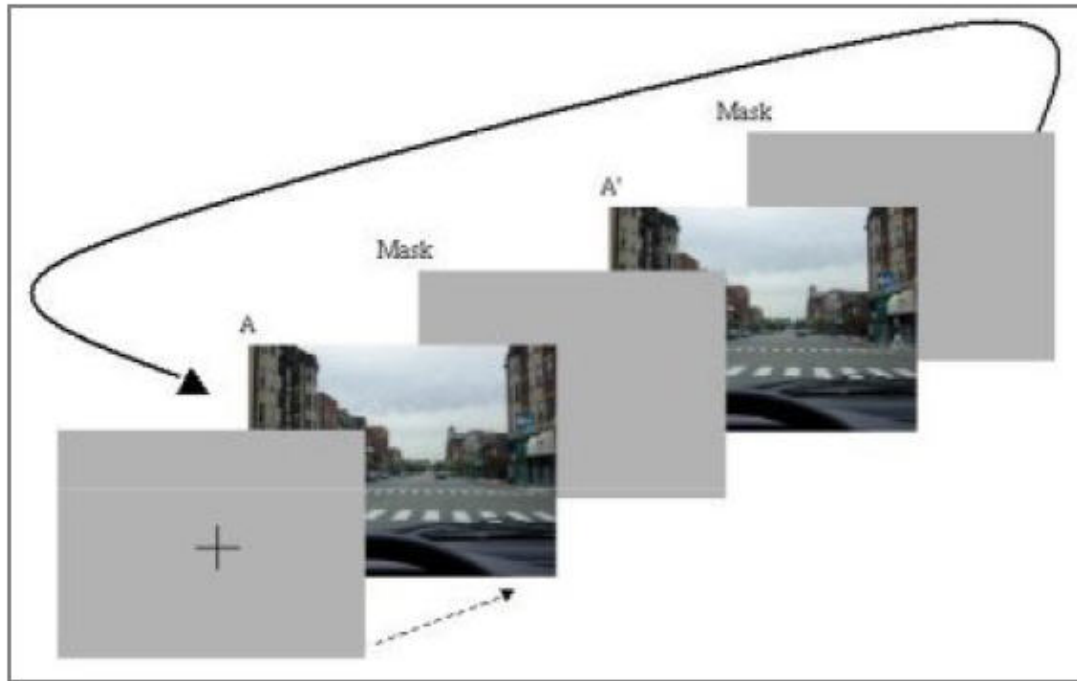


Pour O'Regan (2002), la cécité au changement permet de souligner le caractère lacunaire des représentations que nous nous faisons du monde. De ce point de vue, la cause de la cécité au changement serait une mauvaise intégration des informations présentées dans l'image originale. Par contre, pour Simons et al (2002) la cécité au changement serait due à une défaillance de comparaison entre une représentation élaborée avant le changement et une représentation construite après le changement. Simons et al (2002) soulignent que cette défaillance apparaîtrait lorsque le sens de la situation n'est pas modifié par le changement. Ils font le lien avec les théories des schémas, qui permettent selon eux de simplifier la tâche d'encodage et de reconnaissance d'une situation. Il est alors question de "modèle de stabilité" : un observateur sera plus à même de détecter un changement qui affecte la signification de la scène. Dans ce cas, les auteurs postulent que l'observateur comparera les détails de la scène avec sa représentation et détectera les changements. Les auteurs concluent que la signification sert de stimulus (trigger) pour la détection spontanée de changement inattendu. De ce fait, ils confortent l'idée de Rensink (1997) selon laquelle les observateurs détecteraient mieux les changements s'ils portent sur des objets qui sont le "centre d'intérêt" de la scène. Ce résultat souligne l'importance des processus top-down qui vont guider la perception à partir des connaissances permanentes des sujets (Woodman, Vecera, & Luck, 2003).

La critique que nous pouvons faire à ces paradigmes est qu'ils mettent tous les sujets en position d'observateurs à la limite de la contemplation, ou en position de joueurs du jeu des 7 différences ! Les images sélectionnées n'impliquent pas d'action ou de prise de décision, si ce n'est la recherche d'un changement. Dans l'exemple de la figure 19, le changement que les sujets doivent détecter est le décalage vers la droite de la cathédrale Notre-Dame. Cette modification ne change en rien la signification de la situation. En effet, qu'elle soit un peu plus à droite ou un peu plus à gauche, la cathédrale de Notre-Dame demeure la cathédrale de Notre-Dame. En conservant cet exemple, où la prise de vue tend à retranscrire la position d'un piéton marchant sur le trottoir, un changement significatif aurait été de déplacer la camionnette blanche qui circule sur la chaussée, à cheval sur le trottoir (ie : stationnement). De plus, il aurait également été nécessaire de préciser au sujet avant le test que pour cette séquence il devait regarder l'image comme s'il était piéton. En

effet, nous reprochons à la majorité des expérimentations de laboratoire sur la cécité au changement d'être trop décontextualisées pour rendre compte de processus cognitifs très fortement liés à l'activité du sujet (ie : perception en vue de l'élaboration d'une représentation mentale opérationnelle).

Figure 20 : Paradigme utilisé par Caird et al (2002) une image (A) est présentée au sujet en alternance avec la même image modifiée (A'), chacune pendant un court laps de temps (250ms) ; une zone en blanc, ou masque, est intercalée pendant 80ms entre les deux images



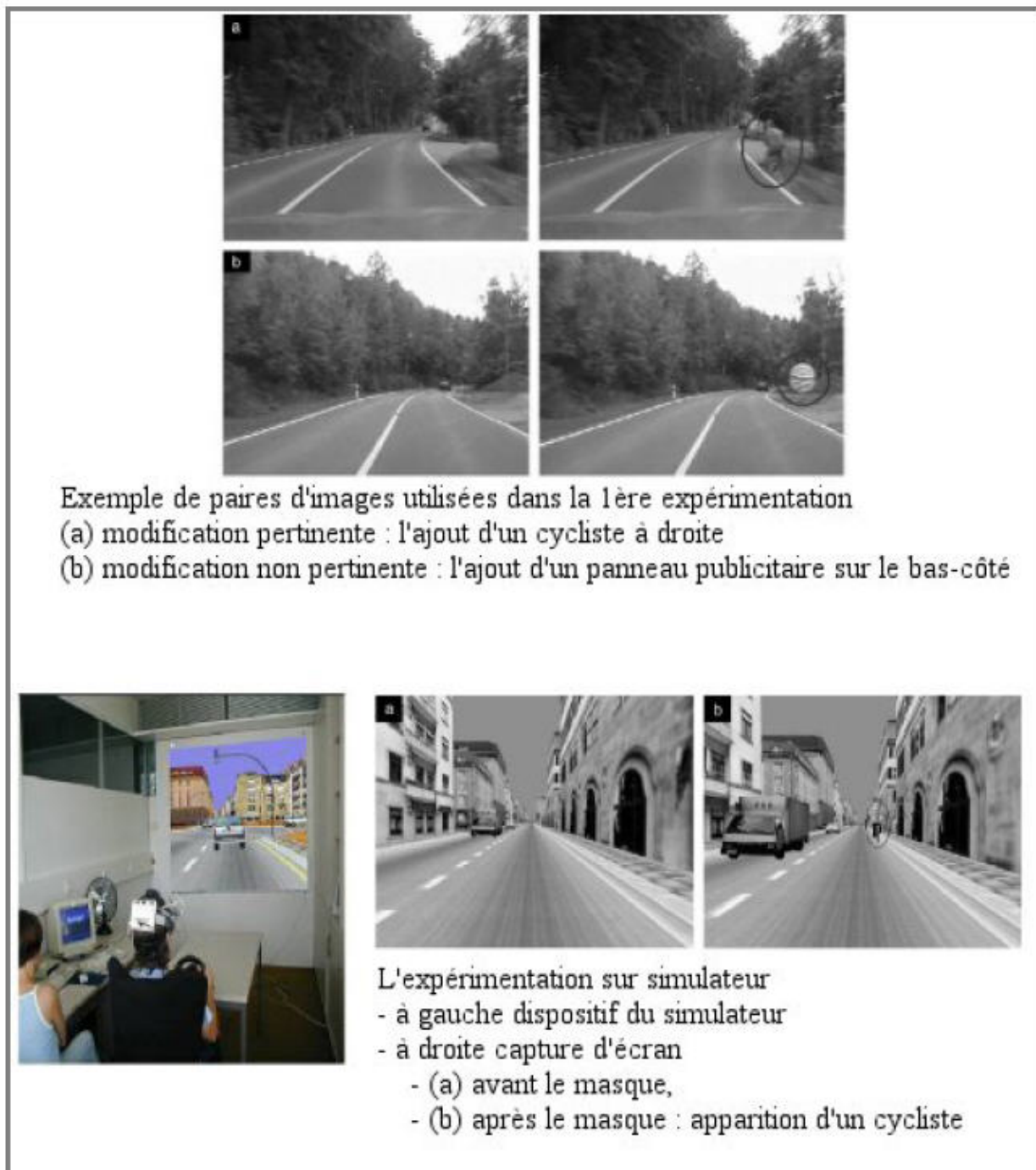
En tenant compte de cette lacune, cette méthodologie a été appliquée à la conduite par plusieurs auteurs (Batchelder, Rizzo, Vanderleest, & Vecera, 2003; Caird, Edward, Creaser, & Horrey, 2002; Levin & Varakin, 2004; Smyser, Lee, Hoffman, & Betts, 2003; Velichkovsky, Dornhoefer, Kopf, Helmert, & Joos, 2002). D'une part, ces expérimentations n'utilisent que des photographies de scènes routières, de ce fait elles fournissent tout au moins un contexte implicite. D'autre part, les consignes de certaines expérimentations opérationnalisent la recherche d'information des sujets en tant que conducteurs. En effet, la consigne de Caird et al (2002) positionne explicitement les sujets dans une activité de prise de décision en situation de conduite (figure 20). Tout d'abord, avant la présentation de l'image originale un écran indiquait la direction que le conducteur devrait prendre (à gauche, à droite ou tout droit). Ensuite, les éléments modifiés étaient des piétons, des véhicules, des panneaux indicateurs et des feux de signalisations, en d'autres termes des éléments pertinents pour la situation de conduite. Enfin, les sujets devaient décider s'ils pouvaient en toute sécurité prendre la direction indiquée dans l'une et l'autre des deux versions de l'intersection.

De la même manière, Velichkovsky et al (2002) contextualisent la recherche d'information comme celle d'un conducteur automobile puisqu'ils demandent explicitement aux sujets d'essayer de s'imaginer être le conducteur du véhicule. De plus, cette expérimentation n'utilise pas que des scènes routières statiques (ie : photographies) mais également des séquences sur simulateur (figure 21). Cependant, l'objectif de cette étude est de comparer les effets de différents types d'occlusion utilisés (masque, clignotement ou durant une saccade oculaire). C'est pourquoi nous nous contenterons de présenter les méthodologies utilisées.

La première expérimentation, cécité au changement sur photographie de scènes routières, est composée de deux types de détections. (1) des détections de modifications pertinentes (2) des détections de modifications non pertinentes. La seconde expérimentation suit également le principe des paradigmes de cécité au

changement, mais cette fois-ci elle n'utilise pas des scènes statiques mais des séquences dynamiques de simulations de scènes routières (figure 21). En outre, les modifications ne concernent que des insertions d'éléments pertinents pour la situation routière. De plus, le protocole compte autant de masques avec d'une modification que de masques sans modification. Comme précédemment, les sujets doivent appuyer sur un bouton dès qu'ils détectent un changement. Cependant, les résultats présentés pour ces deux protocoles ne détaillent pas les scores de détections en fonction des types de modifications (nature des éléments modifiés et distance de ces éléments). Notons tout de même que les résultats de la première expérimentation permettent de constater que les modifications pertinentes sont mieux détectées et avec un temps de détection plus court que les modifications non pertinentes.

Figure 21: protocole expérimental (Velichkovsky 2002)



Par ailleurs, cette dernière étude utilisant la cécité au changement est plus proche de notre objectif que celles que nous avons pu présenter précédemment. Premièrement, la consigne pousse explicitement le sujet à prendre la position d'un conducteur. Deuxièmement l'utilisation du simulateur, à la place de scènes statiques, permet d'être plus près de la situation réelle de conduite.

En outre, une thèse actuellement en cours dans cette unité de recherche de l'INRETS, encadrée par P. Van Elslande et C. Bastien, porte sur l'analyse des circonstances génératrices d'accident et la réalisation d'expérimentations visant à analyser les processus cognitifs qui les sous-tendent (Le rôle de la "conscience de la situation" dans la prise de décision et les erreurs de conduite, Arnaud KOUSTANAÏ). Le protocole mis en place dans cette étude s'inspire du paradigme expérimental de la cécité au changement.

Nous allons effectivement voir dans la partie suivante que pour analyser les représentations mentales d'un opérateur (dans notre cas le conducteur) il est indispensable que le protocole soit le plus proche possible de la situation réelle de l'activité.

3.5.2 Faire émerger les représentations mentales, la technique du rappel impromptu

Une technique utilisée pour faire émerger les représentations mentales élaborées par l'opérateur en situation doit se rapprocher le plus possible des conditions réelles de la situation. L'une de ces techniques est appelée par Bisseret et al (Bisseret, Sebillotte, & Falzon, 1999, p9, p15) *la technique du rappel impromptu*. Son principe est simple. Au cours de l'exécution d'une tâche, lors d'une interruption inattendue provoquée par l'expérimentateur, il est demandé au sujet de rappeler le plus possible d'informations dont il se souvient sur la situation. Le rappel peut être uniquement verbal (écrit ou oral) ou accompagné de graphismes. Bisseret et al (1999) notent que l'objectif de cette méthode est d'*obtenir le contenu de la représentation, construite et maintenue en mémoire pendant la tâche, et sur laquelle les traitements s'opèrent* (1999, p15). Cette technique nécessite de connaître très bien l'activité étudiée. En effet, les auteurs précisent que les éléments rappelés par les sujets ne peuvent être interprétés en fonction d'une part des éléments rappelables : disponibles au sujet au cours de l'activité, d'autre part par rapport aux objectifs de l'activité. Par ailleurs, selon les auteurs il serait préférable de ne pas prévenir le sujet de l'interruption afin de ne pas modifier ses habitudes. Les auteurs craignent qu'en prévenant les sujets, ces derniers tentent « *d'apprendre* » *la situation au lieu de rester en condition de mémoire incidente* (1999, p21). De ce fait, une limite de cette technique est qu'elle ne serait pas répliquable pour un même sujet. En revanche, l'intérêt de cette méthode est qu'elle peut aussi bien être utilisée en situation réelle, lorsque l'activité le permet (Spérando, 1975), qu'en situation de simulation (Enard, 1968; Sebillotte, 1981, 1982).

A notre connaissance une seule étude a monté un protocole de rappel impromptu mettant les conducteurs en situation réelle de conduite (Sommer et al., 2002). Cependant, le protocole utilisé par Sommer et al (2002) repose sur la même idée : « la technique de gel » et le rappel verbal. Cette expérimentation s'est déroulée en conduite réelle dans le centre ville de Dortmund sur un parcours de 20km. L'expérimentateur demandait tout simplement au sujet de fermer les yeux à 5 moments prédéfinis ! En même temps l'expérimentateur prenait le contrôle du véhicule pour le garer afin de ne pas gêner les autres usagers. Puis, le sujet était soumis à un questionnaire sur la situation au moment où il avait fermé les yeux. La législation allemande est beaucoup plus souple qu'en France, où cette étude serait difficilement envisageable. C'est pourquoi nous avons dû chercher à développer un protocole qui se rapproche le plus possible de la situation réelle de conduite, tout en assurant la sécurité de nos sujets. Dans la première partie du chapitre suivant, nous avons appliqué cette méthodologie, du rappel impromptu, à l'étude des représentations mentales des conducteurs automobiles, notre méthode de rappel était le dessin. Au cours de notre exposé nous verrons que cette méthodologie est très riche mais qu'elle connaît des limites.

Chapitre 4. Élaboration d'un outil d'analyse des représentations mentales du conducteur : OSCAR

Compte tenu des méthodes que nous venons de présenter, de nouvelles pistes méthodologiques ont été explorées. Le protocole que nous avons utilisé dans nos recherches est le fruit d'une série de méthodologies initiée par Bellet (1998) lors de sa thèse, dont la caractéristique commune est d'utiliser la vidéo. La vidéo fut préférée aux photographies pour leur aspect dynamique, caractéristique de l'activité de conduite. Elle fut également préférée aux images de synthèse d'un simulateur de conduite pour leur réalisme et la richesse d'environnement que la vidéo peut retranscrire à moindre coût (matériel et temps).

4.1- Filiation d'OSCAR

C'est dans le cadre de sa thèse sur la modélisation du conducteur que Bellet (1998) a commencé à utiliser la vidéo. En effet, chacune des méthodologies que nous allons décrire permet de capitaliser des connaissances nécessaires à l'évolution du modèle de simulation cognitive du conducteur COSMODRIVE (Bellet 1998, 2003).

4.1.1- Le dessin d'une scène finale de vidéo

Cette expérimentation était l'une des démarches que Bellet a mis en œuvre dans le but d'analyser les représentations mentales des conducteurs sans négliger l'aspect dynamique de l'activité de conduite. Les sujets, installés au volant d'une carcasse de voiture, avaient pour consigne de dessiner, de mémoire, la scène finale de séquences vidéo qui leur étaient diffusées sur un écran de télévision posé sur le capot. En parallèle à nos principales expérimentations nous avons également utilisé la méthode du dessin. De la même manière que décrit précédemment, les sujets avaient pour consigne de dessiner de mémoire la dernière scène d'une séquence vidéo qu'ils venaient de visionner en imaginant qu'ils conduisaient. Les seules différences méthodologiques entre notre expérimentation « dessins » et celle de Bellet sont que nos sujets n'étaient pas installés au volant de la carcasse de voiture et que nous avons joué sur certaines conditions expérimentales. En effet, nos sujets étaient des conducteurs expérimentés ou des jeunes conducteurs et chacun visionnait la moitié des séquences vidéo en simple tâche et l'autre moitié en double tâche. Ces dessins mettent donc en évidence d'une part les effets de l'expérience et d'autre part ceux d'un manque de ressources cognitives ainsi que ces deux effets conjugués.

Les dessins des experts sont plus précis et plus pertinents. La majorité de leurs croquis en simple tâche signale convenablement les déplacements des usagers (véhicules et piétons), les estimations de positions sont relativement fidèles à la réalité et les règles de priorité sont le plus souvent correctes. Ces propriétés manquent souvent aux dessins des novices en simple tâche. En revanche il arrive souvent que ceux-ci représentent des détails non pertinents du point de vue de la conduite. Nous pouvons prendre comme exemple la scène 26 (figure 22). La figure 23 représente le dessin réalisé par un conducteur expérimenté. Il contient toutes les informations pertinentes pour un conducteur. Lorsqu'il commente son dessin, cet expert précise les déplacements des véhicules qui viennent d'en face et signale qu'ils ont également leurs feux au vert.

Figure 22 : scène finale 26



Figure 23 : Dessin Scène finale 26, expert 1 ST

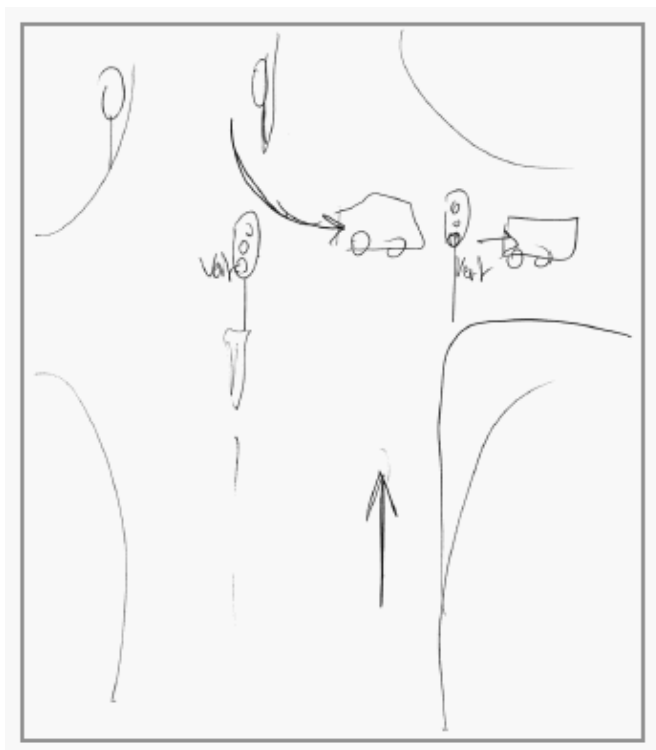
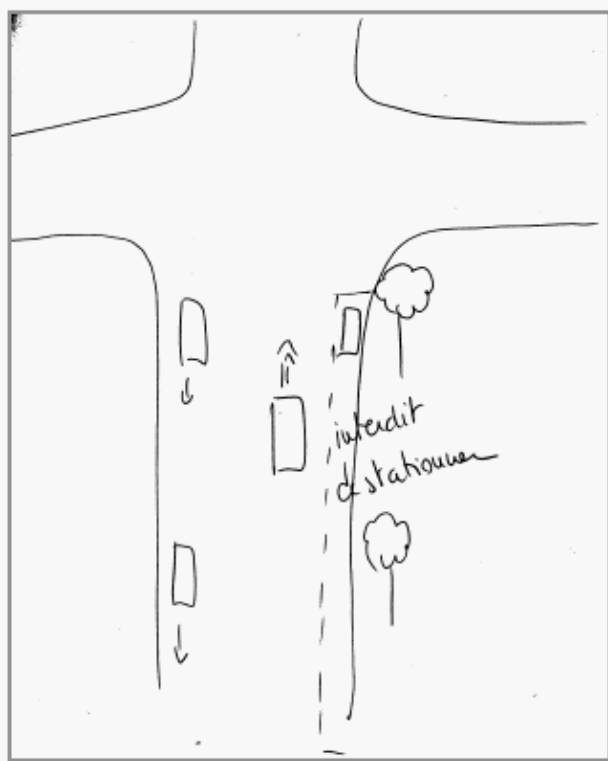


Figure 24 : Dessin Scène finale 26, novice 4 ST



Par contre, la même scène représentée par un novice, peut avoir autant de « grain » mais concernant des éléments de toute autre nature et surtout de moindre importance (figure 24). Lorsque le novice nous expliquait son dessin, nous lui avons demandé s'il savait quelles étaient les règles de priorité de l'intersection. Sa réponse est exemplaire : « *La signalisation ??? je n'ai pas vu... je n'ai pas regardé ça* ». Les dessins et les commentaires de ces deux sujets mettent bien en exergue deux recherches d'informations de nature différente. Le dessin de l'expert est fonctionnel, il retranscrit les éléments de la scène qui lui permettent de prendre ses décisions (signalisation et autres usagers). Ces renseignements sont totalement absents du dessin du novice qui fournit un point de vue plus contemplatif (place de stationnement, arbres, véhicules obsolètes). La superposition de ces deux tracés fournirait un reflet quasi complet de la scène.

De plus, selon les événements que le novice rappelle (les deux véhicules sur la voie de gauche) le TimeCode de la vidéo nous permet d'estimer que son dessin a environ deux-trois secondes de retard par rapport à la fin de la vidéo. En d'autres termes, au même moment, à environ 15m du feu, cet expert et ce novice ne sont pas en train de traiter les mêmes informations de la même situation. Le novice sait qu'il arrive sur une intersection mais il ne s'est pas encore posé la question de savoir comment elle était gérée. Alors que l'expert sait qu'il est prioritaire (temporairement : feu vert) mais que d'autres usagers peuvent venir d'en face pour tourner devant lui. Le retard que nous observons chez le sujet 4 ressort dans plusieurs croquis de novices en simple tâche au détriment d'informations pertinentes qui ne nécessitent pourtant pas d'anticipation. Lorsque l'environnement est moins riche les croquis des novices peuvent tout simplement être plus lacunaires. C'est par exemple le cas de la scène 1 (figure 25). L'absence de signalisation sur les priorités et la dynamique du véhicule qui vient de traverser indiquent au conducteur qu'il n'est pas prioritaire. Le dessin de l'expert (figure 26) retranscrit très bien cette réalité. Si nous comparons son dessin à celui d'un novice (figure 27) nous remarquons à nouveau que l'expérience permet une analyse globale de la situation. En effet, le novice ne savait plus de quel type d'intersection il s'agissait. Ses points d'interrogation en face et à gauche matérialisent qu'il ne savait pas s'il y avait des rues. Il semble être resté « bloqué » sur l'arrivée du véhicule à droite. D'ailleurs la position qu'il lui donne est antérieure à la scène finale. Sur la vidéo, ce véhicule est visible 4 secondes avant la fin de la vidéo. En outre, ce novice n'est pas certain de la trajectoire de ce véhicule qui, comme le dessine l'expert, a terminé de traverser l'intersection à l'arrêt de la vidéo. De la même manière que le novice précédent, ce novice ne connaît pas les règles de priorités qui gèrent cette intersection. Sa compréhension de la situation est donc assez pauvre, il sait que des véhicules peuvent arriver par la droite. L'expert, lui, a bien identifié l'intersection en

croix et la priorité à droite. Il a également analysé convenablement la dynamique de l'autre véhicule.

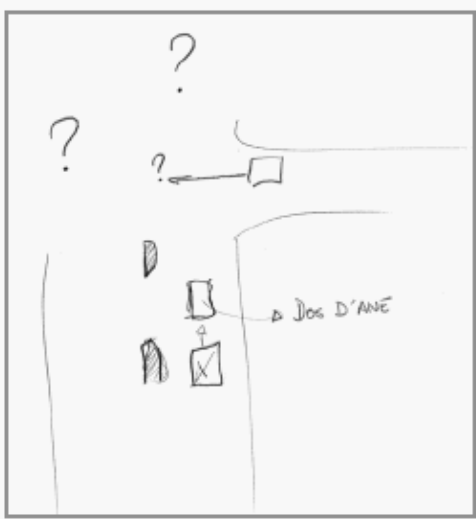
Figure 25 : scène finale 1



Figure 26 : Dessin Scène finale 1, expert 1 ST



Figure 27 : Dessin Scène finale 1, novice 14 ST



En outre, ce lieu était familier de deux de nos sujets. Par chance il s'agit d'un expert et d'un novice ayant tout deux passé cette séquence en double tâche. Le dessin de l'expert (figure 28), semble apparemment faux puisqu'il s'estime prioritaire en posant une balise sur la voie de droite. En fin de compte, ce croquis nous renseigne sur le rôle des connaissances de lieux. Ni la séquence vidéo, ni les événements de la situation, ni l'image finale ne permettent de voir cette balise et pourtant il a raison ! Le novice familier de cet endroit dessine lui aussi la balise (figure 29). Cependant sa connaissance ne comble pas ses difficultés liées au manque d'expérience. Comme le novice précédent il ne positionne pas le véhicule au bon endroit. En plus, il s'interroge sur la présence d'un véhicule qui arriverait en face, sans doute confondu avec ceux qui stationnent sur le bas côté. On voit aussi que les deux novices et l'expert familier du lieu symbolisent le dos d'âne. Nous pouvons alors nous demander si ce détail provient du même processus pour le novice qui ne connaît pas cette intersection que pour les deux sujets familiers de ce lieu. Pour les sujets familiers, ce détail d'infrastructure pourrait relever de l'activation de leur connaissance « à cette intersection je suis prioritaire mais je dois ralentir car il y a un dos d'âne ». Il aurait fallu que nos sujets soient plus souvent familiers de nos séquences pour approfondir cette question. Toutefois, compte tenu de ce qui est visible dans la vidéo le dessin 4 (expert ST) est le plus fonctionnel pour la situation. En revanche si on se réfère à la situation réelle, c'est le dessin 5, réalisé par un expert familier des lieux mais en double tâche, qui est le plus fidèle à la situation. Familiers des lieux ou non, les deux novices ont, une fois de plus, mal reporté la position du véhicule traversant l'intersection. Il semblerait donc que la dynamique des événements soit plus difficile à analyser pour les sujets qui ont moins d'expérience. Ces exemples sont loin de représenter des cas particuliers. Nous avons déjà noté pour la scène 26 que le novice 4 (figure 23) était en retard par rapport au déroulement global de la situation. Ici, les deux novices sont en retard sur le déplacement de l'unique événement de la situation. Dans les deux séquences, les indices ne font pourtant pas appel à des capacités d'anticipation puisque nous sommes dans les deux cas proches de l'intersection. Les novices sont juste en décalage. Parfois cet écart peut être double : à la fois sur la pertinence des éléments appréciés et sur la dynamique globale de la situation ou uniquement sur le mouvement des éléments de la situation.

Figure 28: Dessin Scène finale 1, expert 8 DT (lieu familier)

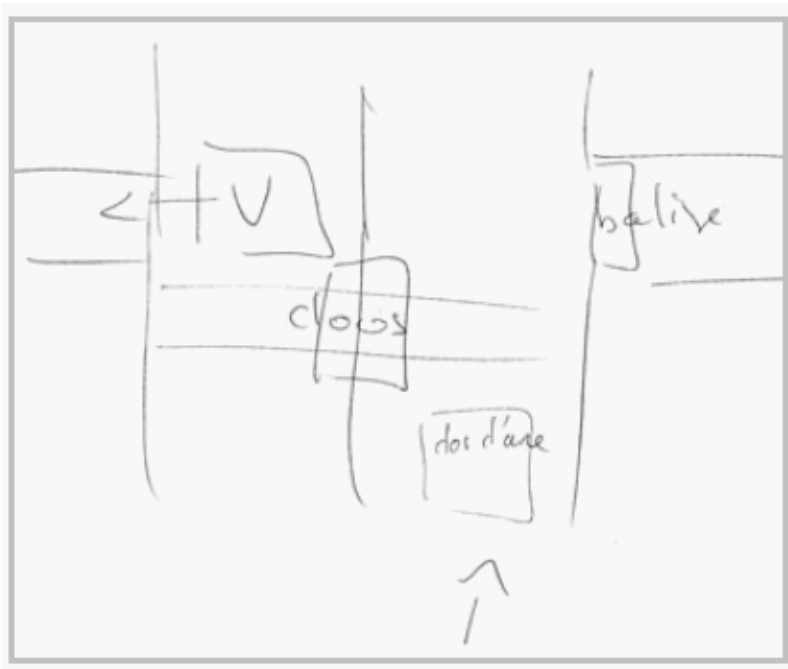
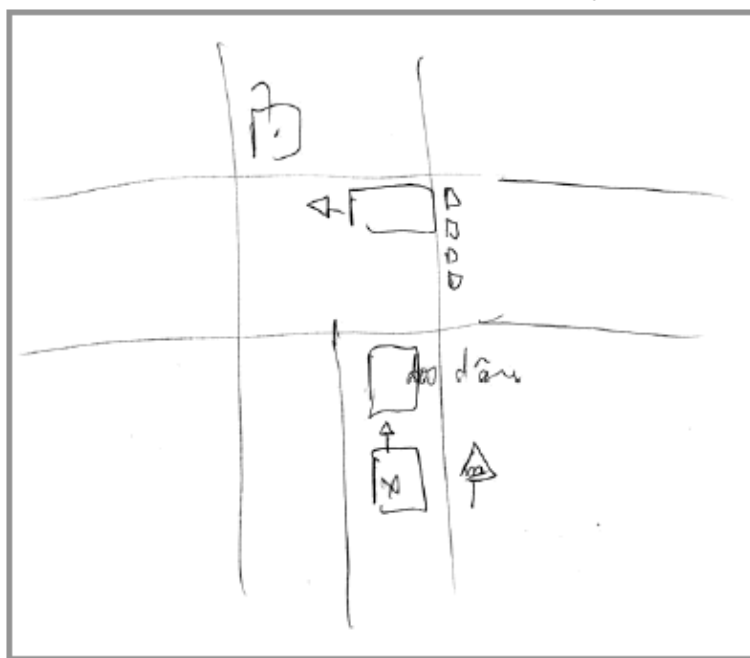


Figure 29 : Dessin scène finale 1, novice 7 DT (lieu familier)

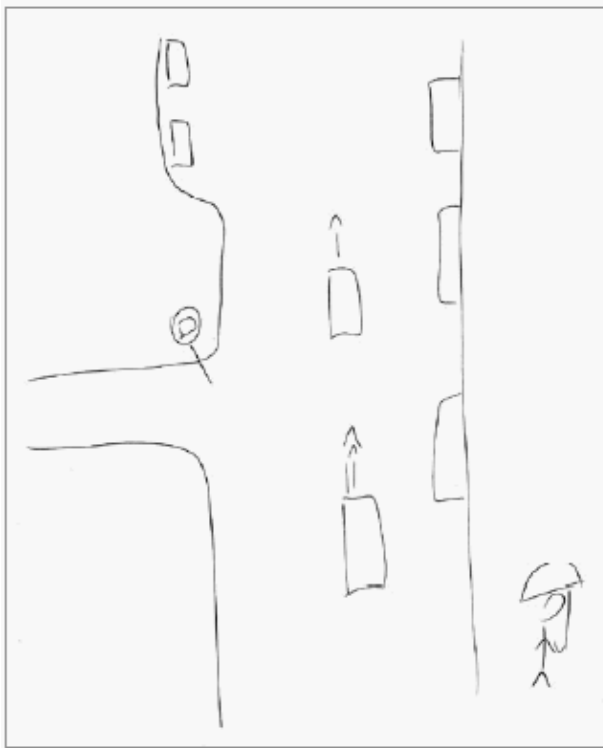


Nous pouvons alors nous demander comment se débrouillent les novices lorsqu'il s'agit d'anticiper des éléments vraiment lointains. Les différences experts/novices devraient être d'autant plus importantes. La séquence 27 (figure 30) est un bon exemple pour cette capacité d'anticipation spécifique aux experts. La seconde voiture devant nous a son clignotant droit allumé pendant les 3 dernières secondes de la vidéo. Détecter cet indice laisse présager soit que ce véhicule prévoit de se garer, ce qui provoquera un ralentissement, soit qu'il envisage de tourner à droite ce qui indique l'arrivée sur une intersection. Dans les deux cas, cette information est pertinente. Sur nos quatre experts en simple tâche, trois symbolisent d'une manière ou d'une autre l'intersection devant eux (clignotant ou intersection ou les deux éléments). En revanche, aucun croquis de novices ne suggère l'un de ces éléments. Ici encore, le tracé du novice 4 est très caricatural des conducteurs non expérimentés (figure 31).

Figure 30 : Scène finale 27



Figure 31 : Dessin Scène finale 27, novice 4 ST



Rappelons que notre consigne était de dessiner tout ce dont le sujet se souvenait avoir vu d'important, en tant que conducteur, au moment où la vidéo s'arrêtait. La figure 31 est de ce point de vue insolite. Comme les dessins des autres novices, il ne représente pas l'avant de la scène. Par ailleurs, ce croquis est une sorte de condensé de la séquence vidéo. Effectivement, la position qu'il s'attribue en se situant juste avant la rue à gauche, en sens interdit, intervient 4 secondes avant la fin de la vidéo. Ce qui témoigne d'un certain retard par rapport au déroulement global de la situation. Plus surprenant encore, le piéton sur le trottoir de gauche n'est visible que durant quelques images se situant tout au début de la séquence. De plus, même à ce moment là, il n'apporte pas d'information cruciale pour le conducteur puisqu'il est paisiblement adossé à un abri de bus sur le trottoir. Les informations que détient ce novice ne sont pas ou plus pertinentes par rapport à la situation courante. Face à de tels écarts entre les représentations graphiques de nos deux populations nous attendions qu'ils soient accentués par la double tâche. Si nous conservons la scène 27 comme exemple, mais que nous observons les dessins produits en double tâche, nous comptons toujours 3 experts sur 4 qui symbolisent l'intersection (figure 32). Chez les novices, contrairement à la condition simple tâche, un sujet représente

l'intersection Bien que ce sujet porte toutes les caractéristiques de sa catégorie (titulaire du permis, ne possédant pas de véhicule personnel et conduisant rarement), nous pensons qu'un biais expérimental le concerne. Il s'agissait d'une stagiaire en DESS d'ergonomie du LESCOT arrivée depuis quelques temps au laboratoire. Au moment de l'expérimentation sa connaissance de notre travail était donc nulle. Cependant, nous avons appris plus tard qu'au cours de son cursus universitaire elle avait suivi des cours abordant des questions proches de notre problématique. Les croquis qu'elle produisait étaient donc assez hybrides ; proposant à la fois des éléments relevant d'un regard d'expert et d'une position d'observateur-passager. Pour les autres novices, par rapport aux productions de ce groupe en simple tâche, les croquis sont encore plus limités. Autant les novices en ST rappelaient des informations antérieures à la scène finale autant ils produisent des images pauvres en double tâche (figure 33). Cependant, détecter l'intersection nécessitait des capacités d'anticipation, cette scène n'était donc pas des plus faciles déjà en simple tâche pour les conducteurs non-expérimentés.

Figure 32 : Dessin Scène finale 27, expert 12 DT

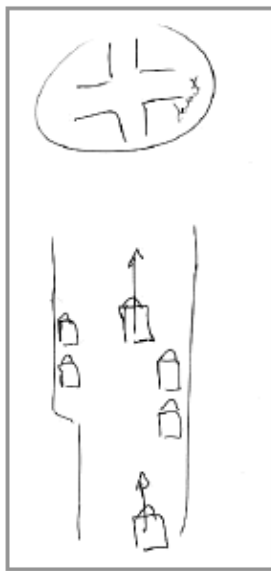


Figure 33 : Dessin Scène finale 27, novice 9 DT



Par contre, la scène 7 (figure 34) illustre bien le cumul « expérience + manque de ressources cognitives » pour une situation plus simple. Elle s'achève en approche d'intersection, en croix, à plus de 50m. La majorité des dessins réalisés en simple tâche par tous les sujets représente le feu et indique sa couleur (vert). Les

différences entre les deux populations portent alors sur la nature des éléments rappelés, et sur la mise en scène d'éléments déjà passés par les novices. En revanche, en double tâche des différences significatives apparaissent, les novices ne représentent plus systématiquement le feu et sa couleur n'est plus une information certaine. L'expert (figure 36) ne représente plus que le strict nécessaire de la situation : l'arrivée sur une intersection à feu qui est vert. Sa représentation est très lacunaire, uniquement le côté droit de la scène, mais très fonctionnelle. En revanche, le novice (figure 35) dessine un passage piéton qu'il a passé quelques secondes auparavant et n'est pas sûr d'arriver sur une intersection en T (ie : point d'interrogation).

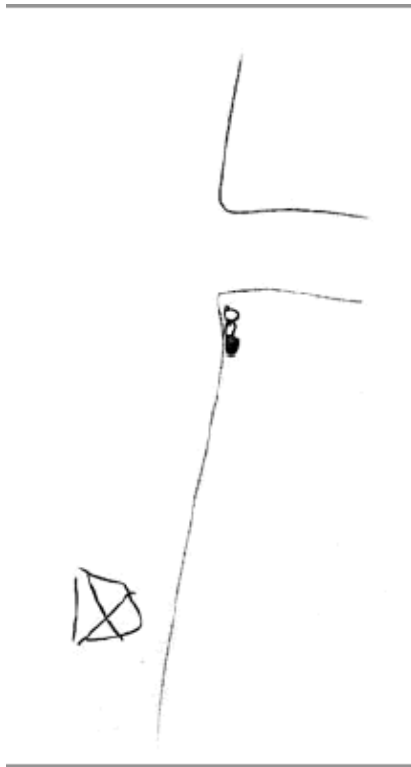
Figure 34 : Scène finale originale 7



Figure 35 : Dessin Scène finale 7, novice 4 D



Figure 36 : Dessin Scène finale 7, expert 15 DT



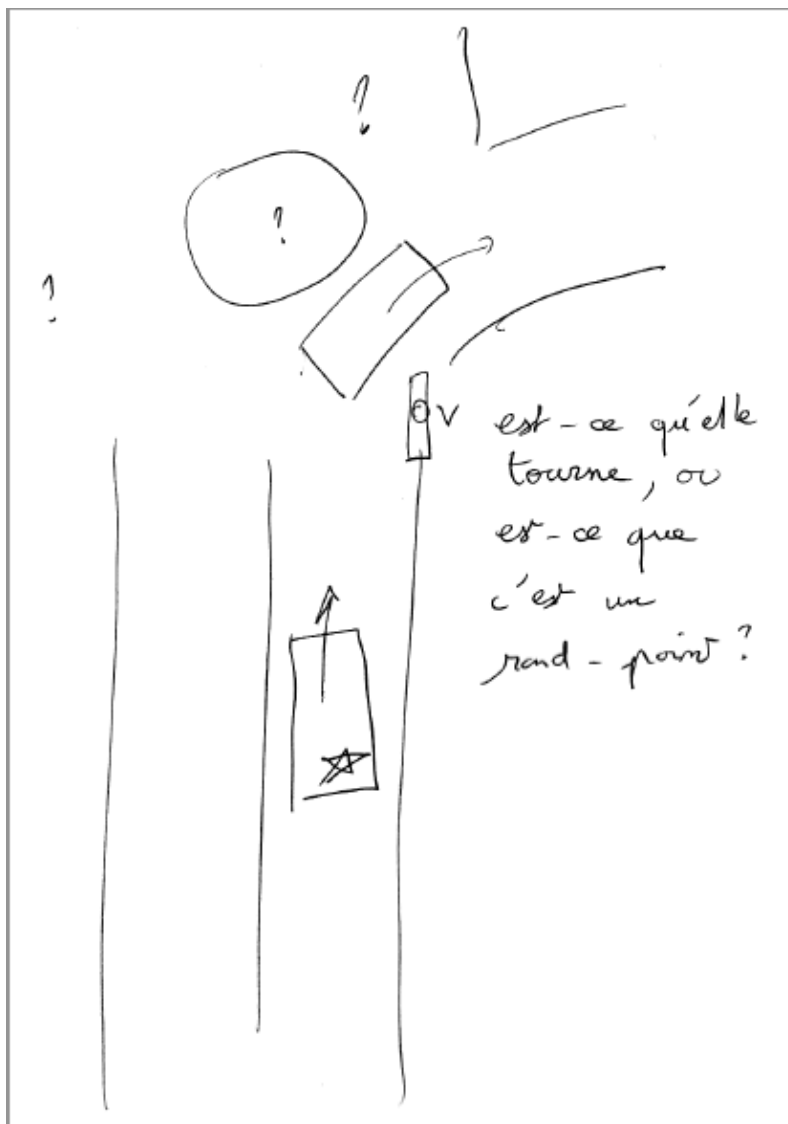
Ces croquis, de la scène 7, suggèrent que malgré une diminution de leurs ressources cognitives l'expérience permet aux conducteurs de se focaliser sur les points importants de la situation. Pour une situation qui nécessite des capacités relatives à l'expérience de conduite, telle que l'anticipation (scène 27, figure 30), nous avons noté que les conducteurs novices ne matérialisent pas les éléments pertinents rappelés par les experts. Qu'en est-il d'une situation qui met en jeu, pour le conducteur, plusieurs éléments pertinents pouvant entrer en concurrence. En règle générale, il est possible de classer ces informations selon un ordre de priorité. Cet ordre peut-être régi par la dynamique de la situation, c'est-à-dire la synchronisation d'arrivée sur les éléments. Mais ce déroulement peut être remis en cause selon l'importance de l'information donnée par tel ou tel élément. Aussi, ce peut être le danger représenté par un élément qui prime sur le reste de la situation. Experts et novices procèdent-ils au même ordonnancement ? L'utilisation de ressources cognitives pour une seconde activité influe-t-elle sur cet ordre de priorité ? L'expérience permet-elle toujours de pallier un manque de ressources cognitives ?

Les scènes 16 et 19 sont des scènes où au moins deux informations sont pertinentes (figure 37 & 39). Pour la séquence 16, hormis le feu tricolore, le conducteur doit savoir qu'il ne peut pas aller tout droit comme l'indiquent les flèches au sol. Enfin la situation 19 présente comme la 16 deux informations de même nature, mais il s'agit de deux événements. Un piéton engagé sur notre gauche de manière risquée (et déterminée !), plus loin une voiture débouche d'une rue à droite indiquant que nous approchons d'une intersection. Mais le piéton présente un caractère d'urgence indéniable. Les dessins réalisés par les sujets, pour ces scènes, peuvent-ils nous fournir des pistes de réponses à nos questions ?

Figure 37 : Scène finale 16



Figure 38: Dessin Scène finale 16, expert 5 DT



En simple tâche, les quatre experts représentent quasiment à l'identique, les uns des autres, la scène 16. Ils ont matérialisé les deux objets qui nous intéressent. Pour la même condition expérimentale, un seul novice parvient à ce résultat. C'est le marquage au sol qui pose problème à ces sujets, ils n'ont pas vu qu'ils ne

pouvaient pas aller tout droit. En double tâche, seulement deux experts dessinent convenablement cette situation tout en ayant des doutes sur l'interdiction d'aller tout droit, un troisième expert remplace le feu par une balise de cédez le passage. Enfin, la figure 38, nous prouve que la double tâche peut altérer la compréhension d'un conducteur expérimenté. Ce croquis fait penser à celui d'un novice : incertitude sur l'infrastructure globale, manque d'information pertinente. Les croquis de cette scène des novices en double tâche ne sont pas très différents de leurs pairs en simple tâche : c'est aussi l'interdiction d'aller tout droit qui n'a pas été comprise. On ne peut donc pas dire que les dessins réalisés par les novices sont moins "bons" en double tâche, par contre cela ne fait aucun doute pour les experts. Il semblerait donc que la capacité des experts à élaborer une représentation globale et fonctionnelle de la scène peut être altérée par la diminution de leurs ressources cognitives.

Par ailleurs, la scène 19 (figure 39) qui mettait en scène deux événements ne fait pas ressortir la même tendance. En simple tâche uniquement la moitié des experts dessine le piéton et la voiture, l'autre moitié ne représente que la voiture. En double tâche, trois experts représentent les deux éléments, le quatrième ne dessine que le piéton. Tous les conducteurs expérimentés dessinent donc le piéton. En simple tâche, les novices font comme les experts : 50% dessinent les deux éléments et 50% ne dessinent que la voiture (la trajectoire n'est juste que pour l'un d'entre eux). En double tâche, il n'y a toujours que trois novices qui dessinent les deux éléments. En revanche l'un des deux autres ne dessine que le piéton et l'autre que la voiture. Nos échantillons sont trop petits pour tirer des conclusions mais il semblerait que la double tâche influe, quelque soit l'expérience, sur la priorité donnée aux événements de cette situation. De ce fait, pour cette situation, les dessins d'experts ou de novices en double tâche se ressemblent (figure 40 & 41). En vue des dessins de la scène 16 et de la scène 19, il semble qu'un manque de ressources cognitives n'influe pas de la même manière sur l'analyse d'éléments selon qu'ils soient des événements ou de la signalisation, dynamiques ou statiques.

Figure 39 : Scène finale 19



Figure 40 : Dessin Scène finale 19, expert 11 DT

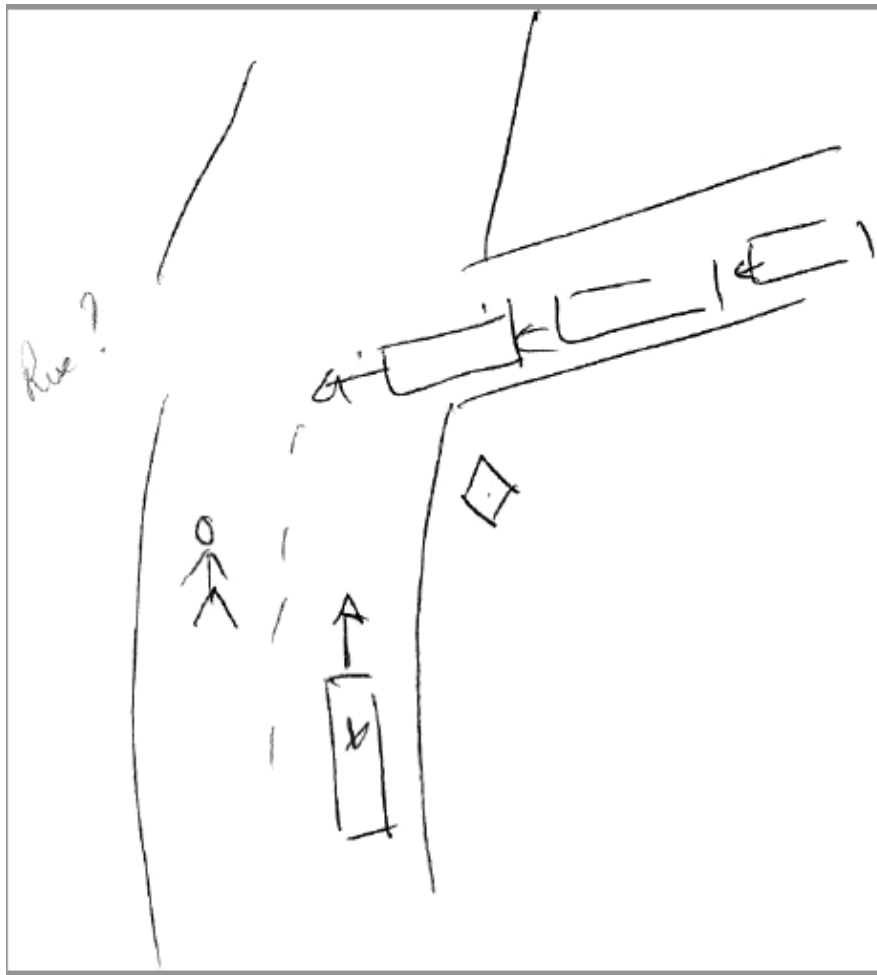
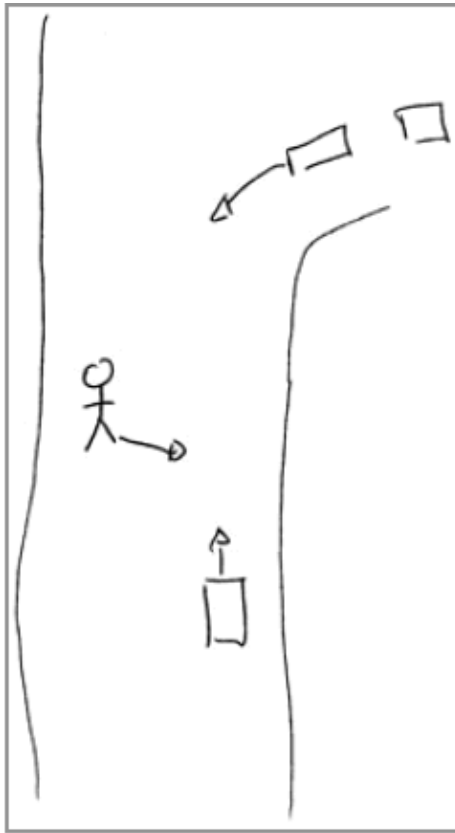


Figure 41: Dessin Scène finale 19, novice 13 DT



Parmi les 640 dessins récoltés (16 sujets x 40 scènes), nous avons choisi de présenter les caricatures d'experts et de novices. Ces croquis mettent en évidence des tendances spécifiques des deux catégories de sujets que nous avons choisi d'étudier. Les tracés des experts font ressortir avant tout des éléments fonctionnels alors que les novices ont plus tendance à dessiner des éléments du décor. Les schémas des conducteurs expérimentés soulignent leur capacité d'anticipation qui peut résister à une diminution des ressources cognitives. En revanche, le manque d'expérience ne permet pas à nos novices cette recherche d'information en avant, les éléments obsolètes de leur croquis en témoignent souvent. Pour les moins expérimentés d'entre eux (le sujet 4 par exemple) la double tâche accentue ce trait. Enfin, les dernières scènes que nous avons présentées montrent qu'événements et signalisation ne sont égaux ni devant l'expérience, ni devant la diminution des ressources cognitives.

Ces conclusions ne sont pas originales, mais il est intéressant de constater que ce protocole, en laboratoire, permet de les mettre en évidence. Malgré cela cette méthode présente des limites.

Premièrement le temps de passation pour le sujet (environ 1h30 pour les 40 séquences vidéos). Cela risque donc d'introduire un biais de lassitude ou de fatigue, d'autant plus que nous terminons par la double tâche. Aussi, le temps nécessaire au tracé de chaque dessin, conduit certainement les sujets à oublier des éléments au fur et à mesure qu'ils dessinent, ou à volontairement ne pas tout retranscrire pour ne pas prendre trop de temps. Cependant, la durée de l'expérimentation n'est pas une contrainte insurmontable. Il est possible d'aménager des petites pauses et surtout il est impératif de prévenir les sujets lors de leur recrutement du temps qu'ils devront nous accorder.

Deuxièmement, le temps de dépouillement pour l'expérimentateur peut être infini ! L'hétérogénéité des croquis récoltés nécessite que l'expérimentateur ait défini, au préalable, pour chaque situation les éléments pertinents qu'ils jugent indispensables à une représentation fonctionnelle de la situation (ie : qui assure des prises de décisions sécuritaires par le conducteur). En effet, nous avons pu nous rendre compte que l'analyse des dessins est une tâche fastidieuse, voire interminable. Les échantillons que nous venons de présenter prouvent la richesse du matériel que nous récupérons. Mais, ces croquis sont difficilement quantifiables. En

effet, les dessins que nous venons de présenter sont souvent les deux extrêmes que nous avons pu observer entre nos catégories de sujets. Une analyse, intra-groupe ou inter-groupe, plus globale devient plus ardue. Trois dessins d'experts représentant la même scène peuvent être autant opératifs les uns que les autres tout en étant assez différents globalement. Cette hétérogénéité est encore plus flagrante pour les dessins des novices. Les données traitables sont également de natures si variées qu'une analyse globale de ces dessins serait très réductrice de leur potentiel informatif. C'est pourquoi nous avons préféré nous contenter d'un regard au cas par cas sur chaque dessin. Cet empirisme nous a néanmoins permis de mettre en exergue de grandes tendances spécifiques à chacune de nos catégories de sujets ainsi que pour nos deux conditions expérimentales.

La dernière limite est que nous ne sommes pas tous égaux un crayon en main. Par conséquent certains sujets ont eu du mal à se mettre à dessiner, à oser. Mais dans notre cas, la richesse de l'environnement de conduite et la vitesse de défilement de l'image (arrêt de la vidéo sans fondu) rendaient impératif le fait que les sujets dessinent rapidement dès la fin de la vidéo pour ne pas oublier. Lors de l'énoncé des consignes nous avons insisté sur cette contrainte. De plus, les sujets qui commençaient par nous décrire verbalement la scène ont rapidement vérifié dès les premières séquences qu'ils n'arrivaient plus à dessiner s'ils tardaient trop à le faire.

Afin de pallier ces contraintes, les objectifs et les consignes du protocole ultérieur (Fieux 2000) ont été restreints. Cette expérimentation mérite d'être détaillée car elle a été déterminante pour l'élaboration d'OSCAR.

4.1.2- Des consignes de dessin plus restreintes

Ce protocole visait à étudier en continu, tout au long de la phase d'approche d'intersection, l'activité du processus de catégorisation de la situation de conduite (indices pris en compte, raisonnement mis en œuvre), ainsi que l'évolution dynamique de la représentation mentale que se fait le conducteur de la situation. La méthodologie mise en œuvre se déroulait en plusieurs étapes, alliait dessins et catégorisation de photographies.

- le film commençait par une image gelée, durant laquelle le sujet dessinait, tout en commentant, ce qu'il observait de la scène routière présentée.
- Le film était relancé et le sujet avait pour consigne d'arrêter la vidéo à l'aide d'une télécommande dès qu'il avait détecté des indices lui laissant présager l'approche d'une intersection. Le sujet devait alors dessiner, de mémoire, sans regarder l'écran, la scène à l'écran.
- Le film était à nouveau relancé et le sujet devait à nouveau l'arrêter lorsqu'il avait une idée précise de l'intersection sur laquelle il arrivait, ainsi que sur les événements qui se passaient et sur le comportement à adopter. Après cette nouvelle interruption, le sujet dessinait à nouveau, sans regarder l'écran, la scène routière tout en précisant les nouveaux éléments qu'il avait analysés afin de préciser sa vision du monde. Cette étape pouvait être renouvelée autant de fois que le sujet souhaitait interrompre le film.
- Après l'écran noir de clôture de la séquence, le sujet était à nouveau invité à dessiner, de mémoire, la dernière scène routière qu'il venait de voir.
- Enfin, lorsque toutes les séquences ont été visionnées, les sujets avaient pour consigne de classer 30 photographies extraites du film expérimental (scènes finales ou intersections intermédiaires) tout en décrivant les catégories identifiées et les critères de partition.

Cette méthodologie fut utilisée auprès de 10 sujets répartis équitablement en deux groupes : des conducteurs novices et des conducteurs expérimentés. Pour chaque interruption de film l'expérimentateur récupérait : le moment de l'interruption du film (TimeCode), la distance par rapport à l'entrée dans l'intersection (point kilométrique) et une représentation graphique de la scène routière telle que se la représentait le sujet au moment de l'interruption (critères de détection ou de spécification de l'intersection). Les faibles effectifs et l'hétérogénéité des données recueillies (surtout pour le groupe des conducteurs non-expérimentés) n'ont pas permis un traitement statistique des données. Une analyse qualitative avait donc été préférée afin de mettre en

évidence des tendances propres à ces deux catégories de conducteurs.

Tout d'abord, les TimeCode mettent en évidence une anticipation plus précoce des conducteurs expérimentés, mais aussi une catégorisation plus efficace et plus rapide. C Fieux précise que dans les cas de succession d'intersections, les conducteurs expérimentés commencent à catégoriser la seconde intersection avant même d'avoir franchi la première. Une seconde différence est mise en évidence par les dessins réalisés au cours de cette expérimentation. En fonction de leur niveau d'expertise les sujets n'utilisent pas les mêmes indices pour catégoriser les intersections. Alors que les conducteurs expérimentés privilégient les indices de type événementiel, les conducteurs non expérimentés se basent plus sur les caractéristiques de l'infrastructure. Ce résultat corrobore les critères choisis par les deux populations afin de catégoriser les photographies. En effet, les catégories des conducteurs expérimentés sont fondées sur des critères fonctionnels (ie se référant à l'action : intersections à feux, intersections où je suis prioritaire et intersections où je ne suis pas prioritaire). En revanche pour les conducteurs non expérimentés la classification s'effectuait selon les indices structuraux (intersections à feux, intersections avec rue à droite *ou* rue à gauche, et intersection avec rue à droite *et* rue à gauche).

Le fait que la littérature ait déjà mis en évidence ces deux grandes distinctions conducteurs expérimentés vs non-expérimentés atteste d'une relative bonne valeur écologique à ce protocole expérimental. Ce sont d'une part, les bases de cette expérimentation (l'utilisation de la vidéo) et d'autre part, ces principaux résultats qui ont servi de base à l'élaboration d'OSCAR. Par ailleurs, les difficultés rencontrées par C Fieux ont également été prises en compte. Une fois de plus, la plus grande limite de ce protocole était la difficulté d'analyse des dessins recueillis. L'idée fondatrice d'OSCAR était donc d'arriver à élaborer un protocole où les sujets ne dessineraient pas, mais qui nous permettrait tout de même d'analyser la qualité et le contenu de leur représentation mentale.

4.2- Présentation d'OSCAR

Ces points forts et ces limites ont permis de définir de nouveaux objectifs méthodologiques. L'idée était de conserver l'écologie du protocole précédent mais de recueillir des données plus facilement quantifiables. Aussi, notre objectif n'était pas d'étudier le processus de catégorisation des situations mais d'analyser le contenu des représentations mentales des conducteurs à un moment t sans toutefois perdre de vue le dynamisme de la situation. Si l'utilisation de la vidéo n'a pas donc pas été remise en cause, la méthode et le mode de recueil de données ont été modifiés. Par ailleurs, nous souhaitons également alléger la tâche des sujets d'une part, en réduisant le temps de passation et d'autre part, en offrant un mode de réponse moins coûteux que le dessin. Cependant, les données recueillies lors de l'expérimentation de C Fieux ont été une amorce à l'élaboration d'OSCAR. Ces dessins nous ont permis d'identifier à partir de quel moment tel ou tel indice avait été détecté soit par des conducteurs expérimentés, soit par des conducteurs non expérimentés. A partir de ces résultats, sur des éléments de la scène pertinents en situation de recherche d'intersection, nous avons décidé de « jouer » sur la détection des éléments que nous jugions pertinents compte tenu de chaque situation. Le principe sous-jacent était que si nous modifions un élément pertinent (pour une situation donnée) de la scène finale, un sujet qui aurait élaboré une représentation mentale adéquate au réel détecterait notre modification. A l'inverse, la non détection de nos modifications indiquerait une représentation mentale erronée.

4.2.1- Le matériel

Les prises de vue ont toutes été filmées à bord du véhicule expérimental du LESCOT. La caméra positionnée sur le tableau de bord permet de rendre le point de vue qu'aurait le conducteur du véhicule. Les nouvelles prises de vue ont été effectuées avec le même matériel et les mêmes réglages que celles du protocole précédent (C. Fieux). Les séquences vidéo d'OSCAR sont les mêmes que celles utilisées lors de l'expérimentation « dessin » que nous avons présentée plus haut. Cependant, l'étude « dessin » a été réalisée

après l'élaboration d'OSCAR, nous ne disposions donc pas des dessins des sujets lorsque nous devions choisir les scènes ou décider des modifications à effectuer.

4.2.1.1- le choix des séquences

La fin de ces séquences existantes a été choisie à la fois en fonction des TimeCode de détections des intersections (ie : données de C. Fieux) et de la dynamique de la situation associée aux modifications que nous envisagions. En outre, les données recueillies par C. Fieux nous ont fourni une sorte de guide pour les nouvelles séquences sur lesquelles nous n'avions aucune donnée. Cependant, deux contraintes « matérielles » ont également guidé le choix des séquences qui devaient constituer OSCAR. Premièrement, nous désirions que l'image finale ne soit pas en plein virage. Deuxièmement, il fallait que la qualité de l'image finale soit suffisamment bonne, et que nous soyons sûrs que l'élément que nous allions modifier soit suffisamment perceptible au moment où l'on choisissait de couper la séquence. Enfin, nous conservions notre logique « méthodologique » : si l'élément que nous allons modifier n'est pas intégré dans la représentation mentale de la situation, cette dernière sera en conflit avec la situation réelle et donc en désaccord avec les décisions qu'un conducteur devrait prendre.

Figure 42 : Scène finale modifiée 35



Figure 43: Scène finale modifiée 22



L'élément à modifier devait impérativement avoir un caractère opératif pour la situation. La scène 35, (figure 42), illustre très bien cette démarche. La situation originale ne pose pas de problème en soi, si ce n'est qu'un

conducteur devra se méfier du bus lorsqu'il voudra quitter son arrêt. L'ajout d'un piéton déjà engagé sur la chaussée change considérablement l'action du conducteur, qui devrait alors s'arrêter pour le laisser traverser. Il en est de même lorsque nous avons décidé, en approche d'intersection, de modifier les règles de priorité en vigueur.

La situation 22 met en scène une intersection en croix, classique, où nous sommes prioritaires. En revanche, le véhicule qui arrive à droite devient prioritaire une fois que nous avons supprimé son cédez le passage (figure 43).

Dans de nombreux cas, plusieurs éléments pertinents auraient pu être modifiés pour une même situation. Compte tenu du caractère exploratoire d'OSCAR nous avons préféré, dans un premier temps, ne modifier qu'un seul élément de la scène. Dans les cas, où nous examinons un potentiel conflit entre deux éléments opératifs de la scène, notre choix a été déterminé par la vue d'ensemble de la situation dynamique. Dans tous les cas ces modifications impliquent des hypothèses propres aux situations. Pour la scène 19 (figure 39, p121), nous avons jugé que le piéton qui s'engage à gauche aurait été analysé par la majorité des conducteurs. Nous avons alors fait l'hypothèse que selon l'expérience des sujets, ou bien selon les ressources cognitives dont ils disposeraient certains d'entre eux pourraient rester focalisés sur le piéton (risque immédiat), délaissant ainsi la voiture de droite indiquant une intersection. Nous avons donc choisi de supprimer ce véhicule afin de vérifier cette hypothèse de concurrence.

Figure 44: Scène finale originale 31



De même, pour la scène 31 (figure 44) nous avons 3 informations pertinentes mais de nature différente : deux événements, le piéton qui achève de traverser, et un à gauche qui s'apprête à s'engager mais encore sur le trottoir (à peine visible sur la scène finale) et un élément d'infrastructure, le feu qui passe à l'orange. Dans ce cas, nous n'avons pas choisi de modifier le piéton de droite. En effet, dans la dynamique de la situation il est visible dès le début de sa traversée et représente donc un centre de focalisation important. Notre hypothèse est plus facilement formulable en question : « est-ce que les sujets vont voir le feu passer à l'orange ? ». Comme pour la séquence 22 (figure 43) notre modification (ie : suppression du feu) induit un changement dans la prise de décision du conducteur. Le piéton finissant de traverser la chaussée, ne représente plus de risque, celui qui commence de traverser n'en représente pas encore si le conducteur sait qu'il se présente sur une intersection à feux dont la couleur courante est l'orange.

4.2.1.2 Les modifications

Comme nous venons de le voir, les objets modifiés pouvaient être de deux natures (ie : événement ou signalisation). Cette distinction est fondée sur les résultats expérimentaux de C Fieux mettant en évidence que

les conducteurs expérimentés privilégiaient les indices de type événementiel alors que les conducteurs non expérimentés se focalisaient plus sur l'infrastructure. Les modifications de nature événements concernaient : les piétons, les vélos, et les voitures. Tandis que les modifications de nature infrastructure, plus précisément de signalisation, regroupent les panneaux, les marquages au sol et les feux tricolores.

Une exception a été faite en ce qui concerne trois séquences (n°9, n°26 et n°38) où nous avons choisi de changer la couleur d'un feu (figure 45). Le caractère dynamique des feux tricolores et de notre modification (changement de couleur versus ajout d'un feu ou suppression d'un feu existant) nous a conduit à classer ces trois transformations en événement plutôt qu'en signalisation.

Figure 45 : Scène finale originale 26



Figure 46 : Scènes finales pour les 4 zones



image originale scène 33, moins de 15 mètres



image originale scène 32, entre 25 & 50 mètre



image originale scène 9, entre 15 & 25 mètre



image modifiée scène 30, plus de 50 mètres

Enfin, l'élément modifié pouvait se trouver plus ou moins loin dans la scène. Grâce au point kilométrique disponible sur les bandes vidéo originales il nous a été possible de repérer les distances des objets. Les modifications ont été réparties en quatre zones (figure 46) : une zone proche (moins de 15 mètres), deux zones intermédiaires (entre 15 et 25 mètres et entre 25 et 50 mètres) et une zone lointaine (plus de 50 mètres). Ici aussi, les dessins recueillis par C. Fieux nous ont permis pour une partie de nos scènes de savoir à quel moment tel ou tel élément de la scène avait été intégré par les sujets.

Selon ces différents principes, nous avons ainsi retenu quarante-huit séquences de scènes routières urbaines (annexe 6), dont une quinzaine provient du film expérimental de C Fieux. La durée moyenne des séquences est de 25 secondes (de 8 à 39 sec). Afin de permettre aux sujets de s'habituer au protocole huit séquences ont servi de pré-test. Parmi elles, deux scènes finales n'ont pas été modifiées dans le but d'induire que toutes les scènes ne sont pas forcément modifiées. Nous voulions ainsi offrir plus de latitude aux sujets en ne le contraignant pas à rechercher forcément des changements. Les 40 scènes qui constituent OSCAR comportent toutes une modification, sauf la scène 20 qui, par erreur technique, en compte deux. Le tableau 5 montre que la répartition des critères de modifications n'est pas parfaitement équilibrée.

Tableau 6: Synthèse des modifications d'OSCAR (sans pré-tests)

<i>Caractéristiques des modifications</i>	<i>Nombre de scènes finales</i>
Sur un élément de signalisation	22
Sur un événement	18

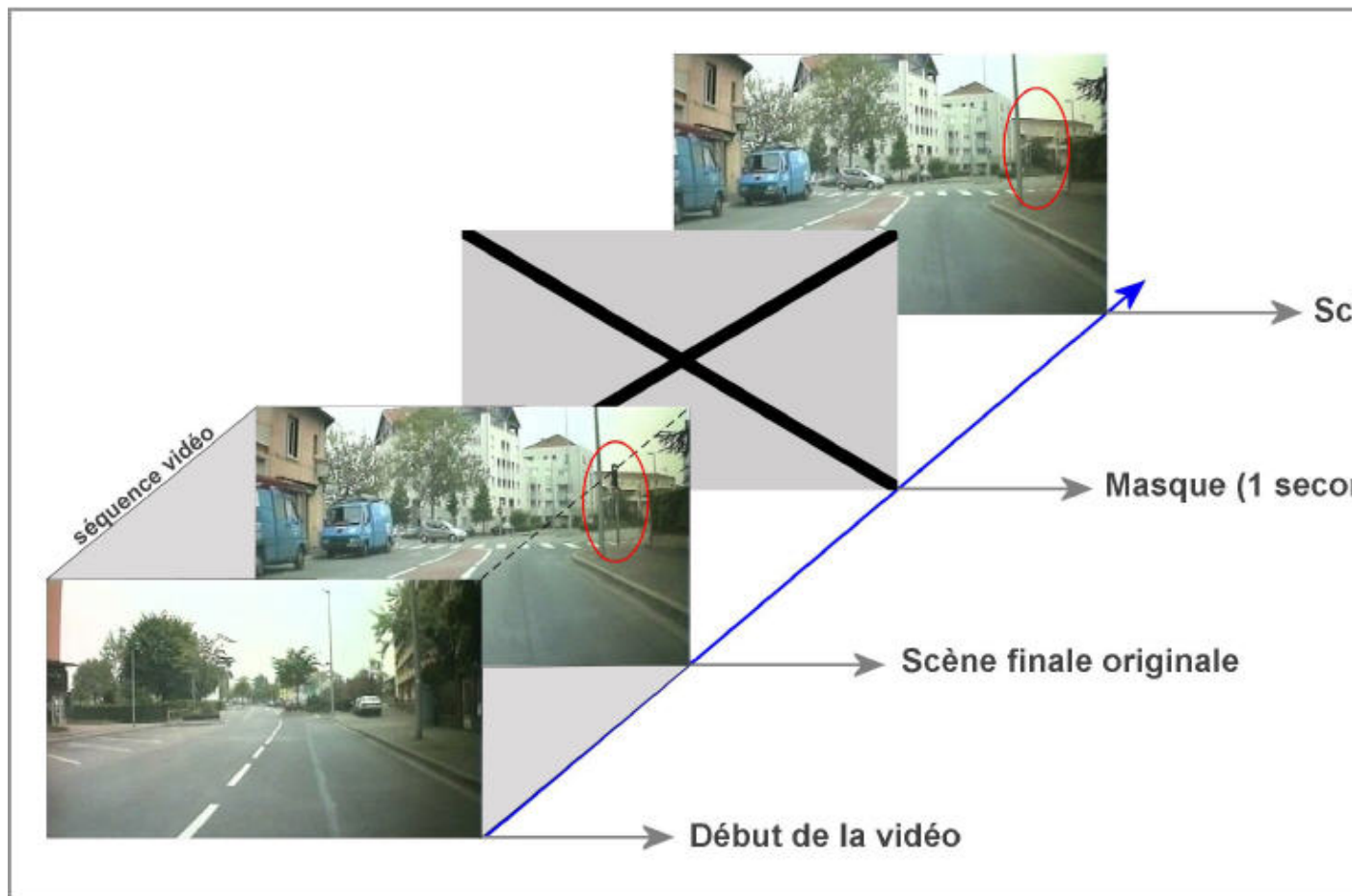
A moins de 15m	7
Entre 15 et 25m	17
Entre 25 et 50m	7
A plus de 50m	9

En effet, nos modifications ont été induites par les situations que nous avons choisi de retenir. Cependant, leurs caractéristiques ont en premier lieu été conditionnées par les situations réelles rencontrées lors de nos séances de prises de vues en situation. Nous n'avions alors que très peu de contrôle sur le déroulement des événements (contrôle de notre vitesse et de notre trajectoire). Dans ces conditions, même si nous avions repéré plusieurs lieux intéressants, il relevait du hasard d'y arriver dans les conditions de circulation que nous pouvions espérer (priorité ou feu grillé par un autre usager, événement totalement atypique...). Ce manque d'équilibre n'induit pas de biais statistique car nous en tiendrons compte tout au long du dépouillement de nos résultats.

4.2.1.3- Le montage d'OSCAR

Les prises de vues ont été réalisées en vidéo numérique DVcam. Il était donc aisé de capturer la scène finale de chacune puis de réaliser nos modifications via un logiciel de traitement d'images afin d'obtenir les scènes finales modifiées. Pourvus de séquences vidéo et de nos scènes modifiées nous avons monté un film : OSCAR. Une séquence d'OSCAR (figure 47) est composée d'un film vidéo suivi d'un masque perceptif d'une seconde à laquelle succède la scène finale modifiée. Les séquences sont séparées par un écran noir d'une durée de 10 secondes permettant de faire des pauses, soit, pour recueillir les réponses des sujets, soit, pour accorder un temps de repos aux sujets qui en témoignent le besoin. Les quarante-huit séquences ont été réparties en groupes (film A et Film B). Chaque film comporte 4 pré-tests et 20 tests.

Figure 47: Composition d'une séquence d'OSCAR (scène 18)



4.2.2- Expérimentation d'OSCAR

4.2.2.1- Passation et consignes

OSCAR était diffusé sur un écran de télévision de 46cm de diagonale. Les sujets étaient assis à une distance variant d'1m à 1m50 en fonction de leur confort visuel. Nous avons veillé à contrôler au mieux les conditions de lumière de la salle expérimentale afin d'éviter les reflets dans l'écran. D'un sujet à l'autre, le sens des films A et B était alterné (plan tournant). En revanche, tous les sujets ont commencé par un film en simple tâche et ont terminé par la double tâche. Il s'agissait d'une tâche de calcul mental pendant le déroulement de la vidéo. Nous disposions d'une liste d'opérations arithmétiques classées en trois niveaux de difficulté. La performance à la double tâche ni conservée, ni traitée, nous permettait uniquement d'étalonner la difficulté de la double tâche au niveau d'aptitude de chaque sujet, mais aussi à son niveau de fatigue au cours de l'expérimentation. Par ailleurs, le plan tournant nous a permis d'obtenir le même nombre de données sur chaque séquence pour les deux conditions expérimentales.

Tableau 7: Consignes d'OSCAR en simple tâche et en double tâche

Consigne 1 (simple tâche)

Des séquences vidéo de scènes routières vont vous être présentées. Vous devez les regarder comme si vous étiez le conducteur tâche du véhicule. La vidéo s'arrêtera sans que l'on vous prévienne. Une croix s'affichera à l'écran. Puis vous reverrez la dernière image de la vidéo. Nous avons pu apporter des modifications à ces images. Ces modifications ne concernent que des choses qui intéressent un conducteur (nous n'avons jamais modifié les arbres ou les panneaux de publicité). A vous de me dire si vous la jugez modifiée ou non. Si oui, vous me direz ce qui a été modifié.

Consigne 2 (double tâche)

Comme dans la séance précédente après avoir regardé la vidéo comme si vous conduisiez, vous devrez me dire si vous jugez que nous avons modifiée l'image finale. Si oui, vous m'indiquerez ce qui a changé. Mais pendant la vidéo je vous poserai des opérations de calcul mental. Vous devrez calculer à voix haute et me donner le résultat dès que possible. Si vous êtes en train de calculer pendant que la croix apparaît à l'écran, arrêtez votre calcul...

Pour chaque condition, les consignes étaient expliquées aux sujets avant le premier pré-test (tableau 6). Aucune correction n'était fournie aux sujets durant la passation d'OSCAR. Nous leur demandions de préciser les réponses du type « il manque une voiture à droite » en pointant l'endroit sur l'écran de télévision. Pour chaque scène, toutes les réponses des sujets, qu'elles concernent ou non notre modification, étaient notées manuellement par l'expérimentateur. En effet, nous invitons le sujet à exprimer ses moindres doutes sur les éléments de la scène. Aussi, tenant compte de la labilité de la représentation mentale, nous insistions pour qu'il verbalise le plus rapidement possible. Un premier codage en temps réel attribuait la note 1 à la scène dès que notre modification avait été détectée. Le cas échéant la séquence était notée 0. Une passation d'OSCAR durait environ 45 minutes, c'est-à-dire en moyenne deux fois moins de temps que l'expérimentation « dessin » réalisée avec les mêmes séquences vidéo. A la fin de toutes les passations, nous sommes revenus sur chaque sujet afin de vérifier que toutes les réponses avaient été codées exactement de la même manière (eg : dans le cas de la suppression d'un feu rouge, les sujets signalant que nous avons supprimé un feu sans pouvoir nous en indiquer la couleur devaient tous obtenir la note 0).

4.2.2.2- Les sujets

Afin de « mesurer » l'effet de l'expérience de conduite sur le contenu des représentations mentales des conducteurs, nous avons recruté nos sujets en fonction de trois critères :

- L'année d'obtention du permis de conduire B,
- Le nombre de kilomètres annuels pour les deux dernières années,
- L'environnement routier le plus fréquenté.

Nous avons réparti ainsi 40 sujets en deux groupes de conducteurs : les expérimentés en milieu urbain (experts) et les non expérimentés en milieu urbain (novices). Les critères de répartitions des sujets dans chacun de ces deux groupes seront précisés dans les parties suivantes. Par ailleurs, l'étude VISA menée au sein du LESCOT, dans le cadre d'un contrat MAIF, nous a offert l'opportunité de bénéficier d'une troisième population : des conducteurs âgés.

4.2.2.2.1- Les conducteurs expérimentés (groupe de référence)

Notre groupe « experts » était composé de 20 sujets. La moyenne d'âge était de 29 ans. Ils avaient au moins 5 ans de permis, parcouraient environ 15000km par an (sur les deux dernières années) dont une forte fréquentation de milieu urbain. Une exception a été faite pour les sujets qui avaient leur permis depuis moins de 5 ans mais qui avaient bénéficié de la Conduite Accompagnée et dont le kilométrage annuel en ville était important.

4.2.2.2.2- Les conducteurs non expérimentés

Notre groupe « novices » était également composé de 20 sujets. La moyenne d'âge était de 26 ans. Ils étaient titulaires du permis de conduire depuis moins de 5 ans et parcouraient environ 5 000km par an et roulaient peu en ville. Pour certains de ces sujets, le kilométrage annuel était plus élevé (proche de celui des « experts ») mais il correspondait à des trajets familiers (domicile-travail) avec de grandes portions d'autoroute ou de voies rapides non assimilable à une expérience du milieu urbain.

4.2.2.2.3- Les conducteurs âgés

La fondation MAIF a pour mission de développer toutes les formes de recherches tendant à améliorer la prévention des risques encourus plus particulièrement par les jeunes et les personnes dépendantes –à leur domicile, dans la rue et sur leur lieu d'activité- ainsi que d'une manière plus générale, la sécurité des personnes et la protection de leurs biens. Afin de mener à bien cette mission, un appel d'offre plus spécifiquement dédié aux problèmes rencontrés par les conducteurs âgés a été lancé en 1999. La fondation MAIF a confié au LESCOT la réalisation d'une étude intitulée : « diagnostic et suivi des capacités visuo-attentionnelles des conducteurs âgés. Développement d'un programme de prévention » (VISA). Catherine Gabaude, chercheur du LESCOT en charge de réaliser cette étude, nous a alors proposé de soumettre certains sujets VISA à OSCAR.

Parmi tous les sujets volontaires, 20 « témoins » et 20 « cas » ont passé OSCAR. Nous n'avons pu conserver les données que pour 16 « témoins » et 18 « cas ». En effet, certaines passations ont dû être abrégées, ou alors les films A et B ont été passés tous les deux en simple tâche. OSCAR n'avait pas été élaboré en pensant à des personnes âgées et s'est avéré plus fatigant que pour les autres populations. La moyenne d'âge du groupe « témoins » était de 63 ans, celle du groupe « cas » était de 66.5 ans. En moyenne, les « témoins » avaient leur permis depuis 43.7 ans, et les « cas » depuis 43.3 ans, par ailleurs, le kilométrage annuel moyen des deux groupes était de 10 000 à 15 000 km/an.

4.3-Résultats de la première expérimentation

Nous commencerons l'exposé de nos résultats par le groupe des experts qui constitue notre groupe de référence pour la suite des comparaisons que nous allons effectuer.

Les performances à OSCAR sont présentées sous forme de pourcentage de réponses justes (ie : détection de modification). Ces résultats ont été étudiés en fonction des caractéristiques des éléments modifiés sur les scènes finales (Tableau 6: Synthèse des modifications d'OSCAR (sans pré-tests)). Afin de tenir compte de la répartition non-équitable de nos catégories, nous avons choisi d'utiliser le test z pour la comparaison de deux proportions indépendantes, p_a et p_b .

$$\varepsilon = \frac{P_A - P_B}{\sqrt{\frac{Pq}{n_A} + \frac{Pq}{n_B}}}$$

$$Pq = P \times (1 - P)$$

$$P = \frac{P_A + P_B}{n_A + n_B}$$

Si $\varepsilon > 1.96$ alors $p_A \neq p_B$

La table de l'écart-réduit (annexe 7) permet d'interpréter ce test. Si > 1.96 alors le test est significatif au risque 0.05 en formulation bilatérale et nous pouvons conclure la différence des proportions des deux échantillons.

Pour chaque population nous présenterons les résultats de manière à mettre en évidence les effets de la diminution des ressources cognitives disponibles. Nous montrerons d'abord comment agit la DT sur les performances puis les conséquences de son impact. Ce n'est que dans un second temps que nous procéderons à des comparaisons intergroupes. Cette seconde étape nous permettra de mesurer d'une part l'effet de l'expérience (comparaison experts vs novices : 1ère expérimentation) ainsi que l'effet de l'âge (comparaison jeunes vs âgés : 2ème expérimentation).

4.3.1 Le groupe de référence

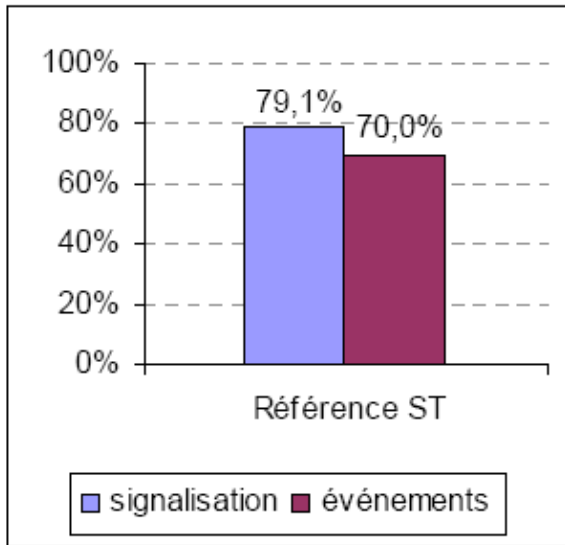
Notre groupe de référence est constitué de 20 sujets de 29 ans d'âge moyen. Comme nous l'avons présenté plus haut, ces sujets sont des conducteurs expérimentés en conduite urbaine. De ce fait, cet échantillon représente notre groupe de référence. Nous utiliserons leurs performances pour établir les comparaisons avec les sujets non expérimentés (groupe novices) ainsi qu'avec les sujets âgés. C'est pourquoi, dans un premier temps nous allons présenter les performances du groupe de référence en simple tâche, puis nous analyserons ses résultats en condition de double tâche.

4.3.1.1 Groupe de référence en condition de simple tâche

Globalement 74.9% des modifications sont détectées par les sujets. Si nous considérons les caractéristiques des modifications nous pouvons distinguer les performances de détections d'une part en fonction de la nature des éléments modifiés (signalisation vs événements), et d'autre part en fonction de la distance de l'objet modifié (zones 1 à 4).

4.3.1.1.1 La nature de l'objet modifié a-t-elle une influence sur les performances de détections du groupe de référence ?

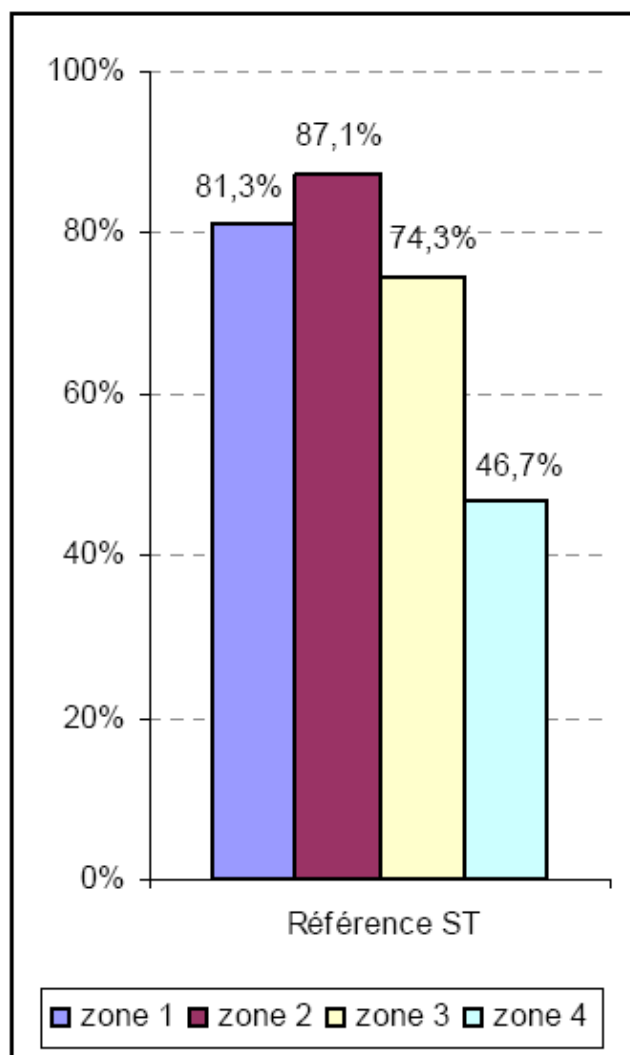
Figure 48 : Performances du Groupe de Référence en fonction de la nature des éléments modifiés Simple Tâche



La figure 48 représente les pourcentages de détections des modifications, en simple tâche, en fonction de la nature de l'élément que nous avons modifié. Nous observons que lorsque nous avons apporté un changement sur un élément de signalisation (panneaux, marquage au sol, feux) les sujets le remarquent presque 8 fois sur 10 (79.1% de détections). Par ailleurs, lorsque notre transformation touchait un événement (véhicule, piéton et changement de la couleur d'un feu) elles sont détectées 7 fois sur 10 (70% de détections). Dans les deux cas les performances des sujets sont donc très bonnes. Cependant nous notons que proportionnellement le groupe de référence obtient des résultats significativement meilleurs pour les modifications sur la signalisation que pour les modifications sur les événements ($=2.116$ $p=0.04$). De la même manière nous pouvons considérer les taux de détections de modifications en fonction de la distance de ces dernières.

4.3.1.1.2 La distance de l'objet modifié a-t-elle une influence sur les performances de détections du groupe de référence ?

Figure 49 : Performances du Groupe de Référence en fonction de la distance de l'objet modifié ST



Comme nous l'avons vu précédemment quatre zones ont été définies. La figure 49 met en évidence les performances de détections des modifications pour le groupe de référence en simple tâche en fonction de ces zones. Graphiquement, il apparaît que les meilleurs résultats sont obtenus pour la zone 2 (entre 15 et 25m). Cependant nous n'observons pas de différence significative entre les zones 1 et 2 ($=1.207$ $p=0.24$). En revanche, nous notons que les performances obtenues en zone 3 (entre 25 et 50m) sont significativement moins bonnes que pour la zone 2 ($=2.413$ $p=0.02$). Par ailleurs si nous comparons les résultats pour la zone 1 (moins de 15m) et la zone 3 nous n'observons pas de différence significative ($=1.027$ $p=0.31$). Enfin, les performances du groupe de référence pour les modifications de la zone 4 sont significativement moins bonnes que celles pour la zone 1 ($=4.66$ $p=0.000\ 01$), la zone 2 ($=6.986$ $p=0.000\ 000\ 01$), et la zone 3 ($=3.52$ $p=0.001$). Ces données suggèrent donc que la distance des modifications rend plus ou moins difficile leur détection. Il est très net que les changements réalisés dans le fond de la scène (zone 4) sont les plus difficiles à détecter. En effet, les sujets détectent alors moins d'une modification sur deux (46.7%). En revanche, les résultats obtenus pour les trois premières zones sont plus flous. Statistiquement nous pouvons juste dire que les sujets obtiennent de meilleures performances pour la zone 2 par rapport à la zone 3. En effet, l'absence de différence significative entre la zone 1 et la zone 3 ne nous permet pas de dire que les modifications sont moins bien détectées après 25m (limite de la zone 2). Cependant, nous notons ce résultat comme une tendance.

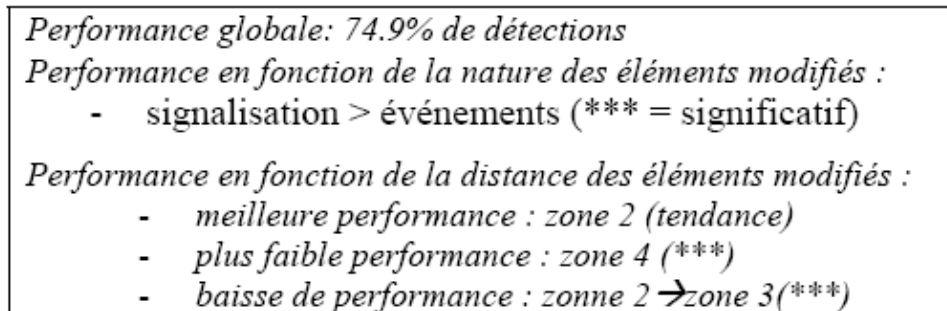
Ces premières données vont nous servir de base pour étudier les différentes variations que nous avons introduites dans notre plan expérimental. Premièrement, retenons que les modifications sur les éléments de signalisation sont significativement mieux détectées que les modifications sur les événements.

4.3.1.1.2 La distance de l'objet modifié a-t-elle une influence sur les performances de détections du groupe de référence

Deuxièmement, la distance des modifications influe sur les performances de détections. Tout d'abord, il est clair que les performances de détections les plus faibles apparaissent pour les modifications les plus éloignées dans la scène (zone 4). Nous retenons ensuite la chute de performances entre les zones 2 et 3 qui suggère que les sujets ont tendance à obtenir de meilleures performances pour les modifications de la zone 2. L'introduction de notre première source de variation, une double tâche, va nous permettre d'obtenir des indications relatives à l'impact d'une diminution des ressources cognitives disponibles sur les performances de détections des modifications.

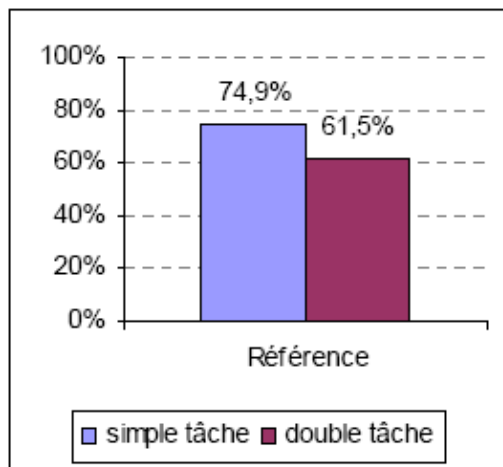
4.3.1.1.3 Synthèse des résultats du groupe de référence en simple tâche

Figure 50: Performances Globales du Groupe de Référence en simple tâche et en double tâche



4.3.1.2 Impact de la double tâche sur les performances du groupe de référence

Figure 50: Performances Globales du Groupe de Référence en simple tâche et en double tâche

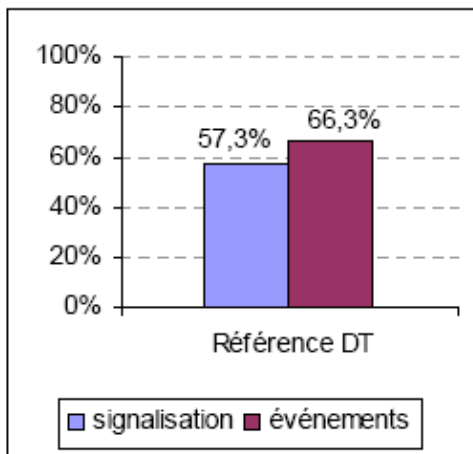


En condition de double tâche, le groupe de référence détecte 61.5% des modifications. En simple tâche il en détectait 74.9%. La figure 50 permet de constater que l'introduction de notre tâche parallèle provoque une baisse globale des performances d'environ 13%. Cette altération se révèle statistiquement significative ($t=4.123$ $p=0.0001$).

Comme précédemment nous allons étudier les résultats du groupe de référence en DT en fonction des caractéristiques des changements.

4.3.1.2.1 La nature de l'objet modifiée influe-t-elle les performances de détections du groupe de référence en DT ?

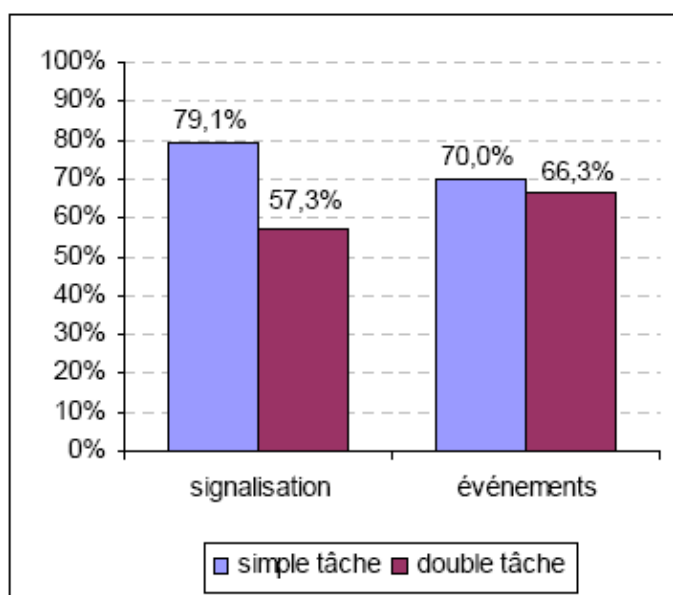
Figure 51: Groupe de Référence en fonction de la nature des éléments modifiés DT



La figure 51 représente les pourcentages de détections des modifications en fonction de la nature de l'élément modifié en condition de double tâche. Elle met en évidence qu'en double tâche 57.3% des modifications réalisées sur des éléments de signalisation ont été détectés par les sujets du groupe de référence. Par ailleurs, ils détectent également 66.3% des modifications sur les événements. Si cette différence n'est pas significative ($=1.876$ $p=0.06$) nous notons tout de même qu'en double tâche les sujets ont tendance à mieux détecter les modifications réalisées sur les événements que celles portant sur la signalisation. Comme nous l'avons précédemment dit, les résultats en simple tâche faisaient apparaître des données complètement inverses. En simple tâche, les sujets obtenaient des performances significativement meilleures pour les modifications « signalisation ».

4.3.1.2.2 Impact de la DT en fonction de la nature de l'élément modifié

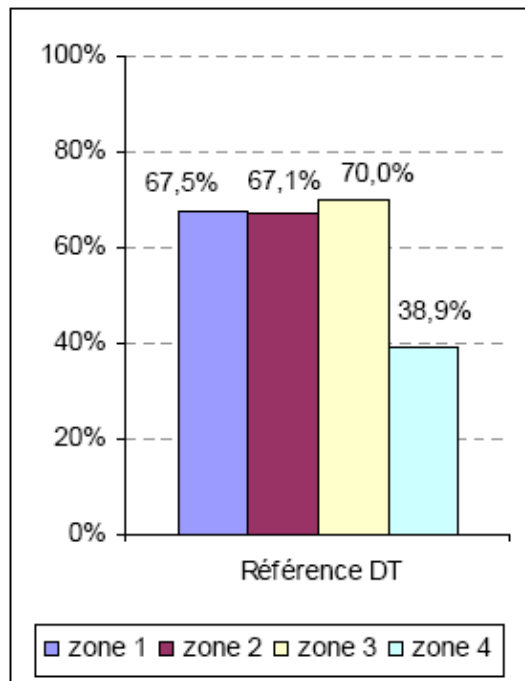
Figure 52: Impact de la DT en fonction de la nature de l'objet modifié (groupe de référence)



La figure 52 permet de comprendre ce basculement. Ce graphe montre que la diminution des ressources cognitives n'a pas le même impact selon que les modifications à détecter portent sur de la signalisation ou sur des événements. Certes, dans les deux cas nous observons une altération des performances. Cependant, pour les modifications « signalisation » cette diminution est significative ($=4.913$ $p=0.000\ 001$), alors qu'elle ne l'est pas pour les modifications « événements » ($=0.771$ $p=.292$).

4.3.1.2.3 La distance de l'objet modifié influe-t-elle sur les performances de détections du groupe de référence en DT ?

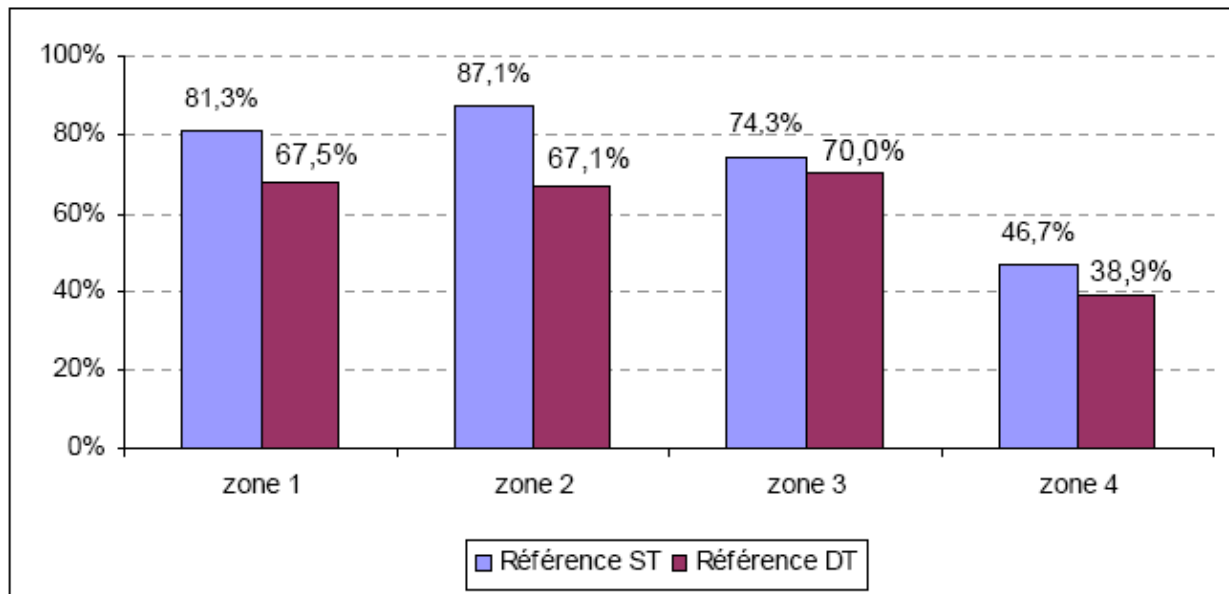
Figure 53: Performances du Groupe de Référence en fonction de la distance de l'objet modifié DT



La figure 53 représente les performances du groupe de référence en double tâche en fonction de la distance des éléments modifiés. Nous n'observons pas de différences significatives entre les trois premières zones (zone1 et zone 2 $=0.069$ $p=0.95$; zone 1 et zone 3 $= -0.329$ $p=0.75$; zone2 et zone3 $= -0.444$ $p=0.66$). Par contre, les performances pour la zone 4 sont significativement les plus faibles. (zone1 et zone4 $=3.728$ $p=0.001$; zone2 et zone4 $=4.369$ $p=0.000\ 001$; zone3 et zone4 $=3.909$ $p=0.000\ 1$)

4.3.1.2.4 Impact de la DT en fonction de la distance de l'élément modifié

Figure 54: Impact de la DT sur les performances en fonction de la distance de l'élément modifié (groupe de référence)



Par ailleurs, la figure 54 montre que la diminution des ressources cognitives a un impact négatif sur les performances de détections quelle que soit leur distance. Cependant, ces diminutions ne sont significatives que pour la zone 1 ($=1.992$ $p=0.05$) et la zone 2 ($=4.386$ $p=0.0001$).

C'est pourquoi en DT nous n'observons plus de différence significative entre les zones 2 et 3 : la double tâche homogénéise les résultats pour les trois premières zones. En outre, la figure 54 permet également de constater que ce groupe semble privilégier les éléments de la zone 3, zone pour laquelle la performance en DT est la plus proche de la performance en ST.

4.3.1.2.5 Synthèse des résultats du groupe de référence en double tâche

Performance globale: 61.5% de détection

Performance en fonction de la nature des éléments modifiés :

- signalisation = événements NS

Performance en fonction de la distance des éléments modifiés :

- (zone 1 = zone 2 = zone 3) > zone 4

Synthèse de l'impact de la DT pour le groupe de référence

*Dégradation performance globale ****

Dégradation en fonction de la nature des éléments modifiés :

- signalisation ***
- événements NS

Dégradation en fonction de la distance des éléments modifiés :

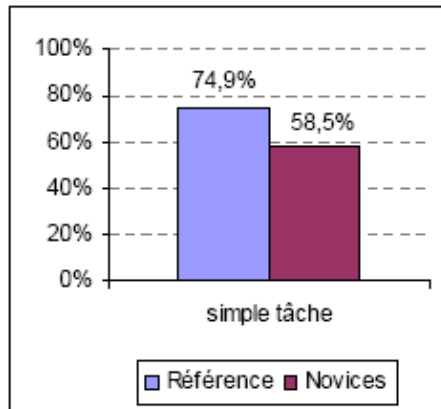
- zone 1 ***
- zone 2 ***
- zone 3 NS
- zone 4 NS

4.3.2 L'effet de l'expérience

Notre groupe de référence étant constitué de conducteurs expérimentés en conduite urbaine, il nous est possible d'étudier les effets de l'expérience de conduite sur les représentations mentales de conducteurs expérimentés en confrontant ces résultats à ceux de conducteurs non expérimentés (ie : groupe novices).

4.3.2.1 L'effet de l'expérience en condition de simple tâche

Figure 55 : Performances Globales en fonction de l'expérience S

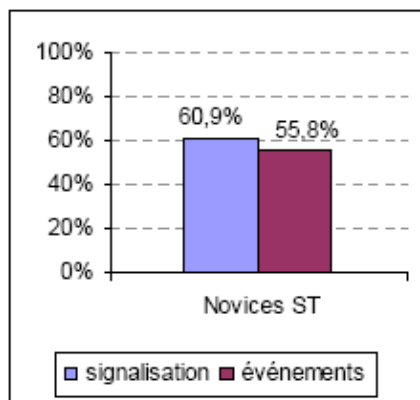


Globalement, les novices détectent 58.5% des modifications lorsqu'ils sont en situation de simple tâche. La figure 55 met en miroir ce résultat avec la performance globale obtenue en simple tâche pour notre groupe de référence.

Nous observons un écart d'environ 16% entre les performances de ces deux échantillons. Cette différence significative ($\chi^2=4.965$ $p=0.000\ 001$) montre que l'expérience joue un rôle dans la compréhension de la situation courante de conduite. En effet, les novices ne détectent nos modifications qu'environ 6 fois sur 10. Cette petite performance indique que leur représentation de la situation n'est cohérente avec le réel qu'un peu plus d'une fois sur deux. Ce décalage est-il spécifique à un type d'information ? Concerne-t-il l'ensemble de la scène ou les éléments les plus éloignés ?

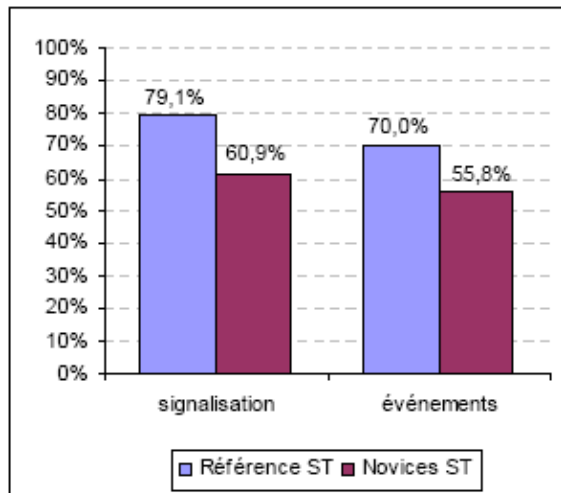
4.3.2.1.1 Effet de l'expérience et nature des éléments modifiés en ST

Figure 56 : Performances des Novices en fonction de la nature de l'élément modifié ST



La figure 56 considère les performances des novices, en ST, en fonction de la nature des éléments que nous avons modifiés. Ils détectent 60.9% des modifications « signalisation » et 55.8% des modifications « événements ». Nous n’observons pas de différence significative entre ces deux résultats ($t=1.049$ $p=0.30$). En d’autres termes, pour les novices les performances de détections des modifications ne varient pas en fonction de la nature des éléments que nous avons modifiés. En revanche, nous nous souvenons que notre groupe de référence, également en ST, détectait mieux les changements « signalisation » que les « événements ».

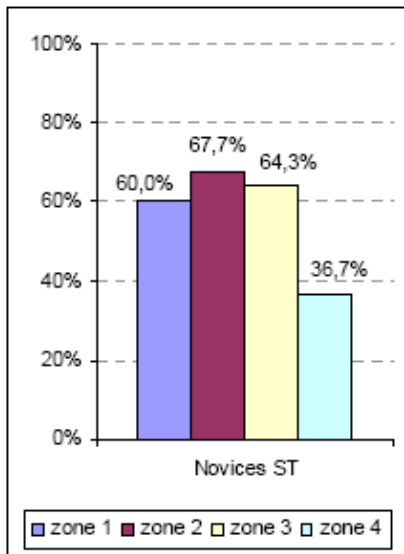
Figure 57 : Effet de l'expérience en fonction de la nature de l'élément modifié ST



La figure 57 permet de visualiser les différences de performances liées à l’expérience de conduite pour chaque nature de modifications. En ce qui concerne la signalisation, nous observons un écart d’environ 18% entre les performances des deux groupes. Cette différence est significative ($t=4.161$ $p=0.0001$). Les novices détectent donc moins les modifications « signalisation » que notre groupe de référence. Par ailleurs, les novices identifient 55.8% des changements que nous avons réalisés sur les événements, alors que le groupe de référence obtenait une performance de 70%. Cet écart est également significatif ($t=2.867$ $p=0.01$). L’effet général de l’expérience que nous avons souligné plus haut concerne donc aussi bien la signalisation que les événements. En outre, le manque d’expérience ne permet aux sujets de remarquer nos changements, portant sur de la signalisation ou des événements, qu’une fois sur deux. L’analyse de leurs performances en fonction de la distance des modifications permet-elle de savoir si cette difficulté est spécifique à un endroit de la scène routière ?

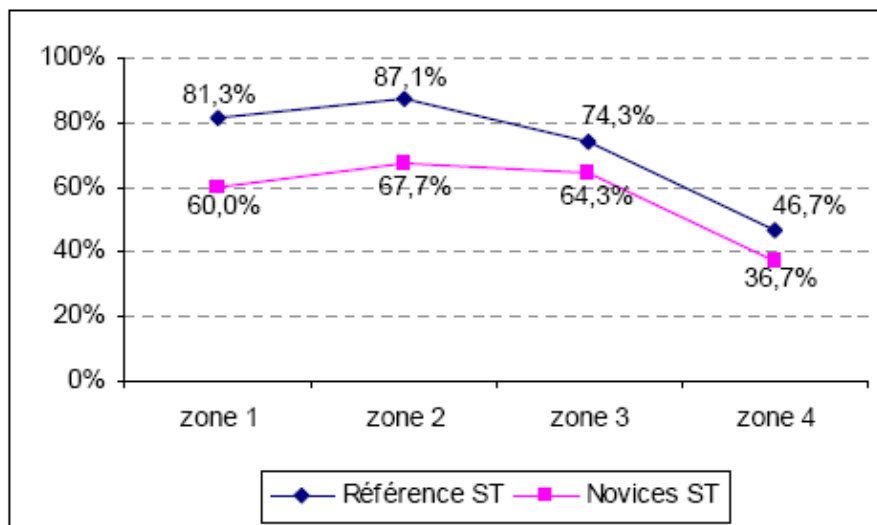
4.3.2.1.2 Effet de l'expérience et distance des éléments modifiés en ST

Figure 58 : Performances des Novices en fonction de la distance de l'objet modifié ST



La figure 58 représente les performances de détections des modifications par les novices, en condition de simple tâche, en fonction de la distance des objets modifiés. Les fluctuations que nous observons entre les zones 1, 2 et 3 ne sont pas significatives. En revanche, la performance obtenue pour les modifications les plus éloignées (zone4) sont significativement plus faibles que les résultats pour toutes les autres zones (zone1 & zone4 =3.04 p=0.01 ; zone2 & zone4 =4.703 p= 0.00001 ; zone3 & zone4 =3.467 p=0.001).

Figure 59 : Effet de l'expérience en fonction de la distance de l'objet modifié ST



En d'autres termes, la distance des modifications n'influe pas sur les performances de détections, par les novices en ST, sauf après 50m où les performances sont les plus faibles. La figure 59 met en évidence l'effet de l'expérience de conduite sur les performances de détections des modifications en fonction de leur distance. Pour les quatre zones, nous observons que les novices obtiennent des performances inférieures au groupe de référence. Cette différence est significative pour la zone 1 (=2.951 p=0.01) et la zone 2 (=4.386 p=0.000 1). En revanche, les écarts observés pour la zone 3 (=1.282 p=0.20) et la zone 4 (=1.361 p=0.18) ne le sont pas. Nous notons tout de même que les novices réalisent des performances 10% plus basses que les performances de référence.

4.3.2.1.3 Synthèse des résultats des novices en simple tâche

Performance globale: 58.5%% de détection

Performance en fonction de la nature des éléments modifiés :

- signalisation = événements NS

Performance en fonction de la distance des éléments modifiés :

- (zone 1 = zone 2 = zone 3) > zone 4

Synthèse effet de l'expérience en ST

*Effet de l'expérience sur la performance globale ****

Effet de l'expérience en fonction de la nature des éléments modifiés :

- signalisation ***
- événements ***

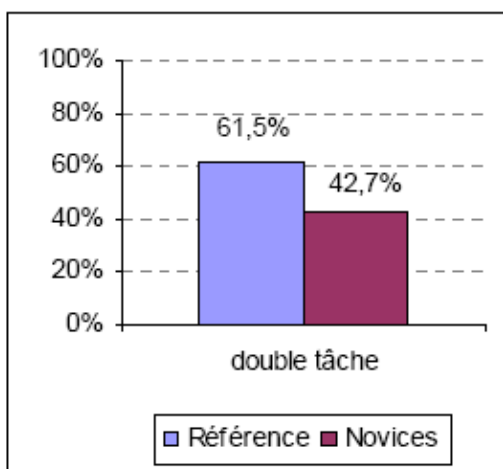
Effet de l'expérience en fonction de la distance des éléments modifiés :

- zone 1 ***
- zone 2 ***
- zone 3 NS
- zone 4 NS

Les prochains résultats des novices (ie : en double tâche) vont nous permettre d'analyser : l'effet de l'expérience en situation de double tâche, l'impact de la double tâche sur les performances du groupe novices, et ainsi de comparer l'impact de la double tâche sur les performances du groupe de référence et le groupe novices.

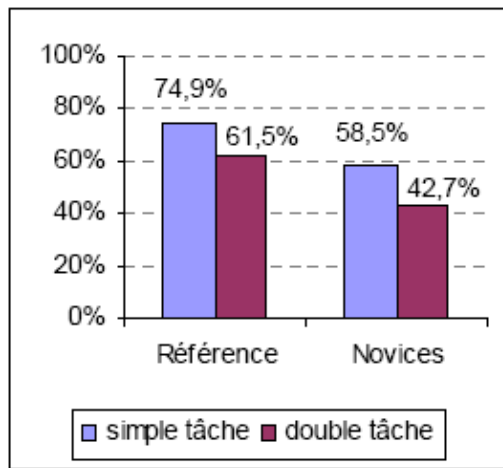
4.3.2.2 L'effet de l'expérience en situation de double tâche

Figure 60 : Performances Globales en fonction de l'expérience DT



Globalement lorsqu'ils sont en situation de double tâche, les novices détectent 42.7% des modifications alors que la performance globale de référence en DT est de 61.5% (figure 60). Cet écart est significatif ($=5.383$ $p=0.000\ 000\ 1$), il l'était également en condition de simple tâche ($=4.965$ $p=0.000\ 001$). En d'autres termes, quelles que soient les conditions expérimentales (ST et DT) les novices obtiennent des résultats globaux significativement inférieurs aux performances de référence.

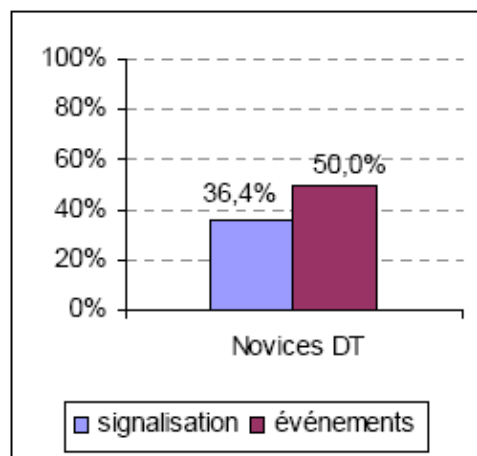
Figure 61 : Impact Global de la DT en fonction de l'expérience



Parallèlement, la figure 61 met en regard l'impact de la DT sur les performances globales pour le groupe de référence et pour les novices. Pour les deux échantillons l'altération des résultats est significative (Référence = 4.123 $p=0.0001$; Novices = 4.54 $p=0.0001$). Cependant, une différence supplémentaire est à noter : l'altération des performances, provoquée par la DT, est proportionnellement plus importante pour les novices. En effet, la tâche secondaire fait baisser les résultats du groupe de référence de 13.4% alors que les performances des novices perdent 15.8%. De la même manière, l'effet de l'expérience est plus important en condition de double tâche (+18.8% pour le groupe de référence) qu'en simple tâche (+16.4%).

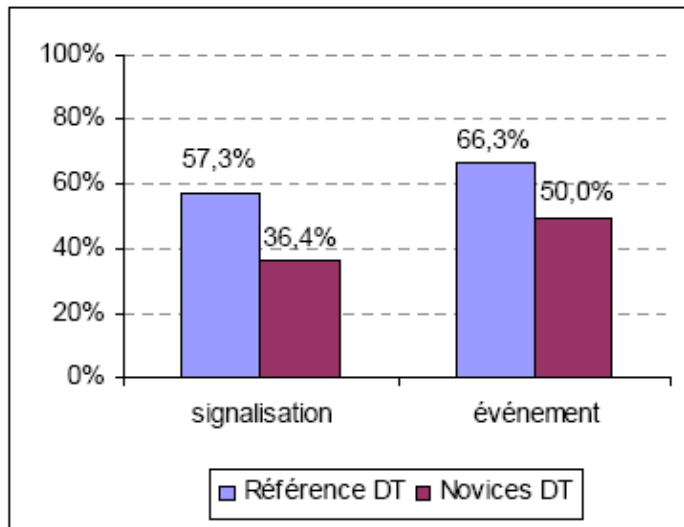
4.3.2.2.1 Effet de l'expérience et nature des éléments modifiés en DT

Figure 62: Performances des Novices en fonction de la nature de l'élément modifié DT



La figure 62 représente les performances des novices, en DT, en fonction de la nature des éléments modifiés. Ils détectent 36.4% des modifications portant sur la signalisation et 50% de celles réalisées sur les événements. Cette différence est significative ($= -2.784$ $p0.01$). En double tâche les novices détectent donc mieux les modifications « événements » que les modifications « signalisation » alors qu'en simple tâche nous n'observons pas de différence significative en fonction de la nature des objets modifiés.

Figure 63: Effet de l'expérience en fonction de la nature de l'élément modifié DT

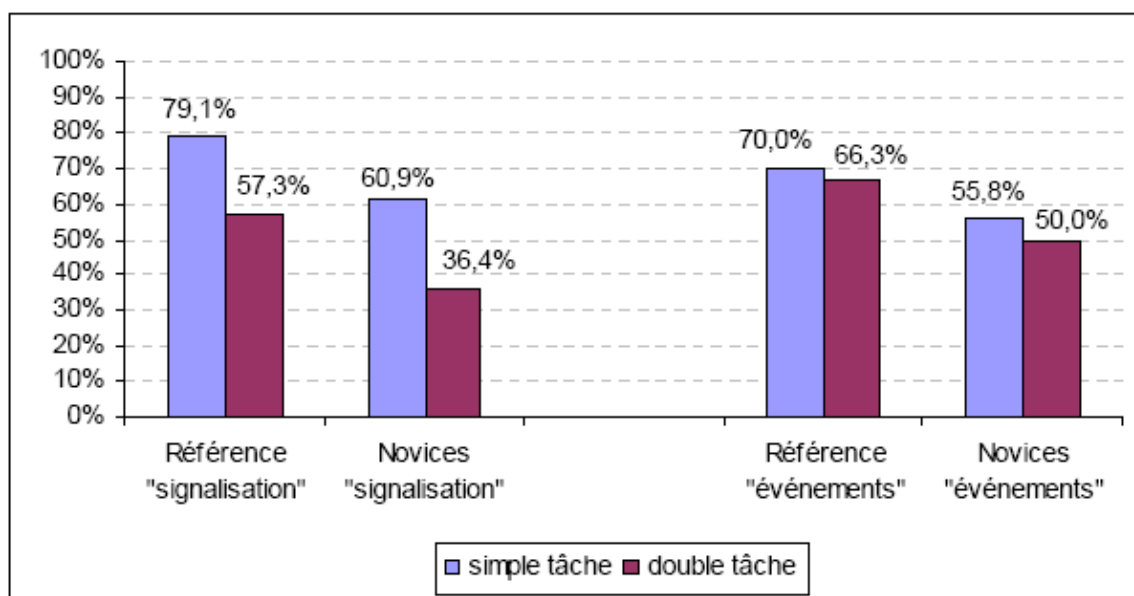


Par ailleurs, la figure 63 permet de comparer les résultats des novices, en DT, aux performances de référence, en DT, pour chaque nature d'éléments modifiés. Les novices ne détectent plus que 36.4% des modifications « signalisation » alors que la performance de référence est de 57.3%. Cette différence est significative ($=4.395$ $p=0.0001$). De même, la performance des novices diffère significativement de celle de référence pour les modifications « événements » ($=3.224$ $p=0.001$). La performance de référence était de 66.3%, les novices ne détectent que 50% des ces changements. En outre, nous constatons que l'effet de l'expérience est plus important en ce qui concerne les modifications « signalisation » ($p=0.0001$; +20.9%) que pour les modifications « événements » ($p=0.001$; +16.3%).

4.3.2.2.2 Impact de la DT en fonction de l'expérience et de la nature des éléments modifiés.

La figure 64 récapitule l'effet de la double tâche pour chacun des échantillons et pour les deux natures d'éléments modifiés.

Figure 64 : Impact de la DT en fonction de la nature de l'élément modifié et de l'expérience

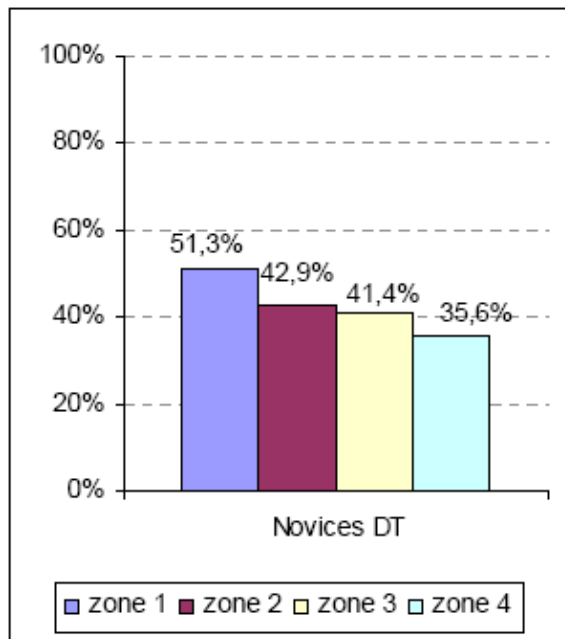


Nous constatons que les patterns de résultats sont les mêmes pour le groupe de référence et pour celui des novices : forte altération des performances pour la signalisation et faible altération pour les changements sur les événements. Si nous comparons statistiquement ces données nous remarquons effectivement une différence significative entre ST et DT chez les novices en ce qui concerne les modifications « signalisation » ($=5.151$ $p=0.000\ 001$) qui apparaissait pour les performances de références ($=4.913$ $p=0.000\ 001$). En revanche, les baisses de performances provoquées par la DT ne sont pas significatives ni pour la population de référence ($=0.771$ $p=0.45$), ni pour les novices ($=1.13$ $p=0.26$). Cependant nous avons vu plus haut que pour les novices l'altération des performances pour les modifications « signalisation » les rendaient « meilleurs » pour les changements sur les événements. Cette tendance apparaissait également pour la population de référence mais, n'était pas significative.

4.3.2.2.3 Effet de l'expérience et de la distance des éléments modifiés en DT

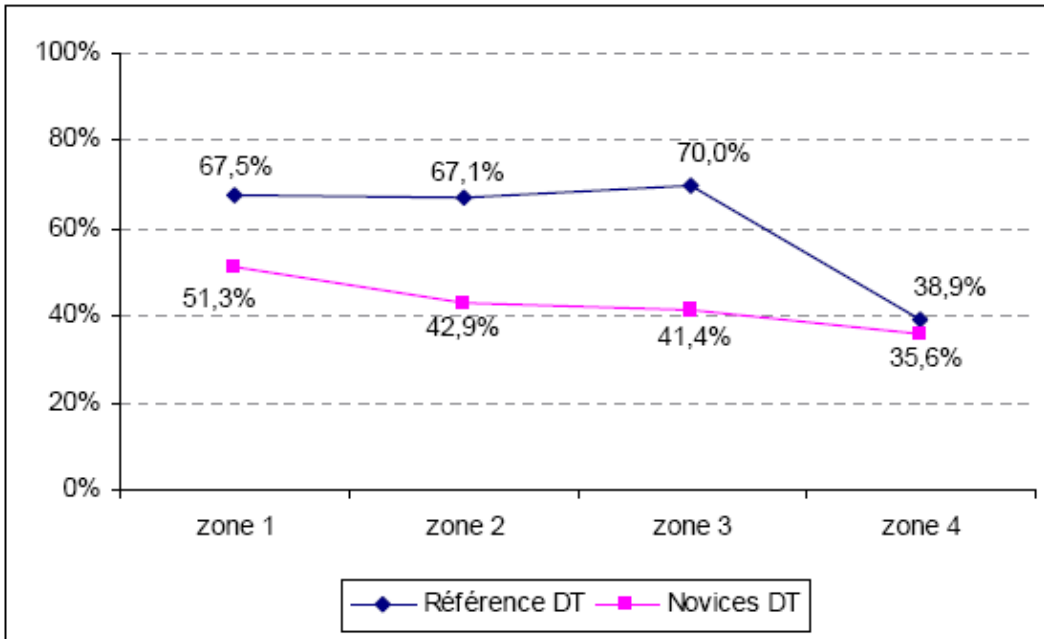
Les résultats des novices, en double tâche, en fonction de la distance des modifications sont présentés par la figure 65. Nous n'observons aucune différence significative entre les zones 1 et 2 ($=1.23$ $p=0.22$), les zones 2 et 3 ($=0.215$ $p=0.83$), et les zones 3 et 4 ($=0.759$ $p=0.45$). En revanche, si nous ne considérons que la première et la dernière zone les performances sont significativement différentes ($=2.063$ $p=0.04$).

Figure 65 : Performances des Novices en fonction de la distance de l'objet modifié en DT



Si nous comparons ces résultats avec les performances de référence (figure 66) nous observons que les performances de détections des modifications des novices en DT sont significativement inférieures pour la zone 1 ($=2.093$ $p=0.04$), pour la zone 2 ($=4.469$ $p=0.000\ 01$) et pour la zone 3 ($=3.403$ $p=0.001$). En simple tâche, les différences significatives, entre les deux échantillons, ne concernaient que les zones 1 et 2.

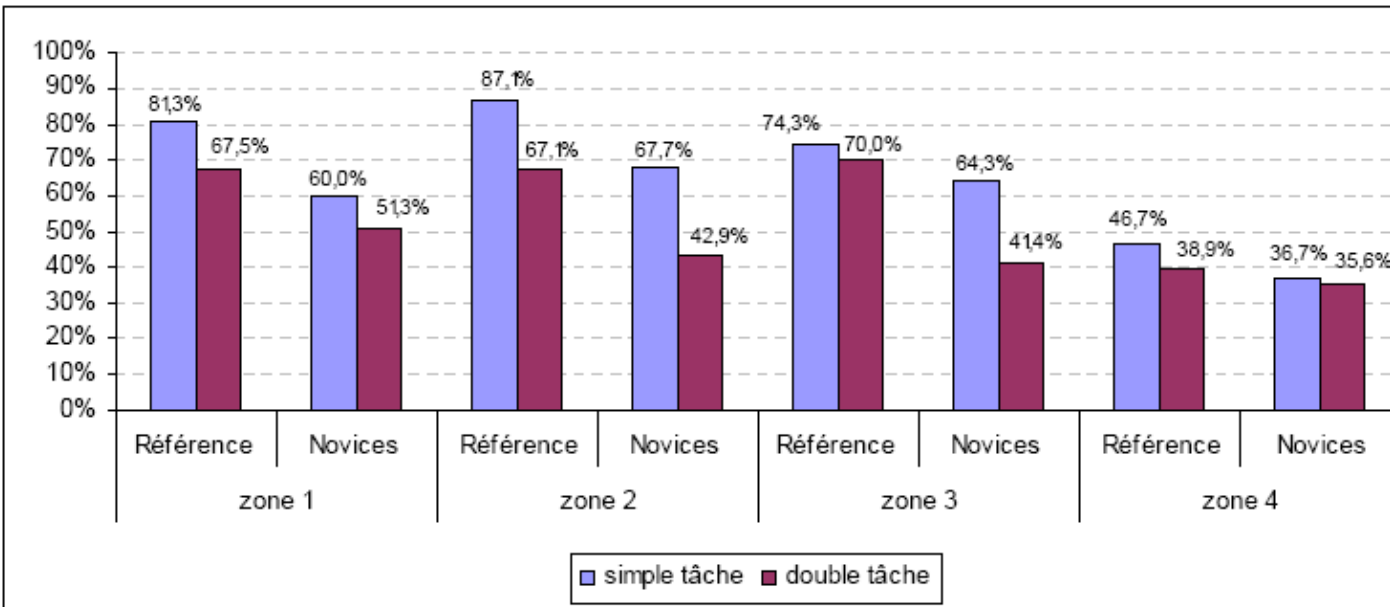
Figure 66: Effet de l'expérience en fonction de la distance de l'objet modifié en DT



4.3.2.2.4 Impact de la DT en fonction de l'expérience et de la distance des éléments modifiés

Les résultats des novices sont altérés de manière significative par la double tâche lorsque les modifications sont dans la zone 2 ou dans la zone 3 (figure 67). En effet, en ST ils détectaient 67.7% des changements de la zone 2 alors qu'en DT ils n'en mentionnent plus que 42.9% ($=4.469$ $p=0.000$ 01). De la même manière les modifications de la zone 3 étaient détectées par les novices à 64.3% en ST contre 41.4% en DT ($=2.709$ $p=0.01$).

Figure 67: Impact de la DT en fonction de la distance des modifications et de l'expérience



En revanche les écarts, provoqués par la double tâche, que nous observons pour les zones 1 ($=1.114$ $p=0.27$) et 4 ($=0.155$ $p=0.88$) ne sont pas significatifs.

Ces résultats diffèrent des performances de référence. En effet, pour notre groupe de référence, la diminution des ressources cognitives provoquait des baisses de performances significatives pour la zone 1 et la zone 2. La figure 67 souligne que pour les deux échantillons l'impact de la double tâche est significatif pour la zone 2. En revanche, les performances des novices sont dégradées pour la zone 3, ce qui n'est pas le cas des résultats de référence. Inversement, les résultats des novices ne sont pas altérés, de manière significative, pour la zone 1 alors qu'ils le sont pour le groupe de référence.

4.3.2.2.5 Synthèse des résultats des novices en double tâche

<i>Performance globale: 42.7% de détection</i> <i>Performance en fonction de la nature des éléments modifiés :</i> <ul style="list-style-type: none"> - signalisation < événements *** <i>Performance en fonction de la distance des éléments modifiés :</i> <ul style="list-style-type: none"> - zone 1 = zone 2 = zone 3 = zone 4 NS - zone 1 > zone 4 ***
<p style="text-align: center;">Synthèse impact de la DT pour les novices</p> <i>Dégradation performance globale ***</i> <i>Dégradation en fonction de la nature de l'élément modifié :</i> <ul style="list-style-type: none"> - signalisation *** - événements NS <i>Dégradation en fonction de la distance de l'élément modifié :</i> <ul style="list-style-type: none"> - zone 1 NS - zone 2 *** - zone 3 *** - zone 4 NS
<p style="text-align: center;">Synthèse effet de l'expérience en DT</p> <i>Effet sur la performance globale ***</i> <i>Effet en fonction de la nature des éléments modifiés :</i> <ul style="list-style-type: none"> - signalisation *** - événements *** <i>Effet en fonction de la distance des éléments modifiés :</i> <ul style="list-style-type: none"> - zone 1 *** - zone 2 *** - zone 3 *** - zone 4 NS

4.3.3 Discussion de la première expérimentation

D'un point de vue général, les résultats obtenus par OSCAR confirment nos hypothèses principales.

1. Les conducteurs expérimentés devraient élaborer de meilleures représentations mentales de la situation, avoir une meilleure Conscience de la Situation (Endsley, 1995, 2000; Spérando, 1984; Underwood et al., 2002). Etant donné que nos modifications portent sur des éléments pertinents de la situation, ils devraient mieux les détecter.

Effectivement, quelles que soit les conditions expérimentales (simple tâche ou double tâche) les conducteurs non expérimentés en conduite urbaine obtiennent des performances de détections moins bonnes que les

conducteurs expérimentés (groupe de référence). Ceci suggère que l'expérience de conduite est un élément clef pour élaborer une représentation mentale adéquate à la situation réelle de conduite courante (ie : une meilleure compréhension et une meilleure conscience de l'environnement de conduite).

1. Les traitements cognitifs non automatisés devraient être altérés par la diminution des ressources cognitives disponibles (Shiffrin & Schneider, 1977). De ce fait, si l'élaboration d'une représentation mentale met en jeu des processus contrôlés sa qualité devrait être moins bonne en double tâche qu'en simple tâche (Parkes & Hooijmeijer, 2000). Par conséquent, les performances de détections devraient être moins bonnes en double tâche qu'en simple tâche.

En effet, nous avons vu que l'introduction d'une seconde activité (ie : le calcul mental) a eut un impact négatif sur les performances de détections des modifications de nos deux populations. En d'autres termes, l'élaboration d'une représentation mentale de la situation de conduite requière des ressources cognitives même pour des conducteurs expérimentés.

1. Cependant, nous pouvions envisager que les conducteurs expérimentés soient moins gênés par la double tâche. En d'autres termes qu'ils arrivent mieux à gérer leurs ressources cognitives. En effet, nous avons vu que l'expérience permet d'acquérir des automatismes qui sont moins coûteux que des processus contrôlés (Logan, 1988; Shiffrin & Schneider, 1977). Par ailleurs, nous avons également appris que les conducteurs expérimentés savent mieux s'adapter à la complexité d'une situation routière (Crundall & Underwood, 1998). Fondamentalement, effectuer du calcul mental requière des ressources cognitives. Par conséquent, si d'autres activités cognitives nécessitant des ressources (ie : impliquant des processus contrôlés) sont menées simultanément elles seront affectées par la double tâche. En revanche, la tâche secondaire n'aura pas d'impact sur les processus automatiques.

Les résultats globaux d'OSCAR mettent effectivement en évidence que l'impact de la double tâche est significatif pour le groupe de référence et pour les conducteurs non expérimentés. Cependant, ils permettent également de voir que l'altération provoquée par la double tâche est plus importante pour les conducteurs non expérimentés que pour les conducteurs expérimentés qui constituent le groupe de référence. Cela signifie que l'expérience de conduite a un effet positif sur le contrôle d'une activité secondaire et sur le partage de l'attention en situation de conduite.

Compte tenu des données disponibles dans la littérature nous ne pouvions pas poser d'hypothèses plus précises sur les différences que nous pourrions observer en fonction de l'expérience. Cependant, à l'origine de notre travail, nous nous sommes demandé si les deux populations de conducteurs allaient éprouver des difficultés pour les mêmes types de modifications. Tout au plus, nous pouvions envisager que les conducteurs expérimentés auraient de meilleures performances que les novices pour les modifications faisant appel à des capacités d'anticipation (ie : zone 3 et 4) (Crundall & Underwood, 1998; Fieux, 1999; Mourant & Rockwell, 1972; Neboit, 1980). Aussi, les travaux de Shinoda et al (2001) suggèrent que nous pouvions attendre un impact de la double tâche différent en fonction de la nature des éléments modifiés.

Néanmoins, l'impact de la double tâche nous renseigne sur le degré de priorité de l'information sélectionnée dans l'environnement puis intégrée dans le modèle mental du conducteur. Seules les informations les plus pertinentes ou les plus saillantes pourront être prises en compte car elles relèvent de processus bottom-up (ie : attention passive). Par rapport aux performances d'OSCAR cela signifie que l'impact de la double tâche est inversement proportionnel au niveau de pertinence ou de saillance de l'information. En d'autres termes, les effets non significatifs de la double tâche nous indiquent un haut niveau de pertinence, de priorité ou de saillance de l'information concernée. Par ailleurs, si cette absence d'impact de la double tâche concerne à la fois le groupe de référence (conducteurs expérimentés) et les conducteurs non expérimentés, cela signifie que la dimension concernée ne dépend pas de l'expérience de conduite (ie : processus bottom-up). En revanche, si nous n'observons pas d'impact significatif de la DT uniquement pour l'une des populations, cela signifie que cette dimension est liée à l'expérience de conduite (ie : processus top-down, attention active).

De ce point de vue, deux résultats ont été révélés par cette expérimentation. Le premier concerne la nature des éléments modifiés, le second concerne leur distance. Les comparaisons de performances entre simple tâche et double tâche, en fonction de la nature des éléments modifiés nous ont montré pour les deux populations :

- une dégradation en double tâche des performances de détections pour les modifications « signalisation »,
- aucun effet significatif de la double-tâche sur les performances de détections des modifications « événements ».

Ainsi, il apparaît que ces deux dimensions ne mettent pas en jeu les mêmes types de processus. En effet, l'impact significatif du manque de ressources cognitives montre que l'intégration des éléments de signalisation nécessite des ressources cognitives. En d'autres termes, cela implique des processus contrôlés, une attention active (Shinoda et al., 2001). En revanche, le maintien des performances pour les modifications « événements » et pour les deux populations montre que ces traitements sont automatisés. L'intégration des événements semble donc être due à une plus grande saillance des événements par rapport aux éléments de signalisation (ie : attention passive, processus bottom-up).

Par ailleurs, si nous considérons pour chaque population la performance à OSCAR en fonction de la nature des éléments modifiés pour chaque situation expérimentale nous observons qu'en fonction de l'expérience les conducteurs ne semblent pas donner la priorité aux mêmes éléments de la situation. En effet, en simple tâche les conducteurs expérimentés obtiennent de très bonnes performances pour les deux types de modifications mais sont meilleures lorsqu'elles portent sur la signalisation. En double tâche, ces sujets obtiennent des performances équivalentes pour les deux types de modifications. En revanche, en simple tâche, les conducteurs non expérimentés obtiennent des performances équivalentes quelle que soit la nature des modifications. En double tâche, les novices obtiennent de meilleures performances lorsque les modifications portent sur des événements que lorsqu'elles portent sur de la signalisation.

	Simple tâche	Double tâche
Conducteurs expérimentés	Signalisation > événements	Signalisation = événements
Conducteurs non expérimentés	Signalisation = événements	Signalisation < événements

De ce fait, il résulte qu'en double tâche, d'une part, les performances des conducteurs expérimentés sont toujours meilleures que celles des non expérimentés, pour les modifications sur la signalisation et pour les modifications sur les événements. Mais, d'autre part, alors que les conducteurs expérimentés peuvent toujours prendre en compte les deux types d'informations nous remarquons que les conducteurs non expérimentés sont totalement focalisés sur les éléments événementiels. Ainsi, le manque d'expérience de conduite combiné au manque de ressources cognitives conduit les conducteurs peu expérimentés à élaborer une représentation mentale qui ne repose plus que sur les éléments les plus saillants de la situation et sur les processus les moins coûteux : bottom-up. C'est-à-dire que les conducteurs manquant d'expérience et dépourvus d'une partie de leurs ressources cognitives négligent les éléments de la situation de conduite dont le traitement est le plus coûteux.

En outre, nous avons également obtenu des résultats liés à la double tâche et la distance des éléments spécifiques à chaque population. En effet, pour les conducteurs expérimentés la double tâche n'altère pas de manière significative les performances pour la zone 3 (entre 25 et 50 m) alors que pour les conducteurs non expérimentés elle n'a pas d'effet significatif pour la zone 1 (à moins de 15m). Dans les deux cas, l'absence d'impact de la diminution des ressources cognitives montrent que ces zones sont prioritaires pour les sujets. Ces résultats soulignent donc une différence liée à l'expérience de conduite concernant le point de fixation utilisé pour scanner la scène. Pour les jeunes conducteurs, l'exploration perceptive est prioritairement centrée sur le devant de la scène, juste devant le véhicule, alors que pour les conducteurs expérimentés elle se situe plus loin (25-50m). Ces résultats d'OSCAR corroborent les études faites sur les capacités d'anticipation des

conducteurs qui se développent au cours de la pratique de conduite que nous avons cité plus haut (Mourant & Rockwell, 1972; Neboit, 1980).

4.4-Résultats de la deuxième expérimentation

Notre seconde expérimentation a été menée auprès de deux populations de conducteurs âgés volontaires pour participer à une étude menée au sein du LESCOT, par Catherine Gabaude, dans le cadre d'un partenariat avec la Fondation MAIF. L'objectif principal de cette étude était de voir si des tests de laboratoire peuvent prédire des scores de conduite dans le but d'établir des « critères efficaces révélateurs des capacités fonctionnelles des conducteurs » (Gabaude et al 2003). Les sujets ont été sélectionnés sur une base de sinistres Note3, fournis par la MAIF. Ils continuaient tous à conduire au moment de l'expérimentation. OSCAR ne représente qu'un des volets abordés par l'étude VISA. Parmi les autres tests de laboratoire utilisés pour VISA nous comptons trois tests neuropsychologiques (le chiffre symbole de Wechsler, le barrage de Zazzo et le MMS), un test visuel (ERGOVISION), un second test développé au sein du LESCOT (TEVIC : capacités visuo-attentionnelles des sujets). Par ailleurs, lors de la prise de contact avec les sujets, un questionnaire leur avait été envoyé à leur domicile. Il avait pour but de connaître différents types d'informations : l'historique du sujet en tant que conducteur, ses habitudes de conduite et ses comportements, ainsi que son opinion sur ses capacités de conducteurs. Les sujets devaient le compléter chez eux, mais ils le relisaient avec l'un des expérimentateurs lors de leur venue au LESCOT. Enfin, afin de pouvoir observer le comportement des différents sujets dans des situations de conduite à peu près identiques d'un sujet à un autre, ceux-ci devaient effectuer un circuit prédéterminé au volant d'un véhicule expérimental équipé de capteurs et de caméra. Au cours de ce parcours l'expérimentateur remplissait une grille d'observation. Cette grille permet, après coup, de calculer un score de pénalités en fonction des erreurs commises par le conducteur.

Pour l'étude VISA deux groupes de 20 sujets ont été sélectionnés. En revanche ils n'ont pas tous pu passer OSCAR. Ainsi, notre premier échantillon est composé de 16 sujets qui constituent le groupe « âgé témoin ». Et notre second groupe, « âgé cas », est composé de 18 sujets ayant eut au moins trois accidents, relevant de leur responsabilité, dans les trois années précédents nos expérimentations. Nous débuterons cette seconde partie de résultats par la présentation des résultats du groupe témoin. Ils seront dans un premier temps comparés à notre population de référence afin de mettre en évidence les effets de l'âge sur l'élaboration de la représentation mentale de la situation courante. Cette analyse sera effectuée pour les données recueillies en simple tâche et en double tâche. De cette manière, il nous sera également possible d'analyser l'effet d'une diminution des ressources cognitives sur des conducteurs âgés. Dans un second temps, nous comparerons les performances de ce même groupe de conducteurs âgés avec celle de notre groupe de novices. De la même manière, nous procéderons en deux temps : d'abord, les résultats obtenus en condition de simple tâche, puis, en double tâche. Cette analyse nous permettra de comparer les effets du manque d'expérience à ceux du vieillissement.

Enfin, la dernière section de cette partie résultats confrontera les résultats de nos deux populations de conducteurs âgés. Comme nous en avons pris l'habitude, nous commencerons par l'étude des performances en simple tâche, que nous comparerons aux résultats de la double tâche. En dernier lieu nous replacerons cette expérimentation d'OSCAR dans le cadre de l'étude VISA en présentant ces principales conclusions.

4.4.1 L'effet de l'âge

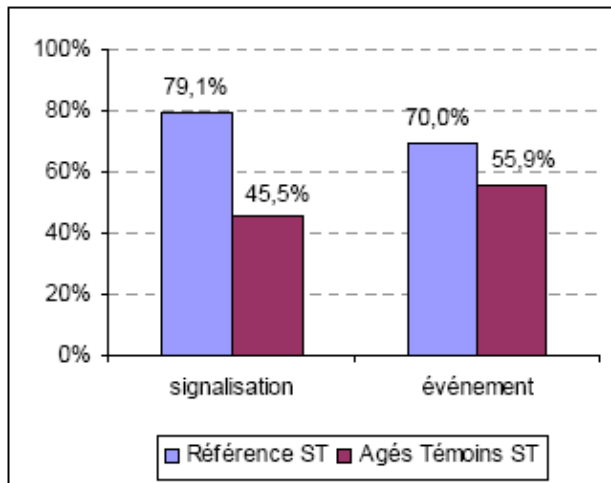
4.4.1.1 L'effet de l'âge en condition de simple tâche

Globalement les âgés témoins, en simple tâche, détectent 50.3% des modifications. Ce résultat est significativement différent ($=6.909$ $p=0.000\ 000\ 001$) de la performance de référence en ST (74.9%).

4.4.1.1.1 Effet de l'âge et nature des éléments modifiés en ST

En condition de simple tâche, le groupe « âgés témoins » détectent 45.5% des modifications réalisées sur la signalisation et 55.9% de celles apportées aux événements. Cette différence de 10% que nous pouvons observer sur la figure 68 n'est pas significative ($=-1.891$ $p=0.06$). Ce groupe a cependant tendance à obtenir de meilleures performances en ce qui concerne les modifications « événements ».

Figure 68 : Effet de l'âge en fonction de la nature des éléments modifiés ST



Si l'on compare les résultats respectifs à chaque nature d'objets modifiés aux performances de références, il apparaît que les conducteurs âgés obtiennent toujours des performances significativement inférieures au groupe de référence. En effet, pour les modifications sur la signalisation la performance des âgés est de 45.5% alors qu'elle était de 79.1% pour le groupe de référence (signalisation $=6.935$ $p=0.000\ 000\ 001$). Pour les modifications sur les événements l'écart est moins important (70% vs 55.9%) mais il reste tout de même significatif ($=3.651$ $p=0.001$).

4.4.1.1.2 Effet de l'âge et distance des éléments modifiés en ST

Statistiquement, les performances du groupe « âgés témoins » ne sont pas différentes tant que les modifications sont dans les trois premières zones. Cependant la figure 69 nous permet d'observer une légère augmentation (non significative) entre la zone 1 et la zone 3. En revanche, la baisse de performances entre les zones 3 et 4 est significative ($=2.053$ $p0.05$).

Figure 69 : Performances "Agés Témoins" en fonction de la distance des objets modifiés ST

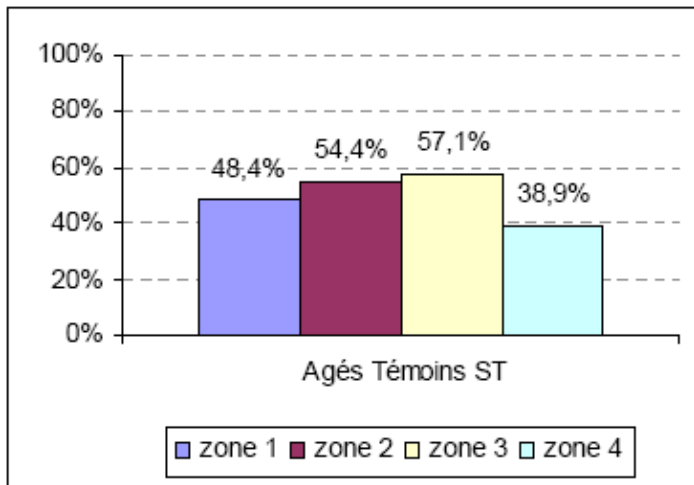
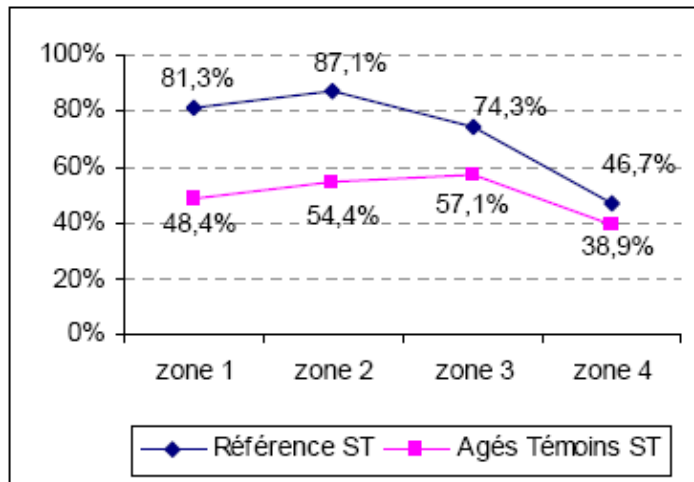


Figure 70: Effet de l'âge en fonction de la distance de l'objet modifié ST



Lorsque nous comparons ces résultats aux performances de référence en ST (figure 70), nous observons que les seniors obtiennent à nouveau des résultats inférieurs à ceux du groupe de référence quelle que soit la distance des modifications. Cependant ces différences sont significatives pour la zone 1 ($=4.151$ $p=0.000$ 1), la zone 2 ($=6.359$ $p=0.000$ 000 001) et pour la zone 3 ($=2.028$ $p=0.04$). En revanche le résultat des « âgés témoins » n'est pas significativement différent de la performance de référence pour la zone 4 ($=0.993$ $p=0.33$). Par ailleurs nous remarquons que les écarts observés semblent plus importants pour les zones 1 (32.9%) et 2 (32.7%) que pour la zone 3 (17.2%).

4.4.1.1.3 Synthèse des résultats des âgés en simple tâche

Figure 71: Impact Global de la DT en fonction de l'âge

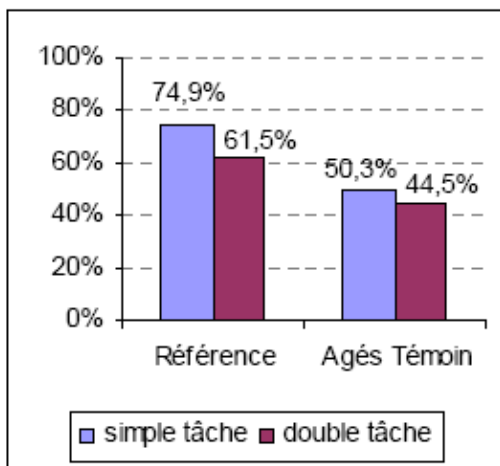
Performance globale: 50.3% de détection
 Performance en fonction de la nature des éléments modifiés : signalisation < événements *
 Performance en fonction de la distance des éléments modifiés :
 - (zone 1 = zone 2 = zone 3) NS
 - zone 3 > zone 4 ***

Synthèse effet de l'âge en ST

Effet sur la performance globale ***
 Effet en fonction de la nature des éléments modifiés :
 - signalisation ***
 - événements ***
 Dégradation en fonction de la distance des éléments modifiés :
 - zone 1 ***
 - zone 2 ***
 - zone 3 ***
 - zone 4 NS

4.4.1.2 Diminution des ressources cognitives disponibles et effet de l'âge

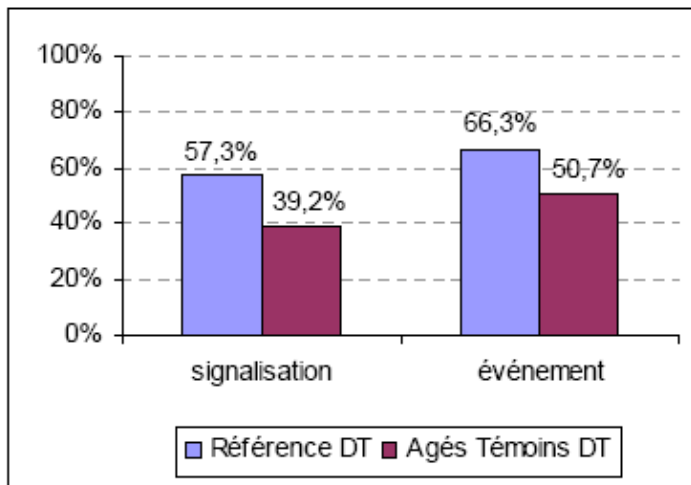
Figure 71: Impact Global de la DT en fonction de l'âge



Globalement, en situation de double tâche le groupe « âgés témoins » détecte 44.5% des modifications alors que la performance globale de référence en DT est de 61.5%. Cet écart est significatif ($t=4.591$ $p=0.00001$). Parallèlement, la figure 71 met en regard l'impact de la DT sur les performances globales pour le groupe de référence et pour les « âgés témoins ». Nous nous souvenons que l'impact de la DT est significatif pour le groupe de référence. Par contre, la baisse de performance observée chez les « âgés témoins » de 50.3% en ST à 44.5% en DT n'est pas significative ($t=1.486$ $p=0.14$).

4.4.1.2.1 Effet de l'âge et nature des éléments modifiés en DT

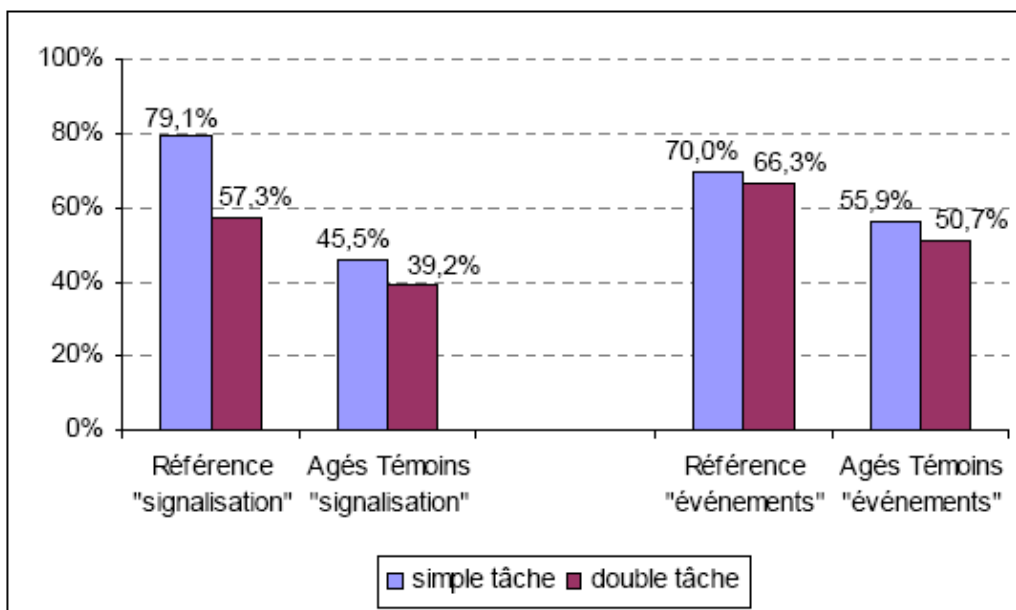
Figure 72: Effet de l'âge en fonction de la nature des éléments modifiés DT



La figure 72 montre que les « âgés témoins », en condition de double tâche, détectent 39.2% des modifications réalisées sur la signalisation et 50.7% des changements apportés sur des événements. Cet écart significatif ($= -2.081$ $p = 0.04$) met en évidence que les seniors, en DT, détectent mieux les modifications sur les événements que celles sur la signalisation. Par ailleurs, la figure 72 permet également de voir qu'en double tâche les « âgés témoins » ont des performances inférieures au groupe de référence qu'il s'agisse des modifications « signalisation » ($= 3.574$ $p = 0.001$) ou des modifications « événements » ($= 2.929$ $p = 0.01$).

4.4.1.2.2 Impact de la DT en fonction de l'âge et de la nature des éléments modifiés

Figure 73: Impact de la DT en fonction de la nature des éléments modifiés et de l'âge

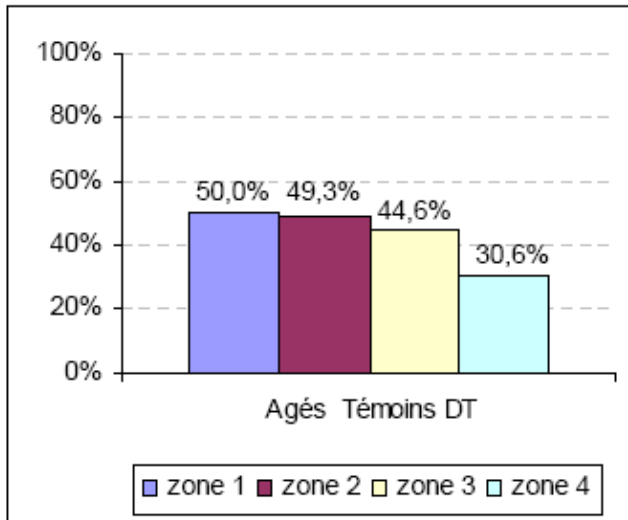


La figure 73 met en parallèle l'impact de la DT que nous avons observé pour chaque population (référence et témoins âgés) pour chaque nature d'éléments modifiés. Nous avons vu que la double tâche altérerait de manière significative la performance de référence pour les modifications « signalisation », alors qu'elle n'avait pas d'impact significatif pour les modifications « événements ». Chez les « âgés témoins » nous observons que la diminution des ressources cognitives provoque une baisse des performances pour les deux types de modifications. Cependant, cette altération n'est jamais significative ($_{(signalisation)} = 1.187$ $p = 0.24$; $_{(événements)} = 0.92$ $p = 0.36$). En d'autres termes, la double tâche n'a pas d'impact significatif sur les

performances des « âgés témoins » quelque soit la nature des modifications (signalisation ou événements) alors que les performances de références étaient dégradées par la DT pour les modifications « signalisation ».

4.4.1.2.3 Effet de l'âge et distance des éléments modifiés en DT

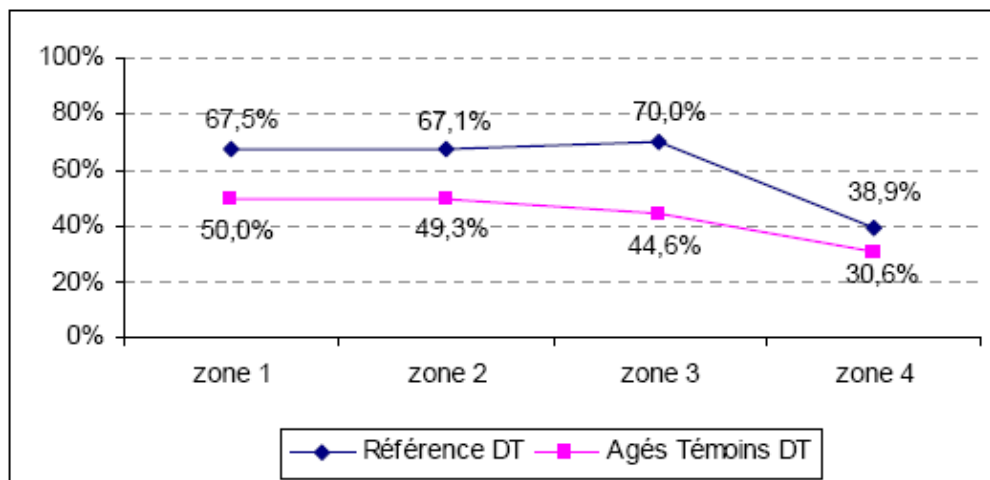
Figure 74: Performances des "Agés Témoins" en fonction de la distance des éléments modifiés DT



La figure 74 représente les performances des « âgés témoins » en double tâche en fonction de la distance des objets modifiés. Nous n'observons pas de différences significatives entre les zones 1 et 2 ($=0.097$ $p=0.93$), ni entre les zones 2 et 3 ($=0.583$ $p=0.56$), ni entre les zones 3 et 4 ($=1.64$ $p=0.10$). En revanche, les sujets détectent significativement mieux les modifications de la zone 1 par rapport à celles de la zone 4 ($=2.313$ $p=0.03$) ; ainsi que les modifications de la zone 2 par rapport à celles de la zone 4 ($=2.594$ $p=0.01$).

Si nous comparons ces résultats aux performances de références en DT, nous notons que les conducteurs seniors obtiennent des résultats inférieures pour la zone 1 ($=2.128$ $p=0.04$), la zone 2 ($=3.147$ $p=0.01$) et la zone 3 ($=2.873$ $p=0.01$). (figure 75)

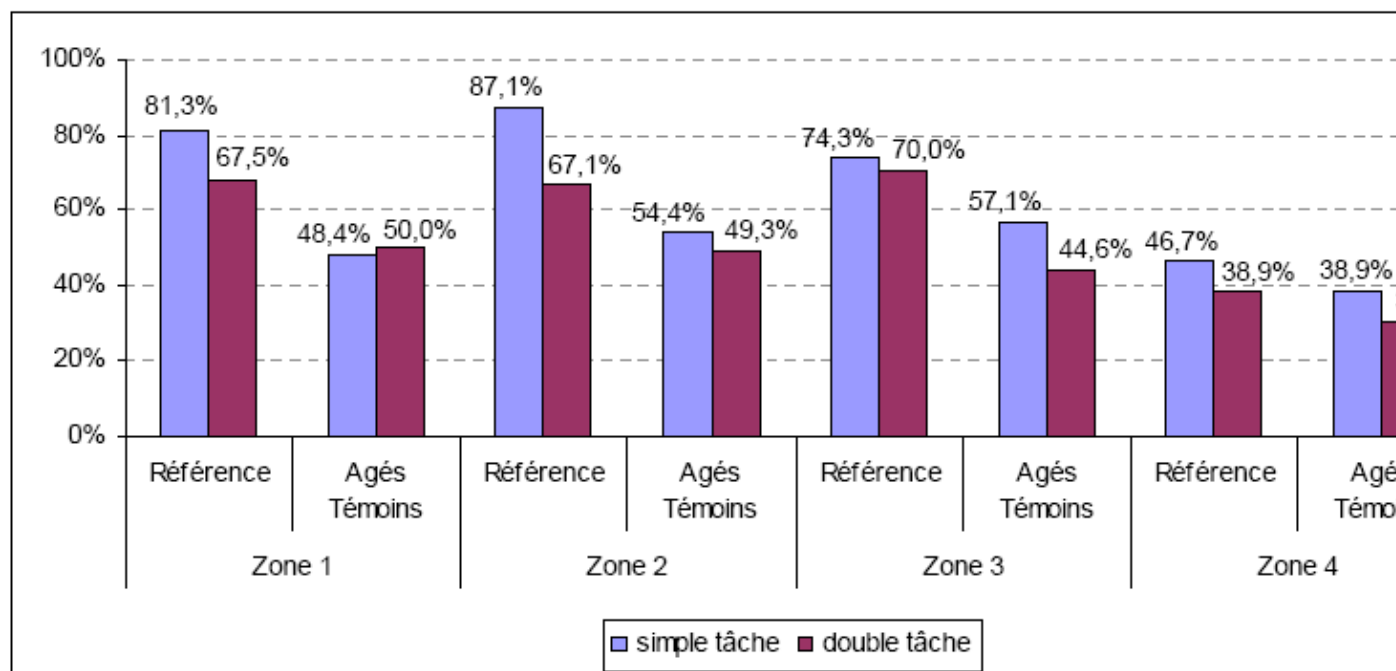
Figure 75: Effet de l'âge en fonction de la distance des éléments modifiés DT



4.4.1.2.4 Impact de la DT en fonction de la distance des éléments modifiés

Si l'on considère les résultats des « âgés témoins » en fonction des distances des objets modifiés en ST et en DT aucun impact significatif de la double tâche n'apparaît ($_{(zone1)}=-0.177$ $p=0.08$; $_{(zone2)}=0.849$ $p=.040$; $_{(zone3)}=1.323$ $p=0.19$; $_{(zone4)}=1.05$ $p=0.29$). La figure 76 met en regard ces données et celles relatives à l'impact de la DT pour la population de référence. Nous remarquons effectivement que les altérations provoquées par la DT chez le groupe de référence (zones 1 et 2) n'existent pas chez les conducteurs âgés.

Figure 76 : Impact de la DT en fonction de la distance des éléments modifiés et de l'âge



4.4.1.2.5 Synthèse des résultats des « âgés témoins » en double tâche

Performance globale: 44.5%

Performance en fonction de la nature des éléments modifiés :

- Signalisation < événements ***

Performance en fonction de la distance des éléments modifiés :

- zone 1 > zone 4 ***
- zone 2 > zone 4 ***

Synthèse impact de la DT pour les âgés témoins

Dégradation performance globale : NS

Dégradation en fonction de la nature de l'élément modifié :

- signalisation :NS
- événements :NS

Dégradation en fonction de la distance de l'élément modifié :

- zone 1 à zone 4 : NS

Synthèse effet de l'âge en DT

Effet sur la performance globale : NS

Effet en fonction de la nature des éléments modifiés :

- signalisation ***
- événements ***

Effet en fonction de la distance des éléments modifiés :

- zone 1 ***
- zone 2 ***
- zone 3 ***
- zone 4 : NS

4.4.1.3 Discussion « effet de l'âge »

D'un point de vue global, nos résultats soulignent des données déjà connues. Le vieillissement est responsable d'une certaine dégradation des capacités cognitives et plus particulièrement des capacités visuelles et attentionnelles qui peuvent avoir des conséquences sur l'activité de conduite automobile (Gabaude, 2001, 2003).

En effet, nous avons vu que toutes les performances des conducteurs âgés (conducteurs expérimentés âgés) en simple tâche, comme en double tâche, obtenues à OSCAR sont significativement plus basses que celles du groupe de référence (conducteurs expérimentés jeunes).

Cependant, nous observons que la double tâche n'altère pas les performances de détections des conducteurs âgés. Néanmoins, plusieurs études soulignent les difficultés des seniors dans des situations de double tâche et/ou d'activités complexes (Hasher & Zacks, 1988; Rabbitt, 1965; Salthouse et al., 1984; Salthouse & Somberg, 1982). Toutefois, nous avons noté que pour des tâches impliquant une forte pression temporelle, l'aspect de la double tâche pouvait être masqué par la complexité inhérente à la tâche. Nos données permettent d'émettre plusieurs hypothèses pouvant expliquer que cette difficulté a beaucoup marqué les résultats des conducteurs âgés à OSCAR.

Premièrement, les performances de ces sujets étaient déjà trop basses en simple tâche pour que nous puissions les dégrader, elles représenteraient alors une sorte de niveau seuil de performance. Toutefois, si nous n'observons pas d'impact significatif de la double tâche, nous observons tout de même une baisse des performances des conducteurs âgés...

Deuxièmement, compte tenu de leur plus grande pratique de la conduite, l'activité de ces conducteurs repose plus encore sur des processus automatisés que pour les sujets du groupe de référence. De ce point de vue, en simple tâche comme en double tâche, la majorité des processus engagés par ces sujets serait automatisée, c'est pourquoi nous ne pouvons observer d'impact significatif de la double tâche. Cependant, dans ce cas, les automatismes devraient assurer de bonnes performances aux conducteurs âgés, ce qui n'est pas le cas au vu de nos résultats. Cependant, il est possible que les processus engagés par les conducteurs âgés soient trop rigides et conservés même s'ils ne correspondaient aux situations...

Troisièmement, ce protocole n'est pas adapté à cette population spécifique de sujets âgés. En effet, autant les conducteurs jeunes se sont prêtés facilement au jeu d'OSCAR autant les conducteurs âgés ont eu plus de difficulté à entrer dans sa logique et ce pour plusieurs raisons que nous avons pu identifier au cours des passations. D'une part, ils mettaient plus de temps à comprendre le principe d'OSCAR. D'autre part, ils cherchaient beaucoup plus à comprendre les fondements du protocole que les jeunes qui l'abordaient de manière plus ludique. Comme s'ils cherchaient à comprendre en quoi OSCAR pouvait déterminer s'ils étaient de « bons conducteurs ou non ».

Par ailleurs, la double tâche a été plus difficile à mener qu'avec les sujets jeunes : nous avons eu du mal à les faire calculer quand nous le souhaitions. C'est pourquoi nous pensons que la majorité de ces conducteurs a, la plupart du temps, mis de côté notre tâche secondaire quand la situation de conduite leur demandait plus d'attention. En ce sens le non impact significatif de la DT apparaît comme un aspect positif de l'expérience de conduite qui recadre le sujet sur sa tâche principale. Aussi, bon nombre de sujets nous ont interpellés en cours de séquences pour nous dire que « nous » roulions bien trop vite. En effet, l'un des moyens d'adaptation des conducteurs âgés passe en effet par la diminution de sa vitesse de circulation afin de palier au ralentissement de sa vitesse de traitement de l'information (Hakamies-Blomqvist, 1994). OSCAR n'offrant pas la possibilité de ralentir le défilement des images nous pensons que ce sentiment de vitesse excessive a pu être la cause de nombreuses non détections de modifications. Cette explication concernerait alors les deux conditions expérimentales. De ce point de vue, nos résultats témoigneraient surtout de la difficulté des conducteurs âgés à gérer des situations complexes impliquant une forte pression temporelle.

4.4.2 Comparaison effet de l'âge vs manque d'expérience

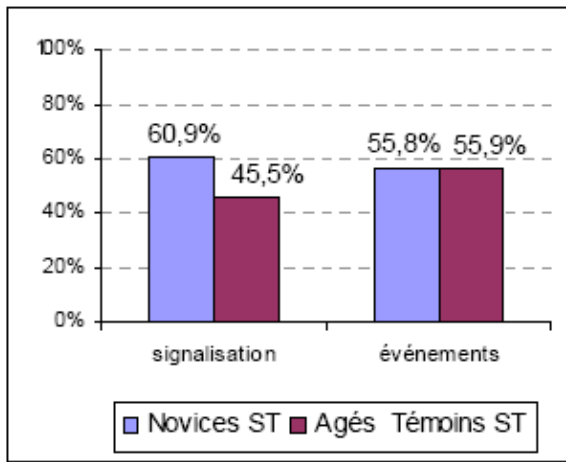
Nous venons de voir que les effets négatifs de l'âge altèrent les performances des sujets malgré leur expérience de conduite. La comparaison des performances entre le groupe novices et des conducteurs âgés témoins est donc intéressante car elle peut permettre de mettre en regard des performances obtenues par des sujets jeunes mais qui manquent d'expérience de conduite avec des résultats de sujets qui ont cette expérience mais qui sont âgés. Manque d'expérience et effet de l'âge sont-ils comparables ?

4.4.2.1 Effet de l'âge et manque d'expérience en ST

Globalement, nous avons vu que les novices détectaient en simple tâche 58.6% des modifications. Dans les mêmes conditions, le groupe « âgés témoins » ne détecte que 50.3% des modifications. Cet écart est significatif, les conducteurs jeunes et non expérimentés détectent plus de modifications que les conducteurs âgés mais expérimentés ($=2.233$ $p=0.02$).

4.4.2.1.1 Comparaison des performances, âgés vs novices, en fonction de la nature des éléments modifiés

Figure 77 Comparaison des performances "novices" vs "âgés témoins" en fonction de la nature des éléments modifiés en ST

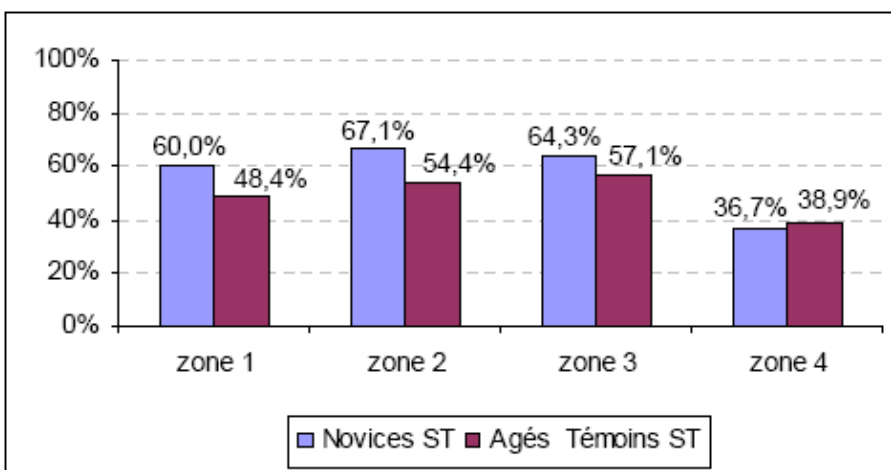


La figure 77 représente les performances de ces deux échantillons en simple tâche pour chacune des natures d'éléments modifiés. Il apparaît alors que les novices détectent significativement plus de modifications sur la signalisation que les « âgés témoins » ($=3.066$ $p=0.01$). En revanche, nous constatons que leurs résultats, pour les modifications sur les événements, ne sont pas différents significativement ($= -0.024$ $p=0.99$).

4.4.2.1.2 Comparaison des performances, âgés vs novices, en fonction de la distance des éléments modifiés

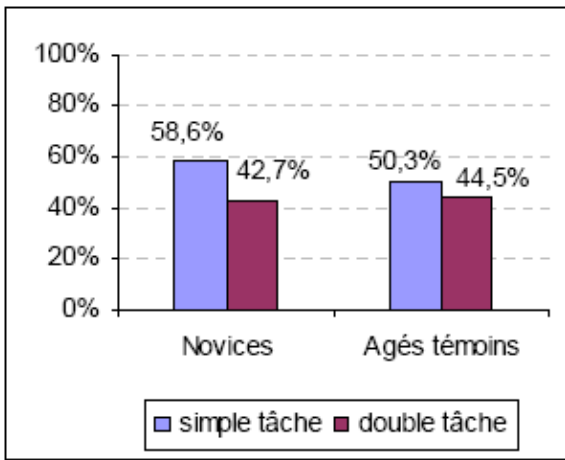
La figure 78 représente les résultats des deux groupes en simple tâche en fonction de la distance des modifications. Nous observons que pour les trois premières zones, les novices obtiennent des performances supérieures au groupe « âgés témoins ». En revanche, pour la zone 4, la performance des âgés est meilleure que celle des novices. Cependant, seule la différence de la zone 2 est significative (67.1% vs 54.4% $=2.259$ $p=0.03$).

Figure 78 : Comparaison des performances "novices" vs "âgés témoins" en fonction de la distance des éléments modifiés en ST



4.4.2.2 Effet de l'âge et manque d'expérience en DT

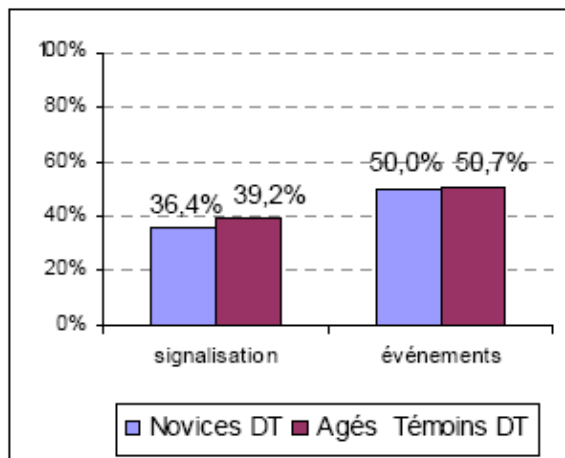
Figure 79 : Comparaison des performances globales "novices" vs "âgés témoins" en ST et en DT



En double tâche les novices détectaient 42.7% des modifications, alors que les « âgés témoins » en détectent 44.5%. Cette différence bien que non significative ($= -0.498$ $p=0.62$) est à l'avantage des conducteurs âgés. Par ailleurs, nous avons déjà comparé l'impact global de la double tâche pour ces deux populations (figure 79). Nous nous souvenons que la DT provoquait une altération significative sur les performances des novices (58.5% vs 42.7% $= 4.54$ $p=0.000$ 01) alors que la baisse de performance observée chez les « âgés témoins » n'était pas significative (50.3% vs 44.5% $= 1.486$ $p0.14$).

4.4.2.2.1 Comparaison des performances, âgés vs novices, en fonction de la nature des éléments modifiés en DT

Figure 80: Comparaison des performances "novices" et "âgés témoins" en fonction de la nature des éléments modifiés en DT



Comme le montre la figure 80 les « âgés témoins », en double tâche, détectent plus de modifications sur la signalisation que les novices, en double tâche mais cette différence n'est pas significative (36.4% vs 39.2% $= -0.58$ $p=0.57$). Par ailleurs, en ce qui concerne les modifications « événements » les performances des deux populations sont quasiment identiques (50% vs 50.7% $= -0.121$ $p=0.91$).

4.4.2.2.2 Comparaison de l'impact de la DT en fonction de la nature des éléments modifiés

Les figures ci-dessous représentent les performances des deux échantillons en simple et en double tâche pour les modifications « signalisation » (figure 81) et pour les modifications sur les événements (figure 82).

Figure 81 : Comparaison de l'impact de la DT "novices" vs "âgés témoins" pour les modifications "signalisation"

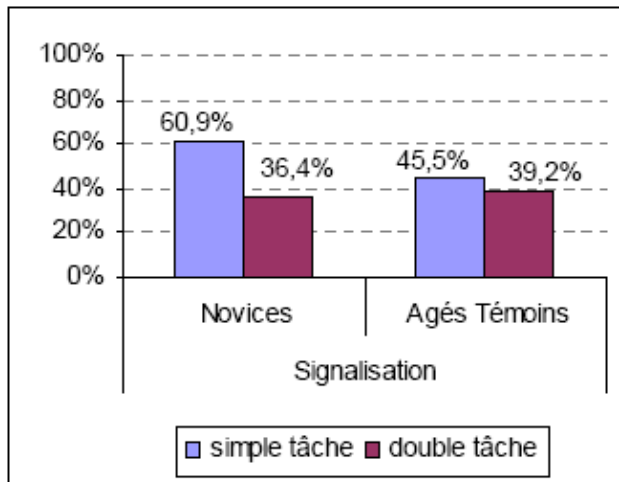
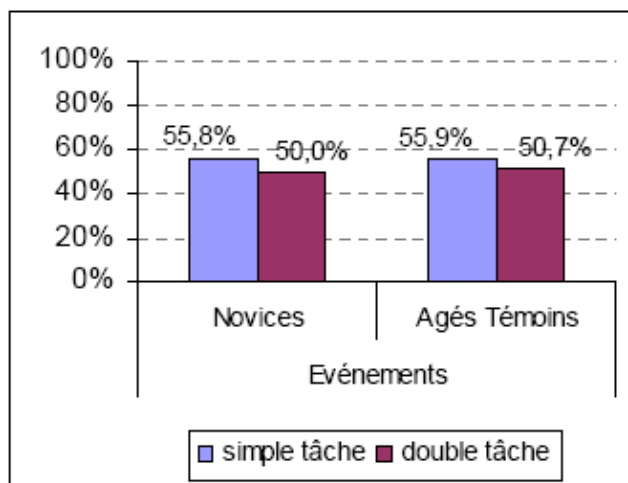


Figure 82 : Comparaison de l'impact de la DT "novices" vs "âgés témoins" pour les modifications "événements"

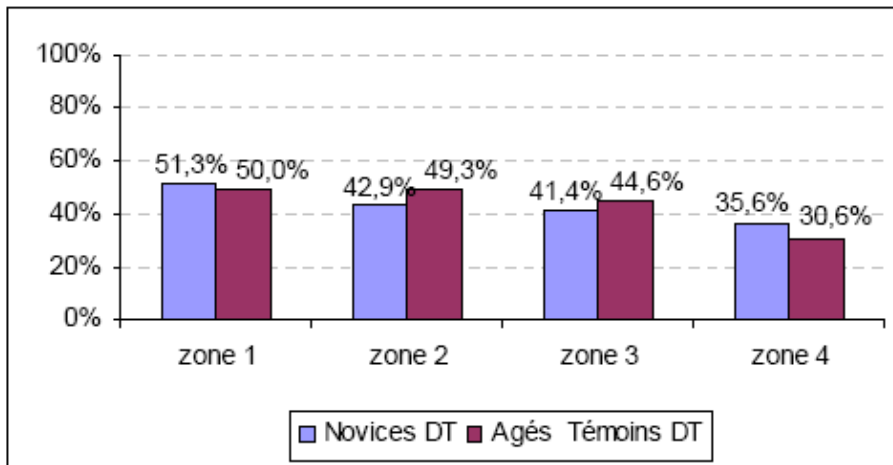


Nous avons vu que la double tâche dégradait de manière significative les performances des novices (60.9% vs 36.4% = 5.151 $p=0.000\ 001$). En revanche, la baisse de performance observée en double tâche chez les « âgés témoins » n'est pas significative (45.5% vs 39.2% = 1.187 $p=0.24$). Par ailleurs, pour les deux populations, l'impact de la double tâche n'était pas significatif pour les modifications sur les événements (novices = 1.13 $p=0.26$; âgés T = 0.92 $p=0.36$)

4.2.2.3 Comparaison des performances en fonction de la distance des éléments modifiés

La figure 83 représente les performances des deux échantillons, en double tâche, en fonction de la distance des modifications. Aucune des différences observées n'est significative ($_{zone1}=0.149$ $p=0.138$; $_{zone2}=-1.103$ $p=0.27$; $_{zone3}=-0.362$ $p=0.72$; $_{zone4}=0.671$ $p=0.51$). En effet pour les zones 1 et 4 ce sont les novices qui auraient tendances à mieux détecter les modifications alors que pour les zones 2 et 3 ce sont les conducteurs âgés.

Figure 83 : Comparaison des performances "novices" vs "âgés témoins" en fonction de la distance des éléments modifiés en DT

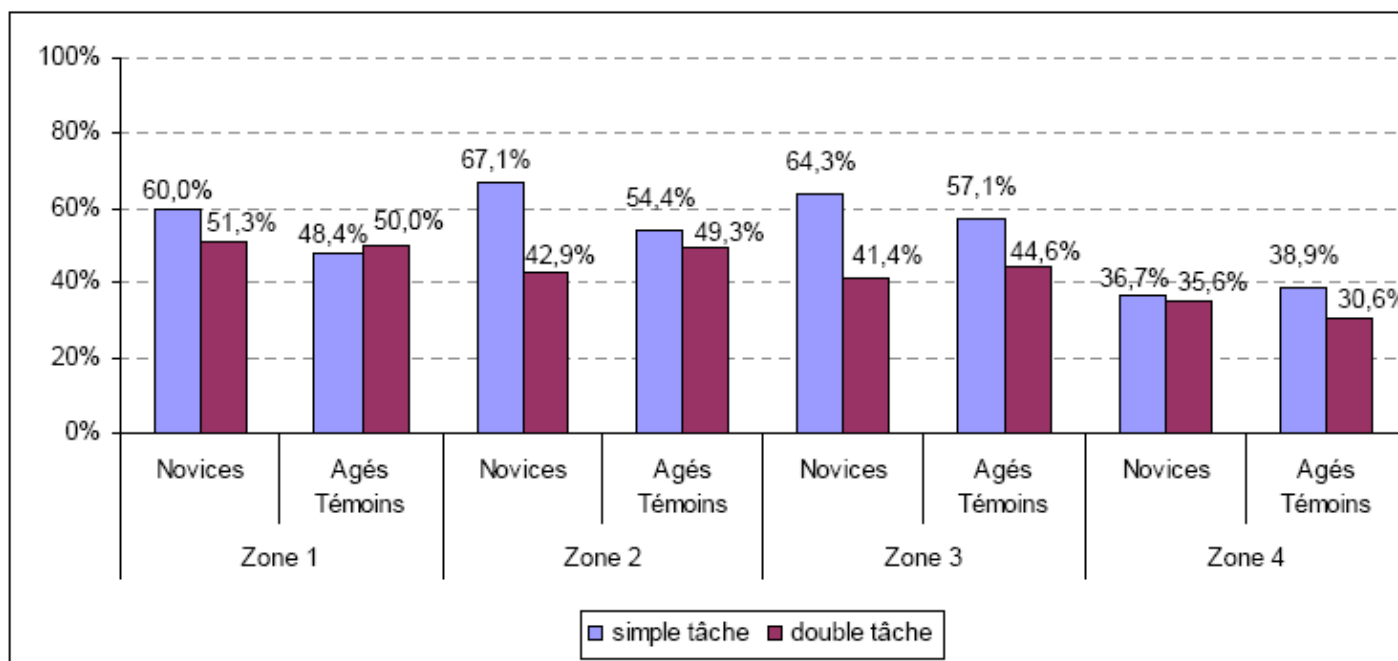


4.4.2.2.4 Comparaison de l'impact de la DT en fonction de la distance des éléments modifiés

Rappelons que pour les novices la double tâche avait un impact significatif uniquement pour la zone 2 (=67% vs 42,9% =4.469 p=0.000 01) et pour la zone 3 (64,3% vs 41,4% =2.709 p=0.01).

Par ailleurs, bien que les résultats des « âgés témoins » en DT soit plus faible qu'en ST pour les trois dernières zones, aucun impact significatif de la DT n'a été mis en évidence pour ce groupe (figure 84).

Figure 84 : Comparaison de l'impact de la DT "novices" vs "âgés témoins" en fonction de la distance des éléments modifiés



4.4.2.3 Discussion Effet de l'âge vs manque d'expérience

À travers la comparaison des performances du groupe de référence et des novices nous avons pu analyser les effets positifs de l'expérience. Lorsque nous avons ensuite comparé les performances des conducteurs âgés à notre groupe de référence nous avons vu les effets négatifs de l'âge. Maintenant, la comparaison des performances des conducteurs âgés et des jeunes conducteurs, nous permet de chercher à savoir si les effets négatifs de l'âge sont comparables aux effets négatifs du manque d'expérience.

D'un point de vue global, que l'on compare les performances du groupe de référence aux conducteurs non expérimentés ou aux conducteurs âgés, les conducteurs jeunes et expérimentés (groupe de référence) obtiennent toujours les meilleures performances quelles que soient les conditions expérimentales.

En revanche, si en simple tâche, les novices obtiennent de meilleures performances que les conducteurs âgés, ce n'est plus le cas en double tâche. En effet, privés d'une partie de leur ressources cognitives les conducteurs non expérimentés et les conducteurs âgés obtiennent des performances globales qui ne sont pas différentes significativement (novices : 42.7% vs âgés : 44.5% ; $p=-0.498$). L'expérience permet-elle, sur certaines dimensions, de palier les déficits de l'âge ? L'analyse des différentes comparaisons intergroupes pour chacune des dimensions d'OSCAR montre un résultat intéressant en situation de simple tâche et quelques tendances non significatives en double tâche pouvant répondre à cette question.

En simple tâche, les novices obtiennent des performances significativement meilleures que les conducteurs âgés uniquement pour les modifications sur la signalisation et les modifications situées entre 15 et 25m. En revanche, les performances de ces deux groupes sont équivalentes pour toutes les autres dimensions (ie : pas de différence significative). Le résultat le plus probant concerne les événements pour lesquels conducteurs novices et conducteurs âgés obtiennent d'aussi bonnes performances (55.8% vs 55.9%) bien qu'elles soient respectivement moins bonnes que pour le groupe de référence (70%).

En double tâche, les novices et les âgés obtiennent, à nouveau, des performances respectivement moins bonnes que le groupe de référence. En revanche, nous n'observons plus aucune différence significative entre les performances des deux groupes. Concernant les modifications sur les événements les novices et les âgés conservent comme en simple tâche des performances très proches (50% vs 50.7%). Nous avons vu que le caractère dynamique des événements leur assurait une robustesse à la double tâche quelle que soit l'expérience de conduite. Nous pouvons ajouter que cette robustesse résiste également aux effets de l'âge.

Par ailleurs, pour plusieurs dimensions nous observons même que les conducteurs âgés ont des performances de détections de modifications plus élevées que les novices. Bien que ces différences ne soient pas significatives, elles nous indiquent des tendances. Il s'agit des performances de détections :

- sur les éléments de signalisation :

- ♦ référence : 57.3% ;
- ♦ novices : 36.4% ;
- ♦ âgés témoins 39.2% ;

- sur les éléments de la zone 2 (entre 15 et 25m) :

- ♦ référence : 67.1% ;
- ♦ novices : 42.9% ;

♦ âgés témoins : 49.3% ;

- sur les éléments de la zone 3 (entre 25 et 50m)

♦ référence : 70% ;

♦ novices : 41.4%,

♦ âgés témoins : 44.6%.

Comparées ces performances montrent bien qu'en double tâche les conducteurs âgés trouvent leur place entre les jeunes conducteurs expérimentés et les jeunes conducteurs non expérimentés. Par ailleurs, nous notons que les deux zones pour lesquelles les âgés obtiennent des performances sensiblement meilleures que les novices sont les deux mêmes zones où nous avons observé un impact significatif de la double tâche chez les novices (zone 2 et zone 3). Aussi, la zone 3 était la zone pour laquelle nous n'observions pas d'impact significatif de la double tâche pour le groupe de référence.

Paradoxalement, c'est en double tâche que leur expérience de conduite leur permet le plus d'atteindre le niveau de performances des conducteurs non expérimentés mais jeunes. Cependant, l'expérience ne leur permet pas de rivaliser totalement les effets négatifs dus au vieillissement.

4.4.3 Conducteurs âgés et âgés multi accidentés

Notre second échantillon de conducteurs seniors est composé de personnes ayant été reconnues responsables d'au moins trois sinistres au cours des trois années précédant notre expérimentation. La comparaison de leurs résultats au groupe témoins de conducteurs seniors nous a permis de tester la validité d'OSCAR pour distinguer des populations de sujets sur un nouveau critère.

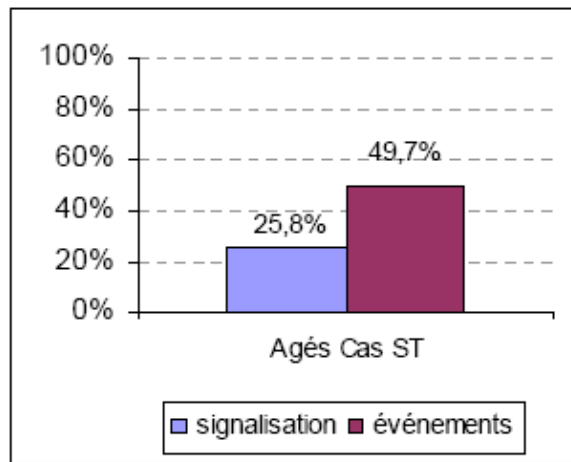
4.4.3.1 Les multi-accidentés en simple tâche

Globalement, en simple tâche, les « âgés cas » détectent 36.9% des modifications alors que les « âgés témoins » en détectaient 50.3%. Le « groupe cas » détecte significativement moins de modifications que le groupe témoin ($t=3.578$ $p=0.001$).

4.4.3.1.1 La nature des éléments modifiés a-t-elle une influence sur les performances de détections des conducteurs « âgés cas » en ST ?

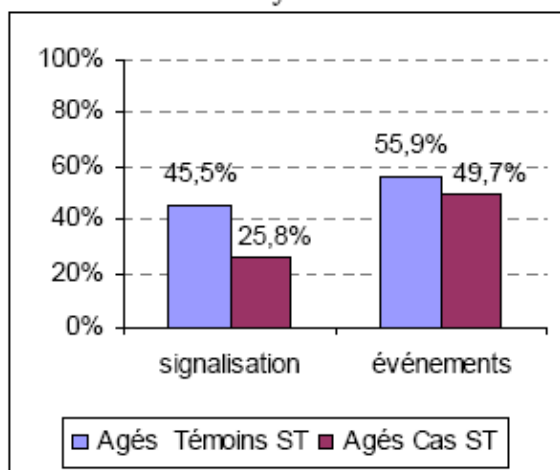
En simple tâche, le groupe de conducteurs « âgés cas » détectent 25.8% des modifications « signalisation » et 49.7% des modifications « événements » (figure 85). Cet écart est significatif ($t=-4.756$ $p=0.00001$). Le groupe « âgés cas » détectent donc mieux les modifications sur les événements que celles sur la signalisation.

Figure 85 : Performances "Agés Cas" en fonction de la nature des éléments modifiés ST



En comparant ces résultats à ceux du groupe « âgés témoins » (figure 86), nous observons que le groupe cas obtient des performances inférieures au groupe témoin pour les deux types de modifications. Cependant, cette différence n'est significative que pour les modifications sur la signalisation ($\chi^2(1) = 3.986$ $p = 0.000$ 1).

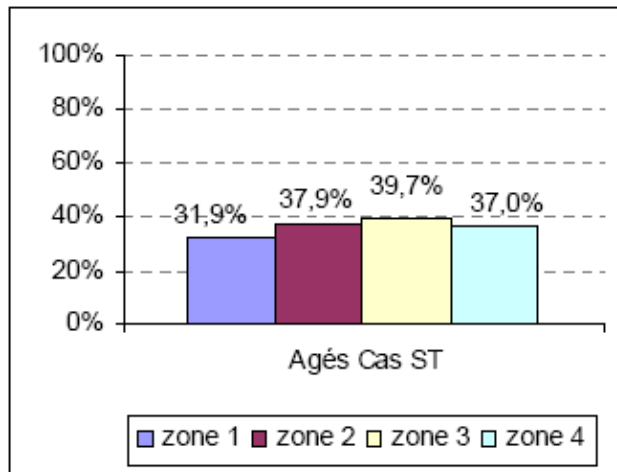
Figure 86 : Comparaisons "Témoins" vs "Cas" en fonction de la nature des éléments modifiés ST



4.4.3.1.2 La distance des éléments modifiés a-t-elle une influence sur les performances de détections des conducteurs « âgés cas » en ST ?

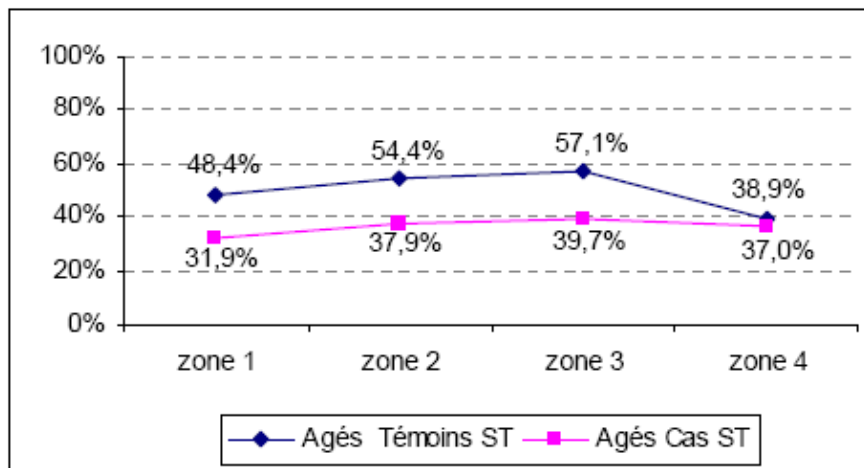
Comme le montre la figure 87, les résultats du groupe « âgés cas », en simple tâche, ne varient pas en fonction de la distance des modifications, même si nous considérons les performances les plus différentes, zone 1 et zone 4 ($r = -0.661$ $p = 0.51$).

Figure 87: Performances des "Agés Cas" en fonction de la distance des éléments modifiés Simple Tâche



En revanche si pour chaque zone nous comparons ces performances avec celles du groupe témoin nous remarquons que « les cas » ont souvent des performances moins bonnes que « les témoins » (figure 88). En effet, alors que les témoins détectaient 48.4% des modifications de la zone 1, les cas n'en détectent plus que 31.9% ($=1.962$ $p=0.05$). De même pour la seconde zone les témoins détectaient 54.4% alors que les cas n'en détectent que 37.9% ($=2.811$ $p=0.01$). Enfin, pour la zone 3, le résultat des témoins était de 57.1% contre 39.7% pour les cas ($=1.903$ $p=0.06$). Cette différence n'est pas significative mais représente tout de même une tendance forte. Seules les performances de la dernière zone ne mettent pas en évidence de différence significative entre les deux groupes ($=0.236$ $p=0.82$).

Figure 88: Comparaison "Témoins" vs "Cas" en fonction de la distance des objets modifiés ST



4.4.3.1.3 Synthèse des résultats des âgés cas en simple tâche

Performance globale: 36.9% de détection
 Performance en fonction de la nature des éléments modifiés :
 - signalisation < événements ***
 Performance en fonction de la distance des éléments modifiés :
 - zone 1 = zone 2 = zone 3 = zone 4 NS

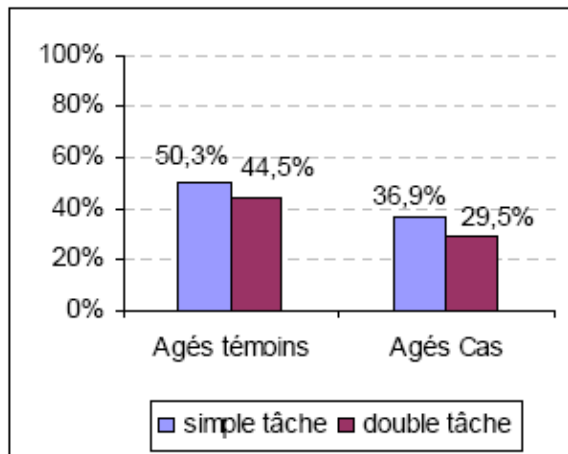
Synthèse effet « cas » en ST

Effet sur la performance globale ***
 Effet en fonction de la nature des éléments modifiés :
 - signalisation ***
 - événements ***
 Dégradation en fonction de la distance des éléments modifiés :
 - zone 1 ***
 - zone 2 ***
 - zone 3 *
 - zone 4 NS

4.4.3.2 Les multi accidentés en double tâche

Globalement, en double tâche le groupe « âgés cas » ne détecte plus que 29.5% des modifications. Cette performance est significativement inférieure au résultat des témoins en double tâche qui était de 44.5% (=4.096 p=0.000 1). Si nous comparons l'impact de la double tâche pour ces deux groupes (figure 89) nous observons que si la performance globale des témoins n'était pas dégradée, significativement, par la DT, celle des « âgés cas » l'est (=2.111 p=0.04).

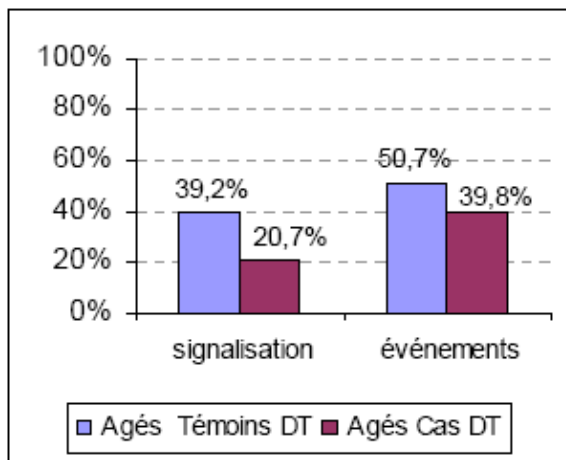
Figure 89: Comparaison de l'impact global de la DT "témoins" vs "cas"



4.4.3.2.1 La nature des éléments modifiés a-t-elle une influence sur les performances de détections des conducteurs « âgés cas » en DT ?

En double tâche, le groupe « âgés cas » détecte 20,7% des modifications « signalisation » et 39,8% des modifications « événements ». Ces sujets sont donc meilleurs pour les modifications sur les événements (=4.002 p=0.000 1). En outre, la figure 90 met en évidence que pour les modifications sur la signalisation les cas ont des performances significativement plus basses que les témoins (=3.919 p=0.000 1). En revanche, les performances observés pour les modifications sur les événements sont plus basses pour « les cas » que pour les « témoins », mais cette différence n'est pas significative (=1.849 p=0.07).

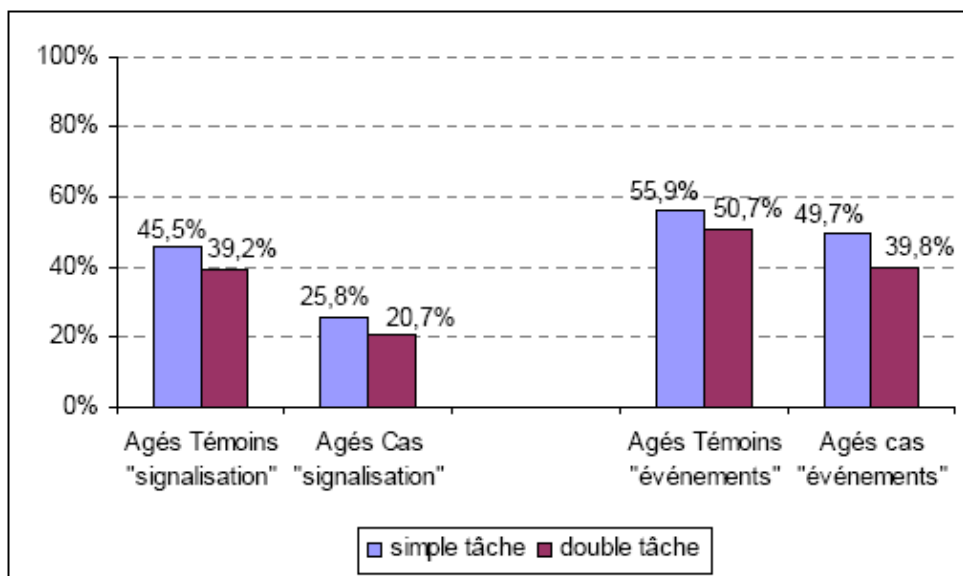
Figure 90: Comparaison "témoins" vs "cas en fonction de la nature des éléments modifiés " DT



4.4.3.2.2 Impact de la DT pour les « âgés témoins » vs les « âgés cas » en fonction de la nature des éléments modifiés

La figure 91 permet de comparer l'impact de la DT pour les deux groupes de conducteurs âgés et pour chacune des natures d'objets modifiés.

Figure 91: Comparaison de l'impact de la DT en fonction de la nature des éléments modifiés "témoins" vs "cas"

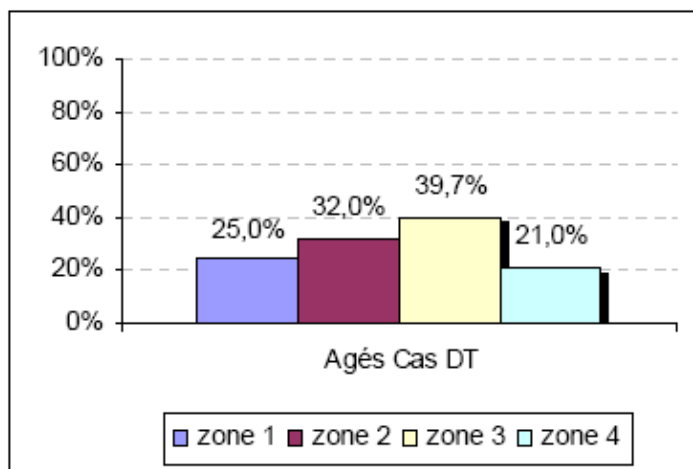


Nous avons vu plus haut que les performances des témoins n'étaient pas perturbées de manière significative par la double tâche. Nous observons le même type de résultats chez les cas. En simple tâche ces derniers détectaient 25,8% des modifications « signalisation » contre 20,7% en double tâche, cette différence n'est pas significative ($=1.19$ $p=0.27$). Par ailleurs, le groupe « âgés cas » détecte 49,7% des modifications « événements » en ST contre 39,8% en DT cette altération n'est pas significative mais représente tout de même une tendance ($=1.849$ $p=0.07$).

4.4.3.2.3 La distance des éléments modifiés a-t-elle une influence sur les performances de détections des conducteurs « âgés cas » ?

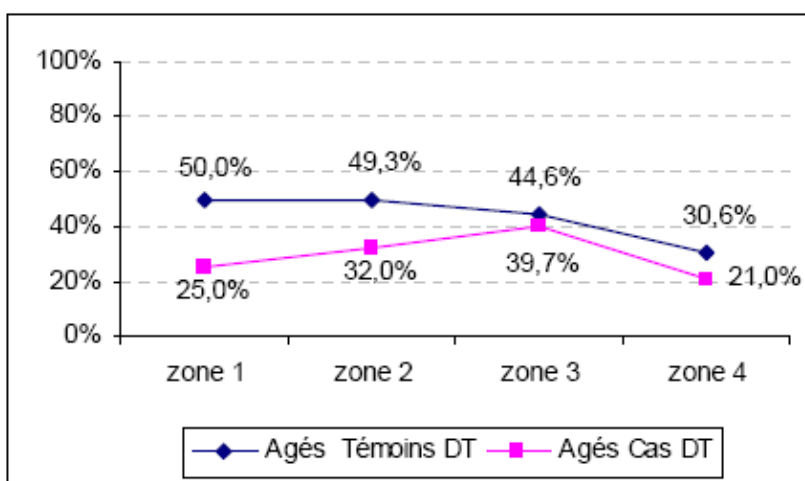
La figure 92 représente les performances du groupe « âgés cas » en double tâche, en fonction de la distance des éléments modifiés. Nous observons que ces sujets obtiennent des résultats significativement meilleurs pour les modifications de la zone 3 par rapport à la zone 4 ($=2.448$ $p=0.02$). Ils ont également tendance à mieux détecter les modifications de la zone 3 que celles de la zone 1 ($=-1.827$ $p=0.07$). Les autres différences visibles sur la figure 92 ne sont pas significatives. Le groupe « âgé cas » semblent donc privilégier la zone 3 (entre 25 et 50m).

Figure 92: Performance des "Agés Cas" en fonction de la distance de l'élément modifié DT



Par ailleurs, nous avons comparé ces résultats à ceux du groupe témoins en DT (figure 93). Ce graphe permet de constater que les performances des cas sont inférieures pour les zones 1, 2 et 4. Les écarts visibles pour la zone 1 ($=3.018$ $p=0.01$) et pour la zone 2 ($=2.984$ $p=0.01$) sont significatifs. En revanche l'écart d'environ 10% de la zone 4 n'est pas significatif ($=1.355$ $p=0.18$). Enfin, nous notons que les performances respectives des deux groupes pour la zone 3 sont très proches. En effet les témoins détectaient 44.6% des modifications de la quatrième zone, les cas en détectent 39.7% ($=0.547$ $p=0.69$).

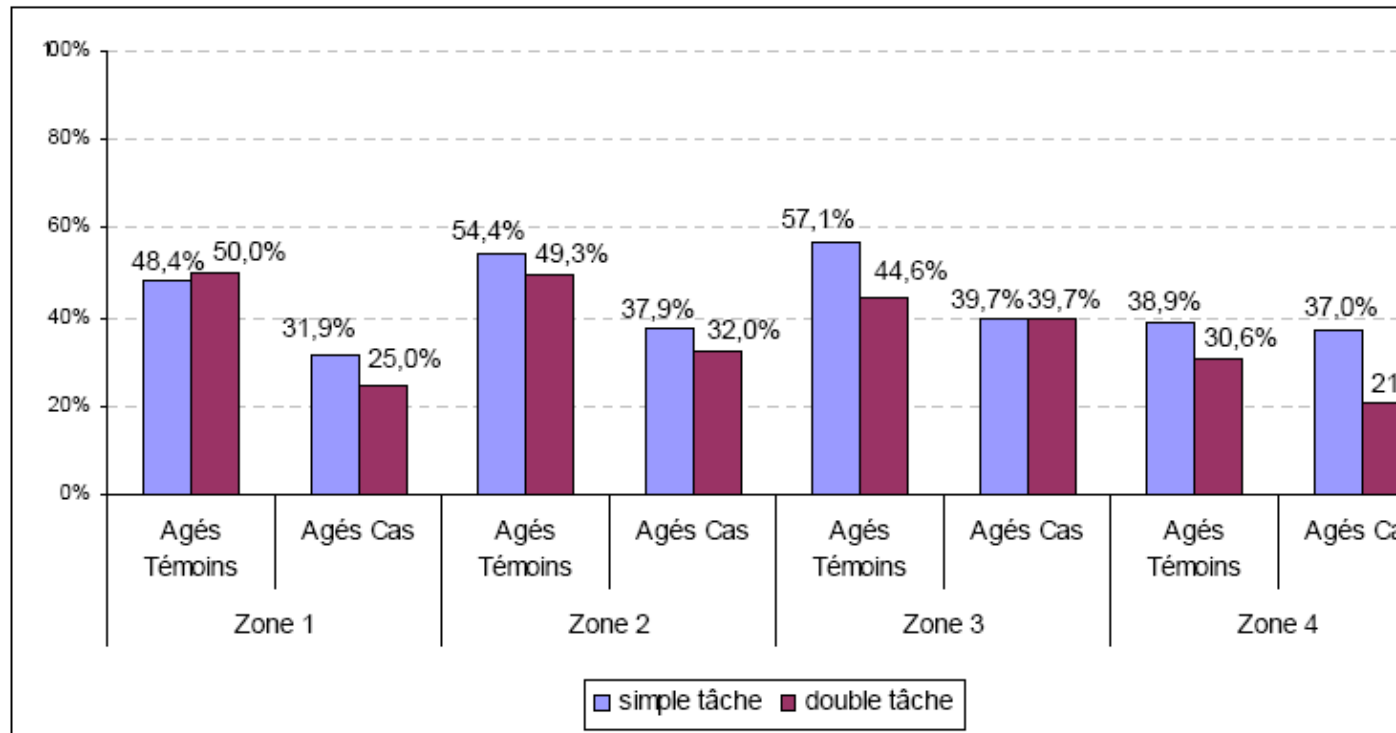
Figure 93: Comparaison des performances "témoins" vs "âgés" en fonction de la distance des éléments modifiés DT



4.4.3.2.4 Impact de la DT pour les « âgés témoins » vs les « âgés cas » en fonction de la distance des éléments modifiés

Pour le groupe des « âgés témoins » aucun impact significatif, de la double tâche, n'avait été mis en évidence pour les quatre zones. La figure 94 nous permet de constater que nous n'obtenons pas les mêmes résultats pour « les cas ». En effet, pour la quatrième zone les performances des « âgés cas » sont significativement altérées par la double tâche ($=2.251$ $p=0.02$). Nous soulignons aussi l'absence total d'effet de la DT pour « les cas » en ce qui concerne les performances de la zone 3 ($=0$ $p=1$).

Figure 94: Comparaison de l'impact de la DT "témoins" vs "cas" en fonction de la distance des éléments modifiés



4.4.3.3 Discussion OSCAR-VISA

Nous nous attendions à trouver des résultats particuliers pour cette dernière population de conducteurs atypiques. Cependant, nous avons émis l'hypothèse que les performances des sujets « âgés témoins » puissent indiquer un niveau plancher à OSCAR. Or, nous avons constaté des performances significativement plus basses chez les conducteurs « âgés cas ». En effet, en simple tâche comme en double tâche cette population obtient des performances globales avoisinant les 30% de détections de modifications. Le principal résultat et le plus critique porte sur les détections de modifications sur la signalisation pour lesquelles même en simple tâche cette population ne détecte que 25% de nos modifications. En revanche, leurs performances pour les détections « événements » sont équivalentes à celles obtenues par le groupe témoin pour les deux conditions expérimentales. C'est-à-dire que les conducteurs « âgés cas » ne prennent quasiment plus en compte les informations de signalisation.

Si nous replaçons cette expérimentation d'OSCAR au sein de l'étude VISA, les données des autres tests nous apportent des données complémentaires sur ces résultats (Gabaude, Pauzie, Claudel, & Bailly, 2003). Premièrement, les résultats de TEVIC indiquent que la différence entre les témoins et les cas pour le test de perception des mouvements et des contrastes n'est pas significative (Gabaude et al 2003). Ce résultat est sans doute explicatif de l'absence de différence significative entre les deux groupes pour les performances obtenus à OSCAR pour les détections des modifications sur les événements. Par contre, une différence intergroupe

significative est soulignée pour le test du code de Weschler ($p=0.029$). *Les individus du groupe témoin ont un ralentissement cognitif et moteur moins important que ceux du groupe cas* (Gabaude et al 2003 p 27). Ce résultat peut à son tour expliquer une partie des résultats d'OSCAR. En effet, les performances les plus faibles des conducteurs âgés multi accidentés concernent les modifications sur les éléments de signalisation. Or le traitement de ces informations est sans aucun doute celui qui nécessite plus de ressources cognitives. Ces résultats tendent à prouver que le ralentissement cognitif des sujets âgés serait à l'origine de leurs très faibles performances pour les détections des modifications sur les éléments de signalisation.

Enfin, les informations les plus pertinentes pour OSCAR concernent l'analyse des scores de conduite obtenus par les deux groupes. Un score de pénalité global a été calculé en fonction des erreurs commises par les conducteurs lors du circuit sur route. Une différence significative apparaît entre témoins et cas, les individus cas ayant un score de pénalité moyen plus élevé. Ce score global est obtenu par le cumul de score de pénalité de plusieurs sous catégories (contrôle rétroviseurs, exploration visuelle, clignotant, choix de file, respect de signalisation et positionnement sur la voie). Or, la comparaison intergroupe des scores pour chacune de ces catégories ne laisse apparaître qu'une seule différence significative, elle porte sur le critère « Respect de la signalisation », les individus « cas » commettant plus d'infractions. De ce fait, la performance de ce groupe pour les modifications sur les éléments de signalisation devient tout à fait cohérente avec ce score qui a été calculé lors de leur séance de conduite sur route. Nous pensions que les difficultés rentrées par les âgés lors de notre protocole était fortement liée à leur incapacité de réguler la vitesse du défilement des images (ie : vitesse du véhicule) et que de ce fait, ils n'avaient pas suffisamment de temps pour prendre en compte les informations de signalisation. Cependant, sur le parcours sur route, ils circulaient à la vitesse qu'ils désiraient. Ces données suggèrent que les faibles performances du groupe cas, notamment pour les modifications « signalisation », ne proviennent pas exclusivement de notre protocole.

OSCAR permet donc de discriminer ces deux groupes de conducteurs âgés de la même manière que les autres tests utilisés qu'il s'agisse de test de laboratoire classiques (Wechsler) ou appliqués à la conduite (TEVIC) ou bien de conduite sur route. Par ailleurs, comme le note Gabaude et al (2003, p35), pour l'ensemble des sujets âgés *pour le test OSCAR aussi bien les pourcentage de détections en simple tâche qu'en double tâche est significativement corrélé avec le score de pénalité* ($r_{st}=-0.36$ $p=0.037$; $r_{dt}=-0.46$ $p=0.006$). Ce dernier résultat tend à prouver que malgré les précautions que nous avons présentées sur la non-adaptation d'OSCAR à la population spécifique que sont les conducteurs âgés, les résultats obtenus tendent à retranscrire un reflet juste de leur conduite réelle.

Cette seconde expérimentation nous a permis de tester OSCAR auprès de deux populations spécifiques pour qui ce protocole n'avait pas été particulièrement pensé. Malgré cela, les résultats recueillis témoignent des difficultés que peut amener le vieillissement cognitif normal. En outre, la comparaison des conducteurs âgés témoins, avec les conducteurs jeunes non expérimentés nous ont permis de voir que lorsque ces deux populations doivent mener une activité parallèle à leur conduite, leur performance ne sont plus si éloignées qu'en situation de simple tâche. D'un point de vue général, nous pensons que les faibles performances des « âgés témoins » reflètent les difficultés conséquentes d'un ralentissement cognitif.

Par ailleurs, notre participation à l'étude VISA nous a permis de mieux prendre connaissance d'un domaine recherche proche de notre thématique mais tout de même très spécifique : les conducteurs âgés. Au cours des passations d'OSCAR, nous avons assez mal vécu le fait de « bousculer » ces sujets. Aussi, nous pensons que le contexte dans lequel OSCAR a été utilisé n'était pas le meilleur. Cette critique ne porte pas sur l'étude VISA, mais sur le ressenti que ces sujets ont eu de notre protocole. Les autres tests utilisés étaient mieux vécus par les sujets âgés. Alors qu'OSCAR conservait un trop grand mystère sur les objectifs que nous poursuivions, il nous a semblé que les sujets âgés se sont énormément sentis « jugés » par notre protocole, comme si nous avions le pouvoir de les décréter « bon ou mauvais conducteurs ». Ceci peut s'expliquer par le fait que tous les sujets ont passé OSCAR en fin de journée, après toute une batterie de tests les mettant plus ou moins en difficulté, et les fatiguant, OSCAR aurait donc été la goutte d'eau... Ou alors, cela provient du fait que contrairement aux autres tests nous ne leur fournissions pas de retour sur leur performance.

Au cours de la présentation de ces résultats, nous avons, à plusieurs reprises, insisté sur le fait que nous pensions qu'OSCAR n'était pas adapté à la population des âgés. Aujourd'hui encore nous pensons qu'une adaptation d'OSCAR serait nécessaire dans le cas où de nouvelles études envisageraient d'utiliser à nouveau OSCAR pour des sujets âgés. Par ailleurs, lors de nos interactions avec l'équipe du LESCOT qui travaille spécifiquement sur les conducteurs âgés, nous avons pensé à d'autres formes de protocoles, proches d'OSCAR, dans le principe, mais sans doute plus adaptés à cette population. Dans le cas où une adaptation d'OSCAR serait envisagée nous pouvons déjà souligner quelques points à améliorer. Premièrement, nous pensons qu'il serait indispensable de réaliser des prises de vue à une vitesse plus lente, correspondant plus à la vitesse de circulation des âgés. Deuxièmement, il faudrait que le temps de passation de l'expérimentation soit plus court, nous avons dû aménager plus de pauses que pour les sujets jeunes. Troisièmement, le nombre de pré-test devrait être augmenté afin de présenter aux sujets âgés encore plus de types de modifications possibles. En effet, nous avons remarqué une sorte de rigidité à ce niveau là. C'est-à-dire que lorsqu'un sujet avait détecté une modification et qu'il était convaincu qu'elle était bonne, il avait tendance, lors des séquences suivantes, à se focaliser sur le même type d'élément et à répondre les mêmes choses.

4.5 Discussion Générale sur OSCAR

Suite à nos expérimentations notre discussion s'articulera en trois points. Premièrement nous reviendrons brièvement sur nos trois premiers chapitres afin de rappeler notre champ d'investigation. Deuxièmement, nous discuterons nos principaux résultats expérimentaux et chercherons à savoir ce qu'ils signifient par rapport à l'activité de conduite. Troisièmement, nous discuterons des atouts et des limites méthodologiques d'OSCAR, dans la perspective de faire évoluer le protocole, ce qui sera l'objet du cinquième chapitre de cette thèse.

4.5.1 Notre champ d'investigation

Les différentes recherches que nous avons présentées dans nos trois premiers chapitres, nous ont permis de montrer que la représentation mentale de la situation élaborée par le conducteur, ou la conscience qu'il a de la situation de conduite, n'est pas une copie conforme du réel (partie 2.1). Cette construction mentale élaborée au cours de l'activité privilégie les informations de l'environnement jugées pertinentes par le sujet pour la tâche qu'il doit mener et les buts qu'il poursuit. Le prélèvement de cette information est assuré par deux types de processus : top-down ou bottom-up qui renvoient à deux types d'attention distincts : attention active ou attention passive (partie 3.2.1). En d'autres termes, certains éléments de la situation s'imposent d'eux-mêmes au conducteur (ie : processus bottom-up, attention passive), tandis qu'une recherche active et volontaire sera à l'origine de l'intégration d'autres éléments (ie : processus top-down, attention active). Dans certains cas, les éléments particulièrement prégnants, qu'ils relèvent de la tâche de conduite ou non, peuvent devenir de véritable distracteur éloignant l'attention du conducteur de son activité principale. Par ailleurs, nous avons également vu que la qualité de la représentation mentale peut être influencée (ie : améliorée ou détériorée) par différents facteurs (ie : connaissances, expérience de conduite, automatismes, ressources cognitives disponibles, complexité de la situation). Or, c'est sur la base de cette construction mentale, le reflet de sa compréhension de la situation, que le conducteur prendra ses décisions. Par conséquent, la qualité de la représentation mentale qu'élabore le conducteur détermine l'adéquation au réel des actions qu'il mettra en œuvre. Cette représentation mentale conditionne donc sa sécurité et celle des usagers avec lesquels il partage la même situation (chacun ayant par ailleurs sa propre représentation mentale, (Munduteguy, 2001)). L'analyse des représentations mentales des conducteurs est donc un enjeu important pour les questions de sécurité routière. Néanmoins, cette construction n'existe que dans la tête du conducteur, et ne nous est donc pas directement accessible. Des outils spécifiques doivent donc être élaborés dans ce but. Après avoir présenté quelques méthodologies récemment utilisées afin d'analyser la conscience de la situation des conducteurs (ie : technique du *freeze*, méthode de la *cécité au changement*, recours au dessin ; partie 3.5), nous avons présenté notre protocole permettant l'analyse du contenu des représentations mentales de conducteurs en fonction de différentes sources de variations. Ce protocole a été utilisé auprès de 4 populations différentes de conducteurs : (1) des conducteurs expérimentés, (2) des conducteurs non expérimentés, (3) des conducteurs âgés et (4) des

conducteurs âgés multi-accidentés. Ces 4 groupes nous ont permis d'envisager certains facteurs d'influence sur l'élaboration de la représentation mentale de la situation de conduite : (1) l'effet de l'expérience, (2) l'effet de l'âge, (3) la propension de certaine population à avoir des accidents. Enfin, nous avons également utilisé le paradigme de la double tâche afin d'analyser, pour chaque population, l'impact d'une diminution des ressources cognitives disponibles sur la conscience qu'ils ont de la situation. Nous avons aussi cherché à apprécier cet effet pour chacune de ces populations respectives.

4.5.2 Nos principaux résultats : synthétiquement mais, concrètement

Globalement, pour chacune des sources de variations considérées nous avons noté que les performances de détections des modifications changeaient. Tout en présentant ces résultats de manière synthétique, nous chercherons ici ce que peuvent vouloir dire concrètement ces données. Tout d'abord nous avons observé qu'OSCAR permet d'évaluer les difficultés de chacune des populations testées. En effet, la comparaison des performances des conducteurs non expérimentés, des conducteurs âgés et des conducteurs âgés multi-accidentés à celles de notre groupe de référence (ie : des conducteurs jeunes et expérimentés) nous avons noté pour chaque échantillon des « points faibles » quelles que soient nos conditions expérimentales (ie : simple tâche et double tâche).

4.5.2.1 Représentation mentale de la situation de conduite

En simple tâche, les trois populations comparées au groupe de référence obtenaient des performances globales moins bonnes que ce dernier. D'une part, ce résultat confirme l'hypothèse initiale selon laquelle les conducteurs jeunes et expérimentés disposent du maximum d'atouts pour élaborer une représentation de la situation adéquate. D'autre part, ce constat atteste également que notre protocole permet de mettre en évidence des difficultés spécifiques à chaque population. OSCAR détient donc un pouvoir de diagnostic (ie : potentiel outil d'évaluation) des capacités et des difficultés des conducteurs.

En ce qui concerne les jeunes conducteurs non expérimentés, nous avons souligné leur difficulté à prendre en compte les éléments de signalisation et les événements aussi efficacement que les conducteurs expérimentés. Cette faiblesse les conduits à élaborer une représentation mentale plus pauvre de la situation ou, pour le moins, ne contenant pas toujours les informations nécessaires pour garantir une conduite adaptée. Nous avons également vu que les novices étaient surtout focalisés sur l'environnement proche du véhicule (ie : zone 1, moins de 15m). Ce résultat corrobore des études plus anciennes (eg Neboit 1981) soulignant la focalisation « loin devant » et par conséquent, l'anticipation des conducteurs expérimentés. La combinaison de ces deux conclusions nous amène à penser que les jeunes conducteurs seront les plus surpris par les données l'environnement. En effet, focalisés sur l'environnement immédiat, et bénéficiant de moins de connaissances pour explorer efficacement l'environnement et en extraire l'information pertinente les conducteurs peu expérimentés s'inscrivent de fait dans un mode de conduite plus « réactif » qu'anticipatif. En conséquence, ils risquent de découvrir les éléments critiques trop tardivement. Ainsi, ils auront moins de temps pour mettre en place les actions de régulation (ie : s'arrêter). Par ailleurs, il bénéficie de moins de connaissances sur « tout ce qu'il peut se produire sur la route », de ce fait, il sera plus facilement destabilisé par une situation, pour lui inattendue, voire « critique », alors que pour un conducteur expérimenté, elle serait jugée « banale ».

Sur ces aspects, nous pensons qu'OSCAR pourrait dans un premier temps permettre d'identifier les situations qui posent des difficultés à cette catégorie de conducteurs. Et à l'inverse d'identifier des conducteurs pour lesquels certaines situations particulières posent problème. Dans un second temps, il est à envisager qu'un outil basé sur le même principe qu'OSCAR pourrait permettre de sensibiliser et former les conducteurs en cours d'apprentissage à identifier ces situations et à « apprendre » à guider leur prise d'indices dans la scène routière. L'ambition ne serait pas de remplacer des années de pratique, mais (1) de sensibiliser les jeunes conducteurs à l'importance de prélever les « bonnes » informations dans la situation (2) de leur permettre de s'entraîner (hors de la circulation) à la compréhension de situation complexe lorsque l'on manque

d'expérience de conduite (3) de prendre en compte l'aspect cognitif de la conduite automobile de la même manière que l'on considère le code de la route et le maniement d'un véhicule.

De la même manière des actions de sensibilisation pourraient être menée auprès des populations, ou des conducteurs, « diagnostiqués » en difficulté pour tel ou tel type de situation. OSCAR a par exemple permis de constater les difficultés rencontrées par les conducteurs âgés. Cette fois-ci, il ne s'agit plus de conducteurs dont le souci premier est le manque de connaissances sur « la route », ou le manque d'expérience de conduite. En effet, tous les sujets de nos échantillons étaient des conducteurs expérimentés, mais âgés. Les différences que nous avons alors mis en évidence découlent directement du vieillissement cognitif normal. Nous avons vu que toutes les dimensions testées via OSCAR ont été dégradées par le vieillissement. Mais, pour plusieurs dimensions, les conducteurs âgés et les jeunes conducteurs non expérimentés ont des performances très proches. Pouvons-nous alors considérer que les seniors sont plus des conducteurs « à risque » que les jeunes conducteurs ?! Compte tenu de nos résultats expérimentaux, nous pouvons conclure que ces deux populations ont des difficultés de nature différentes, dont les causes ne sont pas identiques. Par conséquent, si pour les jeunes conducteurs de nouveau moyens de formation sont recherchés et mis en œuvre (cf partie 6), pourquoi ne pas suivre la même démarche pour les conducteurs âgés ? A l'heure où il est question de mettre en place des visites **médicales** pour diagnostiquer les conducteurs âgés « à risque », afin de retirer le permis au plus « dangereux » nous pensons qu'il ne faut pas oublier (1) les capacités acquises par l'expérience (2) les capacités d'adaptation de l'humain ! En outre, comme le prouve, de nombreuses études, par exemple la thèse de Frédérique Obriot-Claudiel (Obriot-Claudiel & Gabaude, 2003, 2004), actuellement en cours au sein du LESCOT, la tendance des recherches actuelles sur les seniors ne visent plus à les stigmatiser en tant que « mauvais conducteurs », mais à identifier leurs besoins afin de mettre en place des formations continues spécifiques leur permettant de rester sur la route en toute sécurité en fonction de leur capacité individuelle. OSCAR pourrait nous renseigner, au cas par cas, sur les difficultés rencontrées par ces conducteurs. Aussi, la passation d'un grand nombre de sujets pourrait sans doute nous informer précisément sur les situations qui leur posent le plus de difficultés. Et ainsi, de constituer des programmes de formation adéquats pour cette population, adaptable selon les besoins de l'individu. De ce point de vue, comme auprès des conducteurs non expérimentés, ou comme pour toute autre population de conducteurs spécifique, OSCAR peut permettre de réaliser un diagnostic sur les difficultés d'une population donnée et d'évaluer ainsi potentiellement les besoins en formation de cette population. C'est du moins ce que laissent espérer les résultats que nous avons obtenus dans le cadre l'expérimentation VISA.

Notre protocole permet en effet de discriminer des populations a priori proches (ie : des conducteurs âgés), mais dont les capacités de conduire de façon sécuritaire sont différentes. Les Etudes Détaillées d'Accidents (eg Van Elslande 1992) semblent bien indiquer que la distortion entre la situation réelle et la représentation mentale qu'en élabore le conducteur est à l'origine de certains accidents. Cependant, aucun outil de mesure ne permet de le démontrer expérimentalement Note 4. OSCAR pour sa part a permis de mettre en évidence des différences précises entre les deux populations de conducteurs âgés. En effet, les conducteurs âgés multi-accidentés sont les sujets qui ont rencontré le plus de difficulté face à OSCAR (partie 4.4.3). Leurs performances sont les plus basses, notamment en ce qui concerne les éléments de signalisations. Par conséquent, le lien entre la qualité de la représentation mentale de la situation et le risque d'accident ne peut être nié. Pour des raisons de confidentialité, nous n'avons pas eu accès aux registres d'accidents des sujets, néanmoins il aurait été intéressant de connaître les circonstances dans lesquelles ils ont eut leurs accidents : mettent-elles en jeu des erreurs conséquentes à la non prise en compte d'éléments de signalisation par le conducteur âgé ? Nous nous interrogeons également sur les performances que de jeunes conducteurs expérimentés mais multi-accidentés obtiendraient à OSCAR. Retrouverions nous le même pattern de données ? En outre, comme nous l'avons souligné plus haut, à partir des performances qu'un sujet obtient à OSCAR, il est envisageable d'évaluer ses propres difficultés et donc de développer un programme personnalisé de formation spécifique à ses besoins. L'utilisation de cet outil pourrait donc être envisagée non plus en aval (ie : pour analyser les caractéristiques d'une population à risque), mais en amont. Sous cet angle, l'intervention viserait à réduire les difficultés d'un conducteur afin d'éviter qu'il n'entre dans une catégorie de « conducteurs à risque ».

En outre, l'introduction d'une double tâche a également permis de constater que l'évaluation établie en simple tâche est également possible via OSCAR pour identifier les difficultés spécifiques des sujets alors qu'une partie de leurs ressources cognitives est monopolisée par une activité parallèle. Nous avons choisi d'utiliser le calcul mental car cette tâche est facilement contrôlable et ce à plusieurs niveaux : (1) la difficulté des opérations (2) l'exactitude des réponses fournies (3) la synchronisation avec la tâche principale. En effet, les opérations étaient annoncées par l'expérimentateur, ce qui nous a permis d'intervenir exactement lorsque nous le souhaitions : quelques instants avant la fin de la séquence vidéo. En outre, le jeu de questions/réponses ainsi instauré entre l'expérimentateur et le sujet devenait assez proche d'une situation de conduite où le conducteur gère une seconde activité en fonction de sa conduite. En d'autres termes, bien que nous ayons essayé de capter l'attention des sujets à des moments clés des séquences, ces derniers avaient toujours le choix de ne pas nous répondre. De ce fait, les résultats que nous obtenons en double tâche sont encore plus écologiques que si nous les avions contraint et forcé de répondre par exemple en des temps limité. On notera toutefois qu'à des fins de sensibilisation (eg : téléphoner en conduisant) il pourrait être avantageux de proposer des tâches parallèles plus écologiques.

4.5.2.2 Représentation mentale de la situation de conduite et multi-activité

Nous avons vu que l'introduction de la double tâche a provoqué une baisse des performances globales des tous les groupes, hormis pour celui des conducteurs âgés (ie : groupe « âgés témoins », partie 4.4.1.2). Parmi toutes les informations de la situation routière, le conducteur doit sélectionner les plus pertinentes pour construire une représentation mentale adéquate au réel. Nos modifications portaient sur ce type d'éléments. Or, la diminution des ressources cognitives a entraîné une baisse des détections de ces modifications, même chez les conducteurs expérimentés. Concrètement, cela signifie que la conscience de la situation, même celle d'un conducteur expérimenté, sera détériorée si son attention est monopolisée par une activité autre que sa conduite. De ce fait, les activités qui nécessitent de l'attention peuvent mener à de mauvaises prises de décision parce que le conducteur aura négligé tel ou tel élément pertinent de la scène routière. En outre, nous avons vu que l'impact du manque de ressources cognitives était proportionnellement plus fort chez les conducteurs non expérimentés par rapport aux conducteurs expérimentés. L'expérience de conduite semble donc permettre au conducteur une meilleure gestion de ses ressources. Soit le conducteur expérimenté est moins facilement distractable car, il est plus conscient que la conduite est sa tâche principale (ie : priorité à la tâche de conduite). Soit les processus automatisés et les connaissances acquis au cours de la pratique assurent une meilleure compréhension de la situation en lui permettant d'aller aux indices essentiels ; en d'autres termes il serait plus conscient de la nécessité d'obtenir certaines informations pour une situation donnée, par exemple rechercher la couleur du feu en situation d'approche d'intersection à feux (ie : priorité aux informations pertinentes de la situation).

Néanmoins, nous avons remarqué que pour les populations pour lesquelles la diminution des ressources cognitives disponibles avait un impact, ce dernier ne se matérialisait pas toujours pour les mêmes types de modifications. En effet, les conducteurs expérimentés sauvegardent leur performance de détection pour les modifications de la zone 3 (ie : 25-50m), en revanche les conducteurs non expérimentés privilégient les modifications de la première zone (ie : moins de 15m). Ces données permettent de mettre en évidence les capacités d'anticipation acquises par les conducteurs au cours de la pratique. En effet, les conducteurs jeunes et expérimentés (ie : groupe de référence) ne sont pas les seuls à mobiliser leur ressources pour traiter les informations de la zone 3, nous avons observé une tendance similaire chez les conducteurs âgés multi-accidentés (partie 4.4.3). En d'autres termes, l'expérience de conduite permet au conducteur de s'intéresser aux éléments plus loins dans la situation de conduite et par conséquent d'anticiper. Cette anticipation permet au conducteur d'avoir plus de temps pour prendre ses décisions. A contrario, les conducteurs non expérimentés privilégient la zone la plus proche. De plus, la comparaison que nous avons effectuée entre le groupe « novices » et le groupe « âgés témoins », nous a permis de constater qu'en double tâche, les conducteurs âgés obtenaient des performances sensiblement meilleures (non significatives) que les novices pour les zones 2 et 3. Les conducteurs expérimentés accordent donc plus d'importance aux éléments lointains que les jeunes conducteurs non expérimentés. Si nous replaçons ces éléments en situation réelle, cela

signifie qu'un jeune conducteur menant une activité parallèle à sa conduite sera plus facilement surpris par le déroulement de la situation car il n'aura pas prélevé les indices lui permettant d'anticiper. Aura-t-il le temps de mettre en œuvre les actions adéquates afin de rattraper la situation ou deviendra-t-elle critique ? Un conducteur expérimenté aura eu, pour sa part, plus de temps pour comprendre et pour mettre en place des actions de conduite adaptées au contexte.

Parallèlement, en fonction de la nature des éléments modifiés l'impact de la double tâche n'a pas été le même. En effet, pour tous les sujets, les performances de détection sur les modifications apportées aux événements ne sont pas sensibles à la diminution des ressources cognitives. Par contre, pour les conducteurs jeunes (ie : groupe de référence et groupe novice), les performances de détections des modifications sur les éléments de signalisations baissent lorsque leurs ressources cognitives sont mobilisées pour une autre activité. Ainsi, il apparaît que les événements soient plus facilement prélevés dans l'environnement que les éléments de signalisation, comme s'ils bénéficiaient d'un caractère prioritaire. A plusieurs reprises nous avons souligné la nature dynamique et donc plus prégnante des événements sur la signalisation, ils représentent aussi un risque de collision, ce qui justifie de leur accorder une attention particulière. Fondamentalement, cela revient à penser que l'intégration de ces deux types d'éléments ne repose pas forcément sur les mêmes types de processus. En effet, nous pensons que les événements mettent plus généralement en jeu des processus bottom-up et sollicitent l'attention passive, alors que la signalisation nécessite souvent une recherche et une attention active impliquant des processus top-down. En d'autres termes, il est plus facile de ne pas « voir un stop » que de ne pas « voir un piéton qui s'engage sur la chaussée pour traverser ». Néanmoins, si nous savons que les événements sont plus prégnants que la signalisation de part leur nature dynamique, nous pouvons nous demander si deux événements (eg : un piéton vs une voiture) revête la même priorité. Dès lors, il ne s'agit plus de s'interroger sur la nature intrinsèque de l'élément (ie : dynamique vs statique) mais sur le caractère fonctionnel et prioritaire que lui attribue le conducteur dans une situation donnée. Aussi, nous pensons que le traitement de la localisation spatiale précise et de la trajectoire des événements n'engage pas les mêmes types de processus que le traitement global de l'objet. Nous en avons pour preuve les « impressions » fournies à maintes reprises par les sujets sur les localisations des événements : ils avaient le sentiment que nous avions avancé ou reculé les véhicules ou les piétons. De la même manière, nous pouvons nous demander si tous les éléments de signalisation impliquent une attention active et mettent en jeu des processus top-down. Nous pensons par exemple que le feu rouge peut impliquer uniquement une attention passive, via des processus bottom-up (ie : effet pop-up). Il s'agit par exemple du cas où un conducteur freine brutalement en découvrant, au dernier moment, qu'il arrive à une intersection à feu car il vient de voir un feu rouge. Par contre, le feu vert nécessite un retour actif pour vérification de sa couleur et donc une prise de décision distincte « je m'arrête » ou « je passe ».

Par ailleurs, nous avons vu que le manque d'expérience accentue le trait : les performances de détections des modifications sur les éléments de signalisation par le groupe « novices » en double tâche n'atteint pas les 40%. C'est-à-dire qu'un conducteur non expérimenté dont l'attention est monopolisée par une tâche autre que sa conduite, élabore une représentation mentale de la situation qui repose avant tout sur les événements. En d'autres termes, dans de telles conditions, les actions d'un conducteur non expérimentés sont prises en fonction des éléments les plus saillants de la situation, éléments qui ne seront pas nécessairement les plus utiles pour adopter une conduite sécuritaire. Cependant, nous avons observé que ces faibles performances du groupe « novices » en double tâche sont assez proches des performances obtenues par le groupe « âgés témoins » en double tâche. En effet, alors qu'en condition de simple tâche les conducteurs non expérimentés obtenaient des performances supérieures aux conducteurs âgés (partie 4.4.2.1), des tendances inverses sont apparues lorsque l'on monopolisait les ressources cognitives des sujets par le calcul mental (partie 4.4.2.2). Ces résultats nous amène à penser que l'absence d'impact de la double tâche observé chez les âgés provient bien de leur expérience. Les connaissances et les automatismes ainsi acquis leur permettraient de toujours conserver une représentation « minimale » adéquate à la situation.

Cependant, les performances des conducteurs « âgés témoins » sont tout de mêmes faibles. Les différences observées entre ces conducteurs et le groupe de référence montrent que l'expérience ne permet pas de

contre-carrer tous les effets du vieillissement. Compte tenue de l'imbrication de la représentation mentale dans l'activité cognitive de l'humain, cette dégradation que nous observons pour notre part au niveau de la représentation mentale peut provenir de tous les processus mis en œuvre en amont, au niveau de la perception, du traitement et de l'interprétation cognitive des informations. De notre point de vue, l'hypothèse la plus vraisemblable serait le ralentissement des processus mis en œuvre. En effet, si les performances faibles des conducteurs âgés provenaient d'une défaillance au niveau perceptif, elles chuteraient lorsque la distance des modifications augmente. Or nous avons vu que les meilleures performances de détections des modifications des « âgés témoins » sont obtenues pour les modifications de la zone 3 (figure 88). Par ailleurs, si la cause était un manque de ressources cognitives ou un besoin plus important en ressources cognitives pour mener l'activité, leurs performances auraient dû être dégradées par la double tâche. Or, les conducteurs âgés (« témoins ») sont la seule population pour laquelle notre double tâche n'a eut aucun effet significatif. Deux grandes hypothèses peuvent expliquer cela. Tout d'abord, nous avons envisagé que leur score en simple tâche était déjà trop faible pour être détérioré par la double tâche. Mais, nous pouvons également penser que leur expérience leur a permis de ne pas se laisser distraire par notre double tâche et de rester sur la tâche principale. C'est pourquoi nous pensons que l'effet du vieillissement mis en évidence, via notre expérimentation, permet de mettre en lumière n'est rien de plus qu'un ralentissement général du système cognitif.

Néanmoins, les performances du groupe « âgés témoins » ne représentent pas un niveau plancher minimal puisqu'elles sont meilleures que celles des conducteurs âgés mutli-accidentés (partie 4.4.3). En effet, les plus faibles performances reviennent aux conducteurs âgés sélectionnés parce qu'ils avaient eu au moins trois accidents dans les trois dernières années. Les résultats les plus critiques de ce groupe concernent les détections de modifications sur les éléments de signalisation (ST 25.8% et DT 20.7% ; partie 4.4.3), leurs performances sont alors moins bonnes que celle du groupe de conducteurs âgés témoins (ie : pas d'accidents dans les trois dernières années). En revanche, pour les modifications sur les événements, les performances des deux groupes de conducteurs âgés sont comparables. Ce sont donc les processus top-down et l'attention active qui semblent poser le plus de difficultés à ces conducteurs. Cette conclusion est confirmée par le fait que, contrairement aux conducteurs « âgés témoins », leur performance globale de détections des modifications est dégradée par la diminution des ressources cognitives. En effet, pour que la double tâche diminue les performances des sujets, il est nécessaire que des processus contrôlés aient été mis en œuvre et altérés par la double tâche. Aussi, nous avons observé un résultat intéressant en comparant les performances du groupe « âgés cas » au groupe « âgés témoins », en double tâche et en fonction de la distance des modifications (figure 93 et 94). Des impacts significatifs de la double tâche sont observés uniquement pour le groupe « cas » pour les zones 1 et 2 (ie ; jusqu'à 25m). Par contre, pour la zone 3 (ie : 25-50m), nous n'observons pas d'impact de la DT : leurs performances en ST et en DT sont strictement égales. Nous avons observé ce pattern de résultats seulement pour le groupe de référence (figure 59). Pour les conducteurs expérimentés, nous avons traduit cette absence d'impact de la diminution des ressources cognitives par la capacité à anticiper et ainsi à donner la priorité à cette zone plutôt qu'aux zones proches. Pourquoi en serait-il autrement pour ces conducteurs âgés multiaccidentés qui bénéficient somme toute d'une grande expérience de conduite (permis depuis environ 43 ans et environ 10 000-15 000 km par an) ? Nos données confirmaient déjà que l'anticipation est acquise au cours de la pratique car, seul les conducteurs « novices » ne maintiennent pas leur performance pour la zone 3 en DT. Ces dernières données sur les conducteurs âgés multiaccidentés indiquent que l'anticipation est une habileté qui tendrait à devenir une activité automatisée au fil de la pratique. Même si les performances de la zone 3 des deux groupes de conducteurs âgés sont moins bonnes que celle des conducteurs jeunes et expérimentés, l'automatisation permet d'atteindre un niveau minimal d'anticipation. Toutes ces conclusions nous amènent à penser que les conducteurs du groupe « âgés mutliaccidentés » sont dans une position de passive ou réactive face à l'environnement routier. Leur difficulté semble se situer surtout au niveau des traitements impliquant un contrôle cognitif et une attention active (ie : signalisation).

En résumé, les conducteurs jeunes mais non expérimentés et les conducteurs âgés sont, pour des raisons différentes, en difficultés face aux exigences de l'activité de conduite. Pour les premiers, au cours de la pratique ils acquièrent des connaissances et des habiletés qui leur permettront d'atteindre le même niveau de

compréhension de la situation que les conducteurs jeunes et expérimentés. Pour les seconds, il est à craindre que les effets du vieillissement ne continuent de s'exprimer au fil des ans ! Aussi, si tout conducteur est exposé au risque de l'accident, certaines personnes semblent être exposées à la répétition de l'accident. Par conséquent, il est indéniable que des études sont indispensables d'une part, afin de connaître précisément les difficultés spécifiques de populations « à risque », et d'autre part, de mettre en œuvre des outils de formations spécifiques aux difficultés préalablement identifiées.

Par ailleurs, nous avons vu l'impact d'une diminution des ressources cognitives a été manifeste pour la majorité des conducteurs testés. Bien que forcée et subie, notre double tâche peut être assimilée à toute activité parallèle à la conduite que le conducteur mènerait sans avoir conscience des effets qu'elle peut avoir sur sa compréhension de la situation et en aval sur ses prises de décisions. C'est pourquoi nous pensons qu'il est également indispensable de réfléchir à la mise en place de programme de sensibilisation des conducteurs afin de pouvoir espérer d'eux premièrement une compréhension des législation mises en place (eg : téléphone au volant) et deuxièmement une prise de conscience et donc un changement de leur comportement.

4.5.3 Atouts et limites Méthodologiques

Alors que cela n'était pas possible jusqu'à maintenant, tous les résultats que nous venons de présenter prouvent qu'OSCAR est un protocole qui permet d'analyser une dimension cognitive de l'activité de conduite de manière systématisée. Cependant ce protocole connaît certaines limites.

Premièrement, le dispositif est matériellement lourd. Effectivement, il est difficile d'utiliser OSCAR en dehors du laboratoire. Bien qu'il ne s'agisse d'une k7 vidéo, le format d'enregistrement numérique nécessite de transporter également un magnétoscope spécifique et un téléviseur.

Deuxièmement, le recueil des données peut être lourd pour l'expérimentateur. Lorsque nous avons commencé nos expérimentations nous notions, ou dessinions au besoin, tout ce que nous disaient les sujets. Rapidement, nous avons remarqué que ces prises de notes n'étaient pas systématiques. En effet, pour une même situation, plusieurs sujets pouvaient par exemple nous dire « le piéton n'était pas à cet endroit ». Dans ce cas, nous leur demandions de nous montrer sur l'écran la « bonne » position du-dit piéton. Ensuite, par un moyen ou par un autre, il nous fallait prendre note de cette réponse ! Deux solutions étaient possibles : dessiner ou écrire. Avec le dessin mais nous retombions de plein fouet dans les écueils des protocoles précédents (car même si nous étions toujours le dessinateur, nos dessins étaient difficilement comparable d'une passation à l'autre). Quant à l'écriture elle nous faisait perdre le plus important de la réponse : les positions pointées du doigt par les sujets. Le plus rapidement possible après les passations nous saisissions les données recueillies. Cependant, il devenait difficile de systématiser toutes les réponses des sujets. C'est pourquoi, bien que nous ayons recueilli toutes les réponses des sujets d'OSCAR, nous n'avons pu traiter que la performance de détection sur nos modifications.

Ce problème de recueil de données avait également un autre inconvénient. Des personnes qui ne connaissaient pas très bien les séquences vidéo avaient beaucoup de mal à prendre la place de l'expérimentateur. En effet, lors du passage d'une stagiaire de DESS dans le laboratoire, nous lui avons proposé de jouer à l'expérimentateur afin de découvrir cette partie de l'activité d'un chercheur. Dans un premier temps, nous lui avons fait passer OSCAR en tant que sujet. Puis, nous lui avons expliqué la finalité de notre protocole. Nous avons visionné plusieurs fois les séquences vidéos, étudié la grille de saisie des réponses en lui expliquant largement son futur rôle d'expérimentateur. Après la passation de quelques sujets, nous avons constaté que ses grilles de réponses n'étaient pas exploitables sans cette personne. En d'autres termes, le recueil de données manuscrit est trop personnel pour être systématique. Par conséquent, les résultats de ces sujets n'ont pas été pris en compte dans les données d'OSCAR. Cela nous a permis de constater qu'OSCAR n'est pas facilement utilisable, comme devrait l'être un test standardisé. Arrivée à cette étape de notre travail, nous avons 4 possibilités.

1. Agrandir nos échantillons de sujets pour affiner nos données ;
2. Soumettre OSCAR à de nouvelles populations de conducteurs (eg : apprentis conducteurs, conducteurs participants à des stages de récupération de points, chauffeurs de taxi);
3. Récolter de nouvelles situations routières afin de créer de nouvelles séquences d'OSCAR pour affiner nos données ;
4. Faire évoluer le protocole pour palier ses limites et obtenir des résultats plus fins.

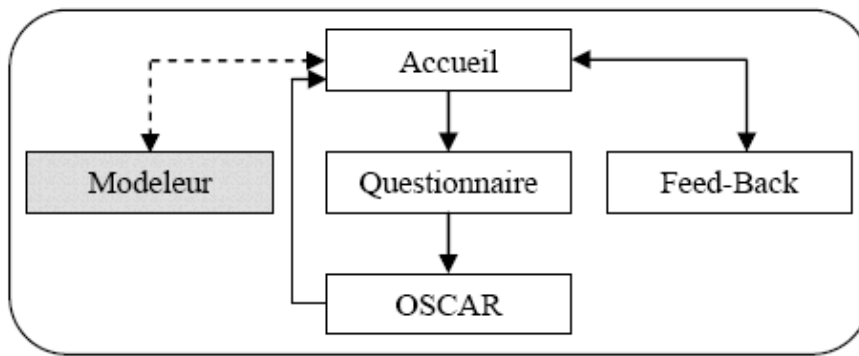
Chapitre 5. Évolution du protocole : ICARE

OSCAR nous a permis de récolter des données très riches sur les représentations mentales des conducteurs. Cependant, nous avons vu que ce protocole connaissait des limites. Les contraintes principales concernent d'une part le format du protocole et d'autre part le recueil des données. En effet le matériel vidéo que nous avons utilisé nous contraignait à devoir déplacer une télévision et un magnétoscope si nous désirions utiliser OSCAR en dehors des murs du LESCOT (démonstration, expérimentation...). C'est pourquoi nous nous sommes limités à une utilisation sur site d'OSCAR. Par ailleurs, les données recueillies manuellement par l'expérimentateur lors de la passation étaient nombreuses, leur traitement a dû être réduit à l'essentiel : « la modification a-t-elle été détectée oui ou non ». Mais d'autres données, non traitées, étaient fournies par les sujets. Nous pourrions les appeler des « réponses non attendues ». Il s'agit de détections de modifications que nous n'avions pas réalisées (ie : le sujet signale l'ajout d'une voiture à droite, alors qu'elle était là dans la scène originale). C'est pourquoi nous avons envisagé de pouvoir acquérir les données de manière automatique. Ces deux limites d'Oscar nous ont conduit à envisager une seconde version à ce protocole expérimental : ICARE.

5.1- de Oscar à Icare

Nos objectifs premiers étaient donc d'élaborer un protocole facilement transportable qui facilite la récupération et le traitement des données. Notre idéal étant de concevoir un outil interactif, que les sujets pourraient manipuler eux-mêmes. C'est pourquoi nous avons décidé de développer une version informatisée d'OSCAR. En effet, le même principe de modifications d'images et détections de ces modifications est au cœur des deux protocoles. Ce logiciel a été développé avec l'aide de B. Lacotte dans le cadre de son stage de DESS (Lacotte, 2003). ICARE a été développé sous Director MX (version PC) et sous Lingo et Lingo 3D. ICARE est une application qui comprend plusieurs modules (figure 95). L'interface d'accueil permet la navigation entre les quatre autres modules (annexe 8). Le modeleur de scène est verrouillé par un mot de passe car seul l'expérimentateur doit y avoir accès. Il permet de modéliser les scènes routières finales en 3 dimensions, de caractériser les modifications que le sujet aura à détecter et de choisir les séquences qui constitueront le test ainsi que leur ordre de déroulement (annexe 9). Le questionnaire constitue la première étape d'une expérimentation (annexe 10). Pour chaque sujet nous saisissons son prénom, son année de naissance, l'année d'obtention de son permis, son kilométrage annuel, le type de trajet qu'il a l'habitude d'effectuer. Un numéro de sujet lui est attribué de manière automatique. Toutes les informations relatives à ce sujet seront dorénavant stockées automatiquement dans un répertoire indépendant. Le module OSCAR constitue le cœur de la passation : le test à proprement parler ; l'interface d'expérimentation (annexe 11). Nous verrons plus loin en quoi cette interface diffère de l'ancien protocole expérimental. Enfin le dernier module accessible après la passation d'une expérimentation est le feed-back visuel (annexe 12). Il permet de reconstituer visuellement et a posteriori chaque réponse donnée par un sujet. L'utilisation de l'informatique nous a permis d'ajouter de nouvelles fonctionnalités. Conséquences directes du passage à un support informatique, elles concernent soit les caractéristiques de nos modifications, soit l'interface expérimentale, soit le recueil des données. Mais l'une des évolutions principales d'ICARE par rapport à OSCAR est l'utilisation de la 3D. Par ailleurs, afin de pouvoir comparer les deux protocoles, nous avons utilisé les mêmes séquences vidéo que dans OSCAR.

Figure 95: Architecture d'ICARE



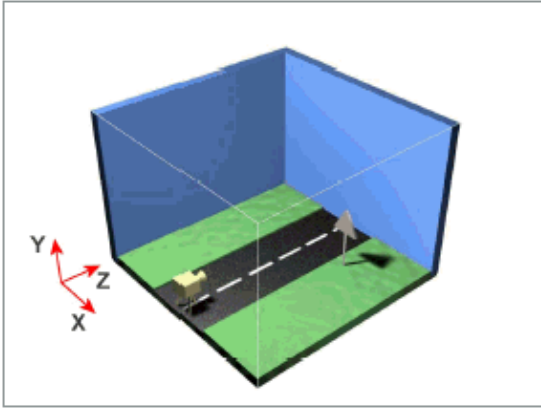
5.1.1 Utilisation de la 3D

L'utilisation de la 3D est venue répondre à nos deux principaux objectifs. En effet, nous souhaitons, premièrement passer d'un mode de réponse verbal à un mode de réponse visuel et deuxièmement, pallier les difficultés de recueil des données manuscrites rencontré lors des expérimentations d'OSCAR. Cette volonté a été au cœur du développement d'ICARE. Dans OSCAR les réponses des sujets étaient du type « *vous avez supprimé une voiture à droite* ». Lorsque nous avions des doutes sur la position du dit véhicule nous demandions au sujet de nous la montrer sur l'écran de télévision. Cependant, mise à part notre cotation en temps réel, nous ne gardions aucune trace précise de cette réponse. Aussi, bien que les scènes finales ne présentent qu'une modification à détecter, les sujets donnaient souvent plusieurs réponses. Au fur et à mesure qu'ils les énonçaient, ils leur devenaient difficile de reconstituer mentalement l'image de la scène qu'ils pensaient avoir vue et de la comparer avec ce qu'ils avaient sous les yeux. C'est pourquoi, nous avons souhaité que leurs réponses ne soient plus verbales, mais qu'ils puissent directement agir sur l'image finale modifiée en la modifiant à leur tour. L'idée était que les sujets reconstituent la scène qu'ils pensaient avoir vue. Il fallait donc que les sujets puissent ajouter, ou supprimer, des éléments (piétons, voiture, élément de signalisation) n'importe où dans notre image de scène finale modifiée. De ce fait, il était indispensable que ces objets fournissent un rendu visuel le plus réaliste possible aux sujets : changement de taille en fonction de sa distance dans la scène, positionnement sur la route ou sur les trottoirs... Par ailleurs nous voulions que les réponses soient sauvegardées automatiquement au fur et à mesure de la passation mais aussi qu'elles puissent être reconstituées n'importe quand, dès lors que le sujet aurait terminé l'expérimentation. Le rendu visuel des objets a été possible grâce à la modélisation en 3D de chacune de nos scènes finales. Cependant nous voulions que les sujets donnent leur réponse sur la photographie et non sur une image de synthèse. C'est pourquoi dans le module OSCAR, visible par les sujets, le monde 3D utilisé est transparent et superposé à l'image finale modifiée. La modélisation des scènes est effectuée par l'expérimentateur dans le modèleur. Cette phase est réalisée en amont des expérimentations.

5.1.1.1 Modélisation des scènes

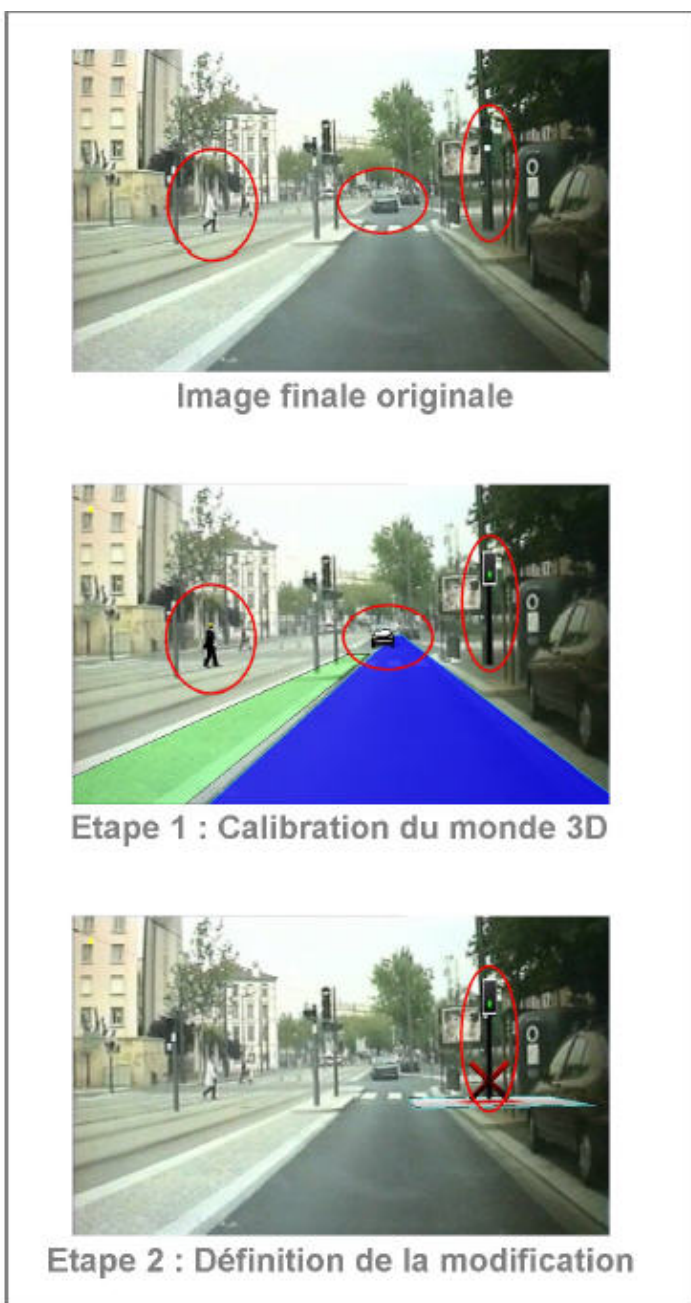
5.1.1.1.1 Calibration du monde 3D

Figure 96: Exemple d'univers 3D



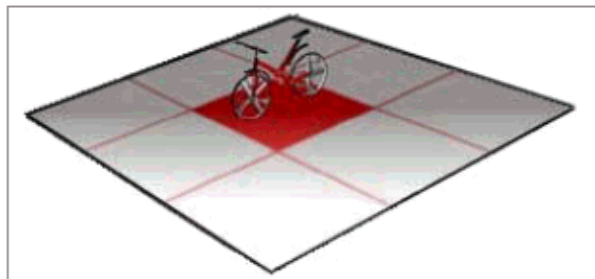
Pour chaque séquence nous avons dû calibrer le monde 3D en fonction de la scène finale. Nous vivons dans un monde en trois dimensions (largeur, hauteur et profondeur). Un univers virtuel en 3D est la transposition géométrique de ce monde dans un repère formé par 3 axes. Il sera mathématiquement constitué exactement comme le monde dans lequel nous vivons. Imaginons que nous rentrons dans une pièce rectangulaire, cette pièce constitue notre monde 3D. On parle de 3 dimensions car le repère qui permet de localiser un point dans cet univers virtuel est constitué de 3 axes (largeur, hauteur et profondeur). Notre pièce devient donc une boîte rectangulaire. Lorsque nous pénétrons dans la pièce nos yeux nous permettent de visualiser les objets présents. Dans un univers 3D virtuel, cette fonction est assurée par une caméra. Lorsque nous voulons reconstituer notre pièce dans un univers 3D, nous devons régler la caméra « comme nos yeux ». Dans notre cas, notre scène routière devenait une boîte (figure 96), et nous devions calibrer la caméra de la même manière que la caméra installée dans le véhicule expérimental. La majorité des réglages étaient donc fixe : focale et hauteur de la caméra. Cependant, afin de coller à l'image finale des réglages plus fins s'effectuaient via le modelleur. Notre scène finale étant superposée au monde 3D nous n'avions alors plus qu'à orienter convenablement « le regard de la caméra » pour que les objets virtuels se déplacent sur l'image comme s'ils faisaient partie de la scène. La figure 97 nous permet de comparer l'image d'une scène finale et le monde 3D modélisé. Le plan bleu représente la route, celui qui est vert le trottoir. Nous voyons que les trois éléments que nous ajoutons dans le monde 3D se positionnent par-dessus l'image finale, en ayant la même taille que les objets réels. Par ailleurs, tout au long de la modélisation des scènes une partie de l'écran nous donne la position des éléments que nous ajoutons. Cette position correspond aux coordonnées de l'objet dans le repère 3D mais un algorithme le convertit afin de nous fournir la position réelle en mètre de l'objet dans la scène. Comme nous connaissions la distance de nos modifications, nous avons pu vérifier que la position de l'objet que nous ajoutons, ou supprimons, dans le monde 3D correspondait à cette distance. Une fois ces réglages et vérifications effectués, il ne restait plus qu'à positionner uniquement l'objet porteur d'une modification que les sujets auraient à détecter dans le module OSCAR. C'est la seconde et dernière étape de la modélisation d'une scène. Comme le montre la figure 97, à ce moment il ne reste plus que l'élément 3D superposé à l'objet réel qui sera modifié dans la scène finale. Pour la scène 38, nous avons changé la couleur du feu, il était vert et nous l'avons passé au rouge. Pour le modelleur cette modification compte double : (1) suppression du feu vert et (2) ajout d'un feu rouge. Nous voyons sur la dernière image de la figure 97 que l'objet 3D « feu vert » barré d'une croix rouge est posé sur un plan. Tous les éléments qui représentent nos modifications sont posés sur de tels plans que nous appelons « plan modification ». Comme nous pouvons le voir sur la figure 98 un plan modification est une zone quadrillée. L'objet porteur de la modification est positionné au centre du plan modification. Par défaut cette zone couvre une superficie de 30m² de la scène réelle, 5m de large sur 6m de long. Cet espace constitue une zone de tolérance pour laquelle nous considérons que la réponse du sujet sera juste même s'il ne dépose pas l'objet exactement en son centre. Ces plans modifications sont surtout importants pour les modifications sur les événements. En effet la position d'un feu ou d'un panneau (sur la chaussée ou sur le trottoir de droite) est moins ambiguë. Aussi, l'instauration des plans modification a permis d'effectuer la détection automatique des « bonnes réponses » ; nous y reviendrons lorsque nous expliquerons les données qu'ICARE permet de recueillir. Nous venons de voir que le modelleur nous permettait de récupérer la distance de la modification, cependant, d'autres propriétés restaient à définir.

Figure 97:Exemple de modélisation (scène 38)



5.1.1.1.2 Caractérisation des modifications

Figure 98 : Exemple de plan modification « vélo »



Dans OSCAR nos modifications étaient caractérisées par la nature de l'élément modifié et par sa distance. ICARE nous a permis d'être plus fin dans la définition des modifications. A partir des deux natures des éléments modifiés, deux sous-niveaux ont été spécifiés. Pour les événements, le premier sous-niveau concerne directement l'objet que nous avons modifié. Les catégories sont donc : piéton, voiture, vélo, bus, camion. Le second niveau fournit l'orientation de l'événement, il comprend donc quatre possibilités : devant moi, en face de moi, vers la droite ou vers la gauche. En ce qui concerne les objets de signalisation, le premier sous-niveau spécifie la catégorie de l'objet que nous avons modifié : marquage, panneau, feu. Le second sous-niveau détermine l'objet de manière plus précise. Pour les marquages et les panneaux ce niveau permet soit de choisir un panneau précis (stop, cédez le passage...) soit de choisir une catégorie de panneau (rond rouge, rond bleu, carré bleu...). Pour les feux, le dernier niveau permet de spécifier la couleur du feu modifié. Ainsi, alors qu'OSCAR nous fournissait deux propriétés (nature et distance) ICARE en fournit quatre (nature, distance, catégorie d'objet, objet). De cette manière, la distinction que nous avons faite pour les modifications sur les feux, entre la suppression ou l'ajout d'un feu, considéré comme une modification de signalisation, et le changement de sa couleur, noté comme une modification sur un événement, n'a plus cours. Dans ICARE, toutes les modifications sur les feux sont comptabilisées dans une catégorie d'objets spécifiques : feux. Aucune autre variation méthodologique n'a été introduite par le passage d'OSCAR à ICARE. De ce fait, il sera tenu compte de la conversion de nature des modifications « changement de couleur de feux » lorsque nous procéderons à cette comparaison (tableau 2).

Tableau 8: Nature des éléments modifiés OSCAR vs ICARE

natures des modifications	Nombre de scènes finales dans OSCAR	Nombre de scènes finales dans ICARE
Sur un élément de signalisation	22	25
Sur un événement	18	15

En revanche nous avons choisi de continuer de considérer les distances en fonction des quatre zones définies dans OSCAR plutôt qu'en fonction des distances métriques réelles des objets. Ce choix s'appuie sur la volonté de pouvoir comparer les résultats obtenus précédents avec les données d'ICARE. Comme nous le voyons ci-dessous, chaque plan modification est ainsi défini par plusieurs niveaux qui caractérisent la modification qu'il représente.

Tableau 9 : Données relatives à un plan modification

Modif_1	ajout	14.7	Signalisation	Panneaux
Panneaux_2	Cdp	vector(355.0000, 1.07500e3, 0.0000)		

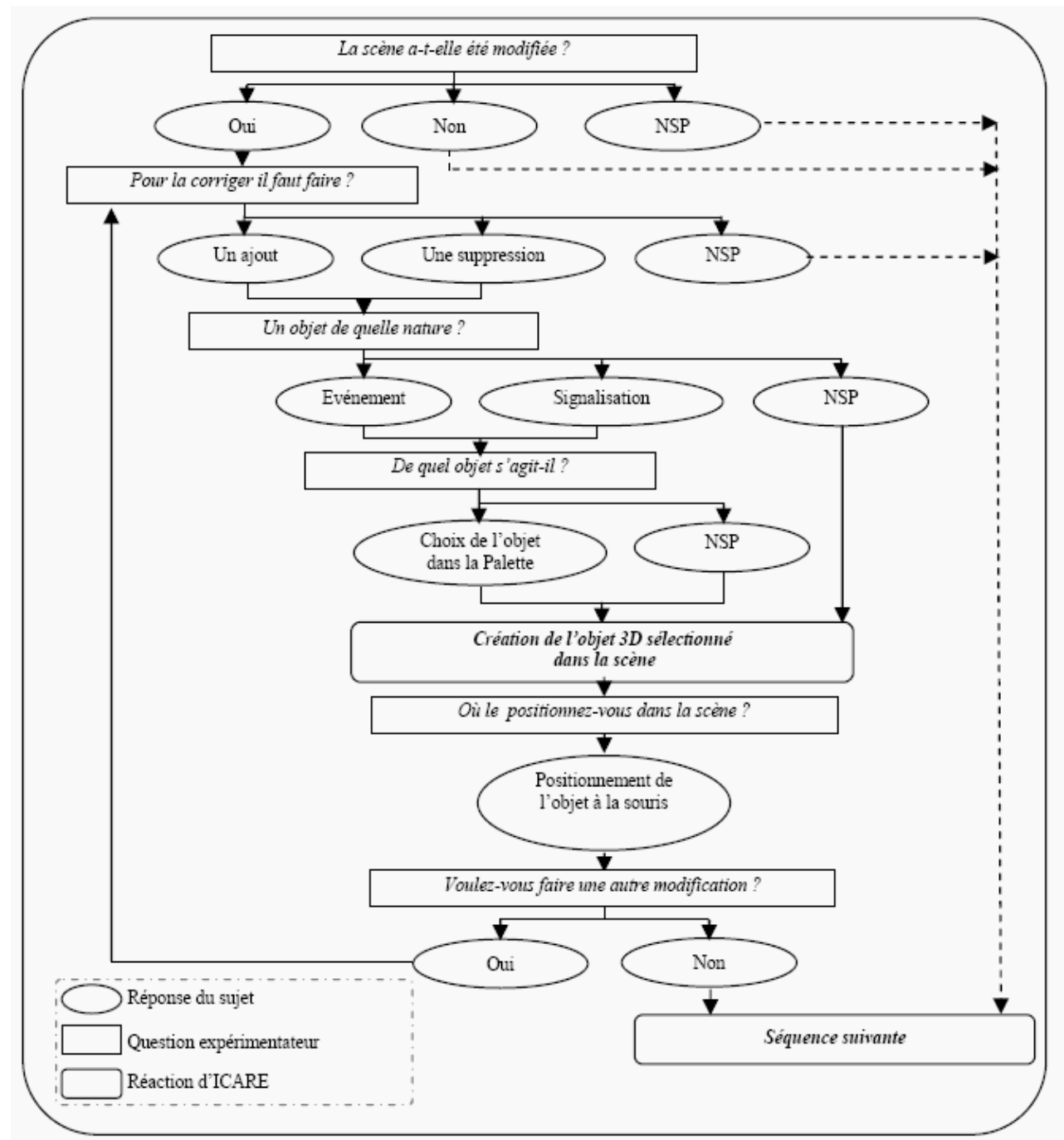
Il s'agit ici de la modification n°1 qui est un ajout, d'un élément de signalisation de la catégorie panneaux. Dans le cas présent il s'agit d'un panneau de cédez le passage (ie : cdp) à une distance de 14.7m. Le « vector » correspond aux coordonnées du plan modification dans l'univers 3D. Ces informations sont enregistrées. Elles serviront d'une part, à la notation des réponses des sujets et d'autre part, à la reconstitution des réponses via le feed-back.

5.1.1.2 Réponses des sujets

L'utilisation de la 3D nous a permis de passer à un mode de réponse interactif. Dorénavant, lorsque le sujet indique un changement dans la scène il nous est possible d'intervenir, en temps réel, sur l'image pour corriger la scène en fonction de ces réponses. L'interface OSCAR étant complexe ce n'est pas le sujet qui le manipule mais l'expérimentateur. Le déroulement d'une séquence d'ICARE est le même que dans OSCAR : déroulement d'une vidéo, masque perceptif puis image finale modifiée (figure 47). Lorsque l'image finale modifiée apparaît, le sujet a pour consigne de nous dire tout de suite ce qu'il pense de la scène (ie : a-t-elle été

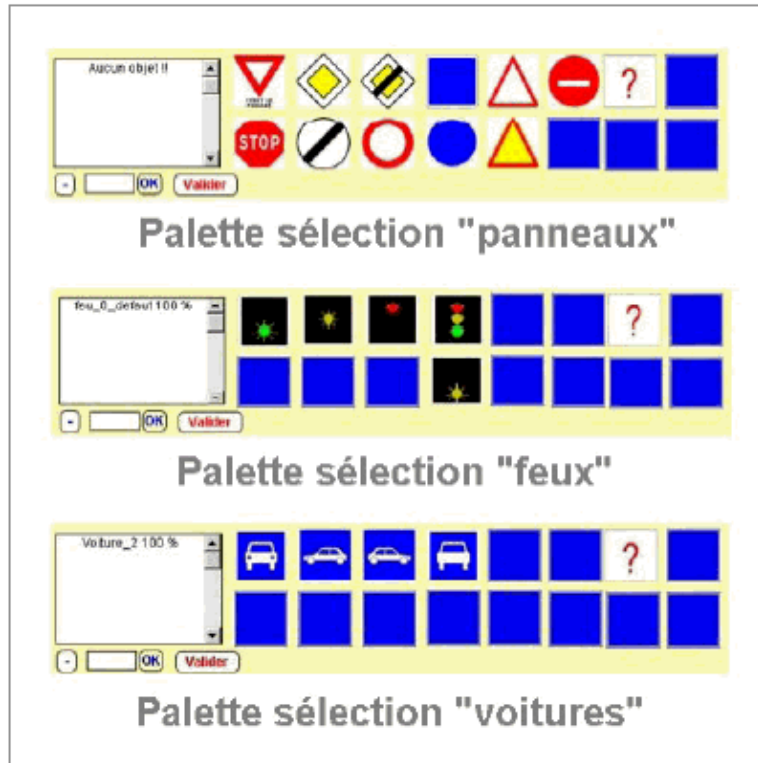
modifiée ? et si oui, en quoi ?). Ce temps de verbalisation nous assure qu'il ne perdra pas ce qu'il avait à dire sur la situation, et ce n'est que dans un second temps que nous utilisons l'interface afin de valider sa réponse. La saisie de sa réponse s'effectue en plusieurs étapes via des menus déroulant en textes. Ces étapes permettent au sujet de préciser peu à peu ses réponses. En fonction de la certitude et de la spontanéité des sujets, l'expérimentateur les relance par des questions servant de guide. La figure 99 met en évidence la trame utilisée pour une séquence. A chaque niveau de questions posées par l'expérimentateur le sujet a la possibilité de répondre « je ne sais pas ». Si cette réponse intervient à l'une des deux premières questions de l'expérimentateur, nous passons à la séquence suivante. Si elle arrive plus tard, lorsque le sujet sait s'il veut ajouter ou supprimer un objet, alors un objet 3D « NSP » sera inséré dans l'image. Le sujet pourra choisir sa position comme pour n'importe quel autre élément.

Figure 99 : Trame de saisie des réponses d'ICARE



Par ailleurs, la spécification précise de l'objet se déroule en deux sous niveaux, qui sont fusionnés sur cette figure par la question « De quel objet s'agit-il ? ». Le premier niveau de caractérisation de l'objet (sa catégorie) se choisit dans un menu déroulant. A cette étape le sujet a le choix entre, pour les événements : voiture, piéton, vélo ; pour la signalisation : panneaux, marquages ou feux. En dernier lieu, le sujet choisit un objet parmi la catégorie qu'il vient de sélectionner.

Figure 100 : Exemples de palettes graphiques (panneaux,feux, voitures)



Ce choix ne s'effectue plus via un menu, mais par une palette graphique représentant les objets de la catégorie sélectionnée. En d'autres termes, pour chaque catégorie d'objets il existe une palette graphique différente. Lorsque le sujet souhaite agir sur un feu uniquement, la palette « feux » s'affiche à l'écran. La figure 100 montre trois exemples de palettes graphiques possibles. Celle de la catégorie panneaux permet de sélectionner soit les panneaux les plus spécifiques (stop, cédez le passage, sens interdit) soit une famille de panneaux (rond rouge, rond bleu...). La seconde palette représente les objets qui peuvent être sélectionnés pour la catégorie feux. Le sujet choisit la couleur du feu (rouge, orange, vert ou orange clignotant) mais il peut aussi sélectionner le feu « par défaut » lorsqu'il ne sait pas quelle couleur choisir. Enfin, le dernier exemple de la figure 100 correspond à la palette de la catégorie « voitures » comme pour tous les événements la palette graphique sert à déterminer l'orientation de l'événement. De plus, chacune des palettes contient une case « ? », cette option correspond à la réponse « ne sait pas » qui permet d'insérer un objet 3D dans la scène sans que le sujet ne sache le caractériser jusqu'au bout. A ce niveau de réponse le sujet, en cas de doute, a la possibilité de choisir plusieurs objets pour une seule réponse (ie : feu rouge et feu orange). Dès lors, le sujet devra indiquer à l'expérimentateur quel est l'objet qu'il souhaite voir s'insérer dans l'image. Par défaut, il s'agira du premier objet qu'il aura choisi. Si le choix du sujet se porte sur un second ou un troisième élément de la palette, il devra l'indiquer et choisir des pourcentages de certitude pour chacun des objets choisis, le plus « fort » sera inséré dans l'image. Une fois que le sujet a énoncé tous les changements qu'il voulait effectuer sur la scène, l'expérimentateur valide la séquence afin de passer à la suivante. De ce fait, une réponse est caractérisée par 5 niveaux :

- niveau 1 : le type de changement (ajout vs suppression),

- niveau 2 : la nature de l'objet (signalisation vs événement),
- niveau 3 : la catégorie d'objet (ie : panneau, feu, marquage, piéton, voiture),
- niveau 4 : l'objet spécifique (ie : panneau de sens interdit, feu rouge, piéton allant vers la gauche),
- et le cinquième niveau : la position de l'objet.

5.1.2 Les données recueillies

Dès le départ du développement d'ICARE nous souhaitions faciliter le recueil des données. Après la création du concept de plan modification un second objectif a été visé : détecter en temps réel si l'objet positionné selon les directives du sujet correspond à celui que nous attendions ou non. Cela revient à effectuer lors de la passation un prétraitement des données. Si le changement dicté par le sujet est localisé dans le plan modification alors un algorithme de comparaison des caractéristiques de ce dernier et des caractéristiques de l'objet-réponse est lancé. Pour chaque niveau, les propriétés des deux objets sont comparées une à une. De ce fait, nous récupérons également le fruit de cette comparaison. Une note sera attribuée à chaque réponse en fonction de la justesse de chacun de ces niveaux. Pour les trois premiers, la notation est binaire : juste +1 ; faux 0. Le niveau 4 étant plus fin nous avons décliné trois possibilités de cotation. Nous ajoutons 3 points lorsque la réponse donnée correspond exactement à ce que nous attendions (feu rouge pour feu rouge). La note de la réponse est majorée de 2 points lorsque nous considérons que la réponse donnée est "équivalente" à ce que nous attendions du point de vue du sens qu'elle donne à la situation (un stop pour un cédez le passage : dans les deux cas le sujet sait qu'il n'est pas prioritaire). Enfin, lorsque ce niveau ne correspond pas du tout à notre modification ou bien que le sujet n'a pas su le définir il est noté 0. La cotation de la position des objets est également plus complexe que pour ces premiers niveaux. Nous avons vu que les plans modifications délimitent une zone de tolérance au sein de laquelle nous considérons comme juste la position de l'objet. Dans ce cas, la note de la réponse est majorée d'un point. Cependant, une seconde cotation permet de noter comme "considérée comme juste" les cas où les sujets positionnent un objet en dehors du « plan modification » parce qu'ils ont anticipé le déplacement de cet objet. Cette notation, +2, ne concerne donc que les modifications sur les événements. De cette manière nous obtenons une note par réponse qui varie de 3 à 7 (tableau 9). Les notes 3 ou 4 sont attribuées à des réponses partiellement justes, compte tenu des faibles effectifs de ces deux catégories nous les avons regroupées dans une catégorie de réponses incomplètes.

Tableau 10 : Niveaux de cotations des réponses ICARE

Note	Justesse de la réponse
3	Les 2 derniers niveaux de spécification sont faux ou manquants (ie : NSP)
4	Le dernier niveau de spécification est faux ou manquant
6	Le dernier niveau est considéré comme équivalent à la réponse attendue (ie : stop pour cédez le passage)
7	Réponse entièrement juste
8	La position est considérée comme juste car elle signale une anticipation sur le déplacement d'un événement

Les notes 6 et 8 sont affectées à des réponses que nous estimons justes. La note 7 est la note des réponses qui correspondent exactement à la réponse attendue.

Toutes les données relatives à un sujet sont sauvegardées automatiquement dans des fichiers textes nommés par le numéro du sujet. Une réponse correspond à un changement réalisé par le sujet qui correspondra à une ligne du fichier de données. Un fichier sujet est donc composé de lignes décrivant pour chaque scène les changements que le sujet a souhaité réaliser. Par ailleurs, si ces derniers ne corrigent pas nos modifications alors des lignes supplémentaires sont écrites afin de nous indiquer quels sont les plans modifications restés vides (=PMV). Nous récupérons ainsi un fichier (annexe 14) importable dans n'importe quel logiciel de traitement de données (eg : SPSS).

5.2- OSCAR vs ICARE

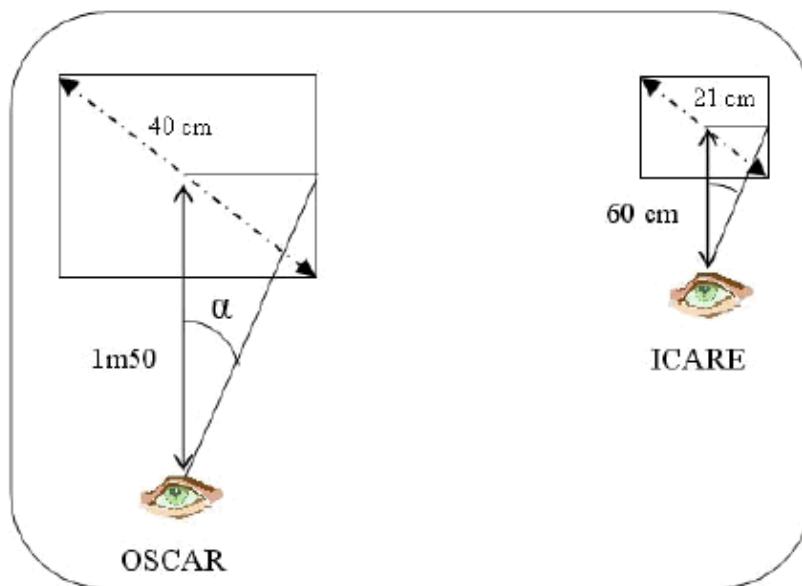
Avant d'envisager d'utiliser ICARE avec des nouvelles prises de vue, nous avons souhaité vérifier que ce nouvel outil n'introduisait pas de biais par rapport aux résultats que nous avons obtenus avec OSCAR. C'est pourquoi le développement d'ICARE a été réalisé avec les séquences vidéo d'OSCAR. Ainsi, nous avons pu mener une expérimentation de test auprès d'un échantillon équivalent à la population de référence d'OSCAR. Afin de procéder à la comparaison des résultats d'OSCAR et d'ICARE nous avons du revenir sur le codage des données d'OSCAR. Comme le montre le tableau 7, trois séquences sont passées de la catégorie « événements » à la catégorie « signalisation » (ie : changement de couleur de feux). Les résultats d'OSCAR que nous allons comparer à ceux obtenus avec ICARE sont ceux du groupe de référence mais reconsidérés en fonction de cette transformation. Notons que cela n'entraîne aucune différence significative par rapport aux résultats présentés précédemment.

5.2.1 Matériel et passation

5.2.1.2 Matériel

ICARE fonctionne sur PC. Pour notre expérimentation nous avons utilisé un ordinateur portable Pentium IV pourvu d'un processeur à 2GHz. Ce PC est muni d'un écran 17'' (40,9cm). La vidéo était projetée au centre de la partie supérieur de l'écran. Afin, d'optimiser la qualité de l'image, la diagonale de la vidéo n'est donc que de 21cm (40cm pour OSCAR). Cependant, les sujets étaient positionnés à environ 60 cm de l'écran (environ 1m50 pour OSCAR). Comme le montre la figure 101 les conditions de passation sont équivalentes par rapport à OSCAR. En effet, si nous calculons pour chaque dispositif l'angle (angle maximum formé par le regard lorsqu'il balaye la scène du point central jusqu'au bord de l'image) nous trouvons pour OSCAR $=8,3^\circ$ et pour ICARE $=8,9^\circ$. Cet écart de $0,6^\circ$ ne peut pas introduire de biais expérimental entre les deux dispositifs.

Figure 101 : Dispositifs OSCAR et ICARE



5.2.1.3 Passation

La passation d'ICARE commençait par la saisie d'informations relatives au sujet. Le module questionnaire nous a permis de consigner pour chaque sujet les mêmes informations et ce de manière systématisée (âge, année d'obtention du permis, kilométrage annuel, types de trajets les plus fréquents...). La validation du questionnaire lance le module OSCAR. L'expérimentateur choisit alors l'ordre de passation des séquences. Nous avons conservé le même ordre que pour OSCAR. Les séquences sont donc regroupées en deux blocs, A et B, que nous changeons d'ordre pour chaque sujet afin d'obtenir autant de données, pour chaque situation, en simple tâche et en double tâche. Comme pour OSCAR chaque bloc commence par quatre prétests qui permettent aux sujets de se familiariser avec le protocole. Les 20 séquences suivantes sont passées en simple tâche pour le premier bloc et en double tâche pour le second. Comme dans OSCAR la double tâche est une tâche de calcul mental, elle est menée de la même manière que précédemment. Une passation dure environ 45 minutes.

5.2.1.4 Les sujets

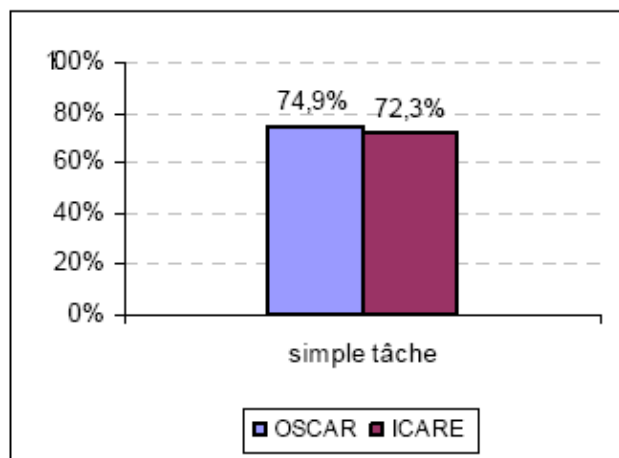
L'échantillon test d'ICARE est composé de 20 conducteurs expérimentés. La moyenne d'âge du groupe est de 31.2 ans. Le kilométrage annuel moyen est de 15292 km. Tous les sujets conduisaient de manière régulière en ville, ces trajets constituant la majorité de leurs déplacements. Les résultats de ce groupe vont maintenant être comparés aux performances recodées du groupe de référence d'OSCAR.

5.2.2 Comparaison des résultats OSCAR vs ICARE

5.2.2.1 Oscar vs Icare, en simple tâche

Globalement le groupe ICARE, en simple tâche, détecte 72.25% des modifications (figure 102). Cette performance n'est pas différente de la performance de référence OSCAR_(ST) qui était de 74.9% de détections ($=0.848$ $p=0.40$).

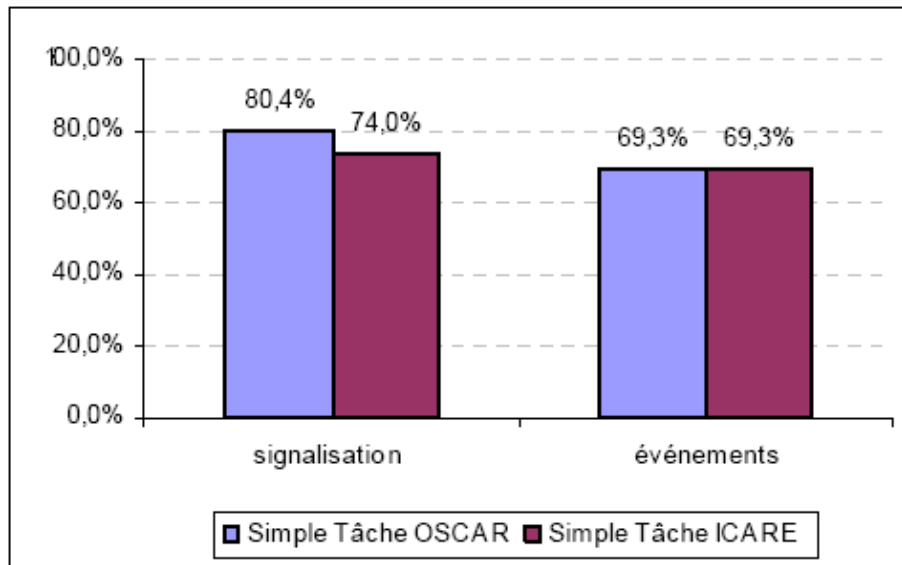
Figure 102: Comparaison des résultats globaux en ST OSCAR vs ICARE



5.2.2.1.1 Oscar vs Icare, en fonction de la nature des éléments modifiés

Si nous comparons les performances de ces deux groupes, en simple tâche, en fonction de la nature des éléments modifiés (figure 103) nous ne remarquons pas de différence significative ni pour la signalisation ($=1.706$ $p=0.09$) ni pour les événements ($=0$ $p=0.99$).

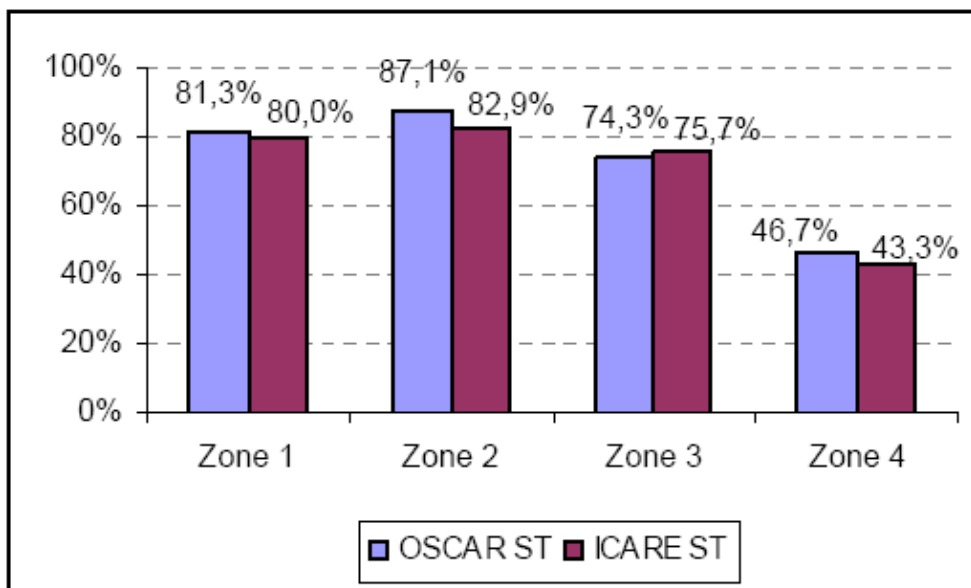
Figure 103 : Comparaison des résultats OSCAR vs ICARE en ST en fonction de la nature des éléments modifiés



5.2.2.1.2 Oscar vs Icare, en fonction de la distance des éléments modifiés

Lorsque nous comparons les performances, en ST, pour chacune des zones nous ne notons pas de différence significative entre les performances respectives des deux groupes ($zone1=1.657$ $p=0.10$; $zone2=1.063$ $p=0.29$; $zone3=-0.195$ $p=0.85$; $zone4=0.449$ $p=0.66$).

Figure 104: Comparaison des résultats OSCAR vs ICARE en ST en fonction de la distance des éléments modifiés

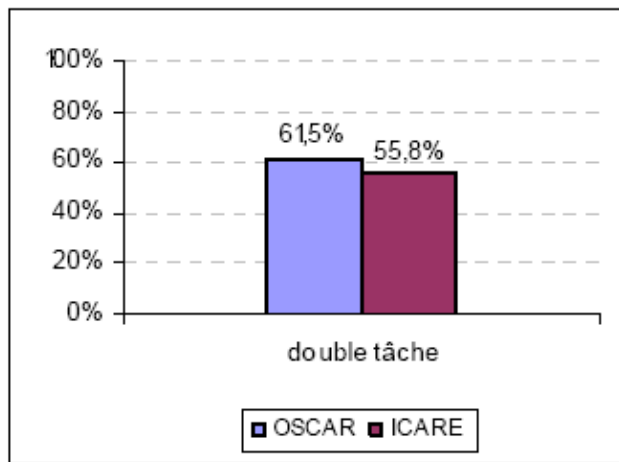


5.2.2.2 Oscar vs Icare, en double tâche

En situation de double tâche la performance des sujets ICARE est de 55.8% alors que le groupe de référence OSCAR_(DT) détectait 61.5% (figure 105). Cet écart n'est pas significatif ($=1.651$ $p=0.1$). Cependant il met en évidence une tendance du groupe ICARE à obtenir des résultats plus faibles en DT que le groupe de référence OSCAR. Par ailleurs, nous nous souvenons que les performances du groupe de référence étaient fortement dégradées par la double tâche (74.9% vs 61.5% $=4.123$ $p=0.000$ 1). De la même manière, nous avons comparé

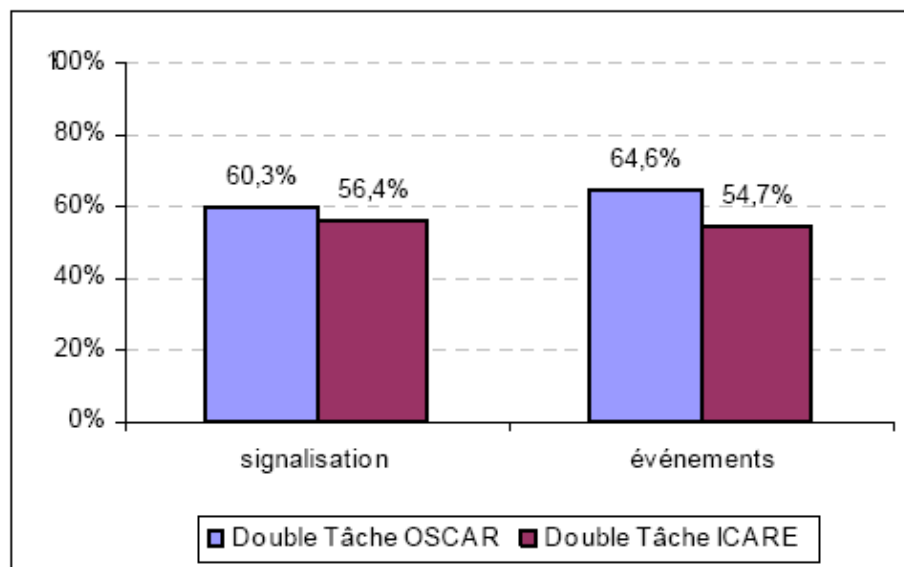
les résultats globaux des sujets ICARE et nous observons également une forte altération des performances (72.25% vs 55.8% = 4.861 p=0.000 001).

Figure 105 : Comparaison des résultats globaux OSCAR vs ICARE en DT



5.2.2.2.1 Oscar vs Icare, en fonction de la nature des éléments modifiés

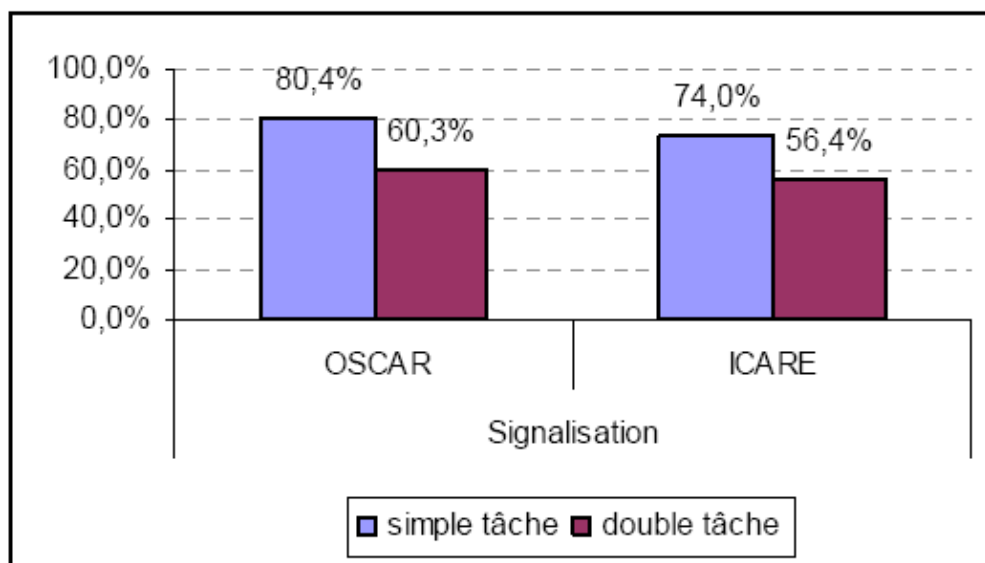
Figure 106 : Comparaison des résultats OSCAR vs ICARE en DT en fonction de la nature des éléments



La figure 106 permet d'observer les performances de détections des modifications « signalisation » et des modifications « événements » pour les deux protocoles en condition de double tâche. Le groupe de référence OSCAR détectait 60.3% des modifications « signalisation » les sujets ICARE en détectent 56.4% cette différence n'est pas significative ($=0.907$ p=0.27). De la même manière, alors que les sujets OSCAR détectaient 64.6% des modifications sur les événements, le groupe ICARE obtient un résultat de 54.7% pour ces modifications, cette différence n'est toujours pas significative ($=1.765$ p=0.08), mais, indique une tendance.

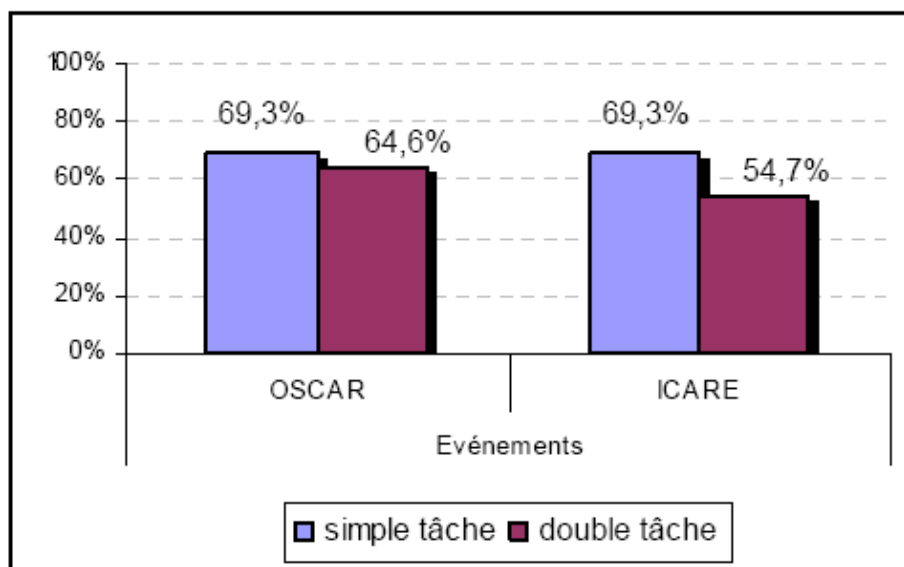
5.2.2.2.2 Impact de la DT en fonction de la nature des éléments modifiés

Figure 106 : Comparaison des résultats OSCAR vs ICARE en DT en fonction de la nature des éléments



La figure 107 compare l'impact de la DT sur les performances des groupes OSCAR et ICARE pour les modifications « signalisation ». Nous nous souvenons que pour le groupe de référence OSCAR, la double tâche avait un impact significatif sur ces performances ($=4.898$ $p=0.000\ 001$). De la même manière nous observons une différence significative pour les sujets ICARE entre la performance en simple tâche, 74% et la performance en double tâche, 56.4% ($=4.131$ $p=0.000\ 1$). Pour les deux tests la double tâche a donc un effet significatif sur les détections de modifications réalisées sur la signalisation.

Figure 108: Comparaison de l'impact de la DT OSCAR vs ICARE pour les modifications « événements »

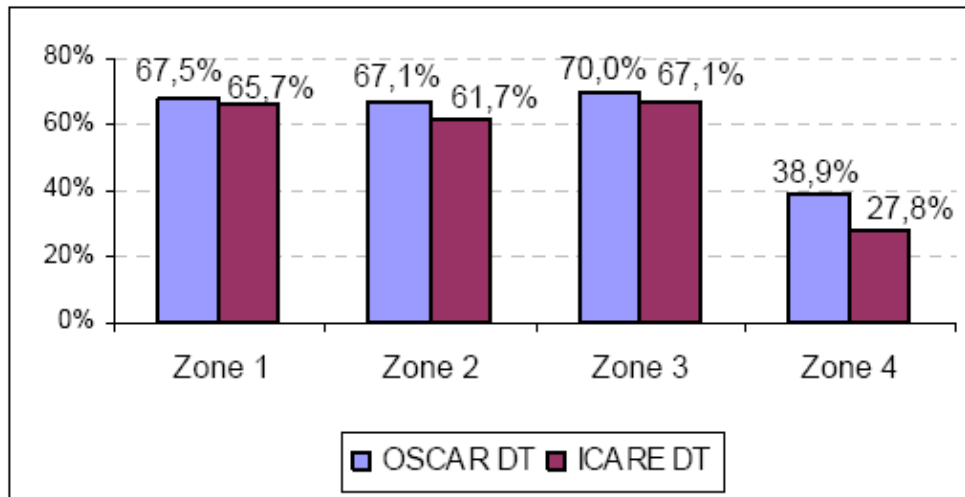


Si nous procédons à la même comparaison pour les modifications faites sur les événements nous obtenons la figure 108. Les résultats du groupe de référence OSCAR n'étaient pas altérés, de manière significative, par la double tâche (69.3% vs 64.6% $=0.859$ $p=0.4$). En revanche, nous observons que les sujets ICARE détectaient 69.3% des modifications « événements » en ST alors qu'ils n'en détectent plus que 54.7% en double tâche.

Cette différence se révèle significative ($t=2.617$ $p=0.01$). Ainsi, si la DT altère les performances des deux groupes pour les modifications « signalisation », seuls les résultats des sujets ICARE sont dégradés par la DT pour les modifications sur les événements.

5.2.2.2.3 Oscar vs Icare, en fonction de la distance des éléments modifiés

Figure 109 : Comparaison des résultats OSCAR vs ICARE en DT en fonction de la distance des éléments modifiés

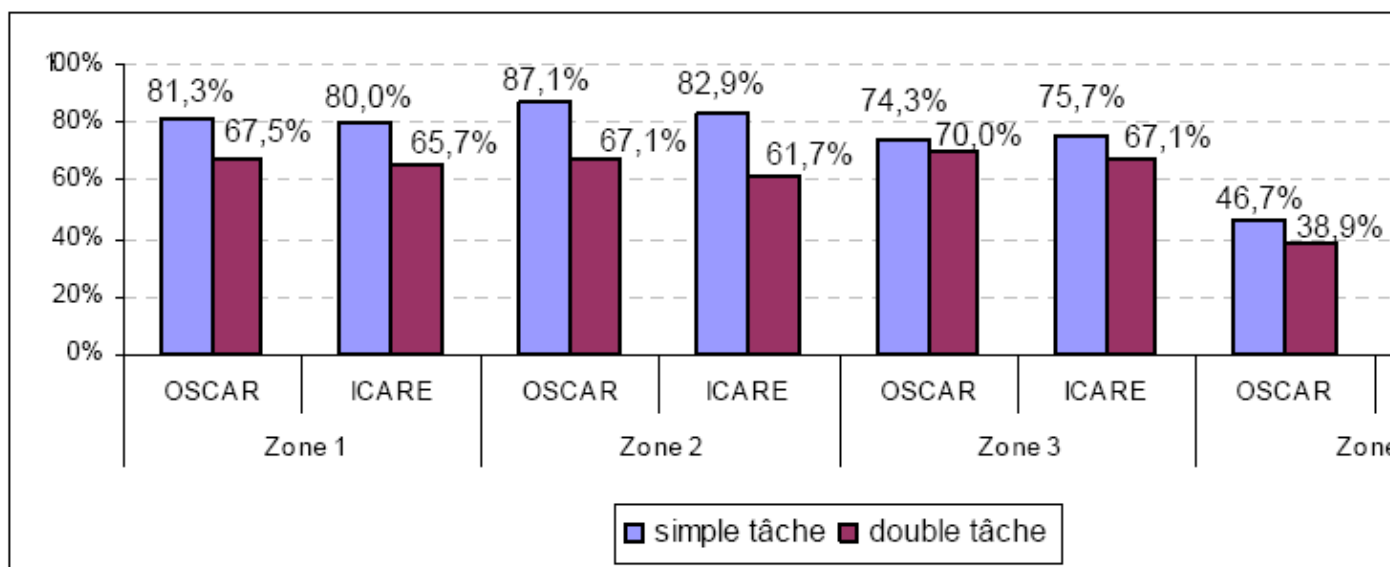


La figure 109 présente les performances des deux groupes en double tâche pour les quatre zones. Les différences que nous pouvons observer ne sont jamais significatives ($_{zone1}=0.728$ $p=0.47$; $_{zone2}=1.019$ $p=0.31$; $_{zone3}=0.364$ $p=0.72$; $_{zone4}=1.581$ $p=0.12$).

5.2.2.2.4 Impact de la DT en fonction de la distance des éléments modifiés

La figure 110 présente les résultats en simple tâche et en double tâche de chaque échantillon en fonction de la distance des éléments modifiés.

Figure 110 : Comparaison de l'impact de la DT, OSCAR vs ICARE, en fonction de la distance des éléments modifiés



Nous avons comparé l'impact de la DT pour chaque zone et pour chaque groupe. Pour la zone 1, les performances de références d'OSCAR étaient dégradées par la DT (81.3% vs 67.5% = 2.785 $p=0.01$). De la même manière nous notons une altération significative des performances du groupe ICARE (80% vs 65.7% = 1.901 $p=0.05$). Pour la seconde zone la DT altérerait également les performances du groupe de référence OSCAR (87.1% vs 67.1% = 4.386 $p=0.0001$). Ici aussi, les performances des sujets ICARE sont dégradées par la DT (82.9% vs 61.7% = 4.365 $p=0.001$). Pour les modifications de la troisième zone, nous n'observons pas de différence significative entre les deux conditions expérimentales pour le groupe de référence OSCAR (74.3% vs 70% = 0.566 $p=0.58$). Les résultats des sujets ICARE sont à nouveau conformes avec les performances de référence. En effet pour la zone 3 la différence observée entre ST et DT pour les sujets ICARE n'est pas significative (75.7% vs 67.1% = 1.122 $p=0.27$). Enfin, nous n'avons pas mesuré d'impact significatif de la DT sur les résultats obtenus pour les modifications de la zone 4 (46.7% vs 38.9% = 1.055 $p=0.30$). En revanche, pour cette zone la double tâche a un impact significatif pour les sujets du groupe ICARE. En effet, en simple tâche, ils détectent 43.3% des modifications alors qu'en double tâche ils n'en détectent plus que 27.8%. Cette altération s'avère significative (= 2.18 $p=0.03$).

5.2.3 Conclusion OSCAR vs ICARE

Les résultats recueillis pour les mêmes séquences vidéo et les mêmes modifications via OSCAR et via ICARE ne diffèrent pas beaucoup. En effet nous ne trouvons que deux dimensions pour lesquelles les résultats d'ICARE sont différents. Premièrement, avec ICARE les performances de détections pour les modifications sur les événements sont dégradées de manière significative par la double tâche alors que ce n'était pas le cas via OSCAR. Cependant, la différence significative mesurée pour les données d'ICARE suit la tendance que les données d'OSCAR indiquaient. Ces résultats ne sont donc pas contradictoires. Deuxièmement, OSCAR n'avait pas permis d'observer d'impact significatif de la double tâche pour les modifications de la zone 4 comme l'indiquent les résultats d'ICARE. Mais ici aussi l'impact significatif révélé par ICARE suit la tendance des données recueillies via OSCAR. De ce point de vue, nous pouvons conclure que l'évolution du protocole n'a pas introduit de biais expérimental.

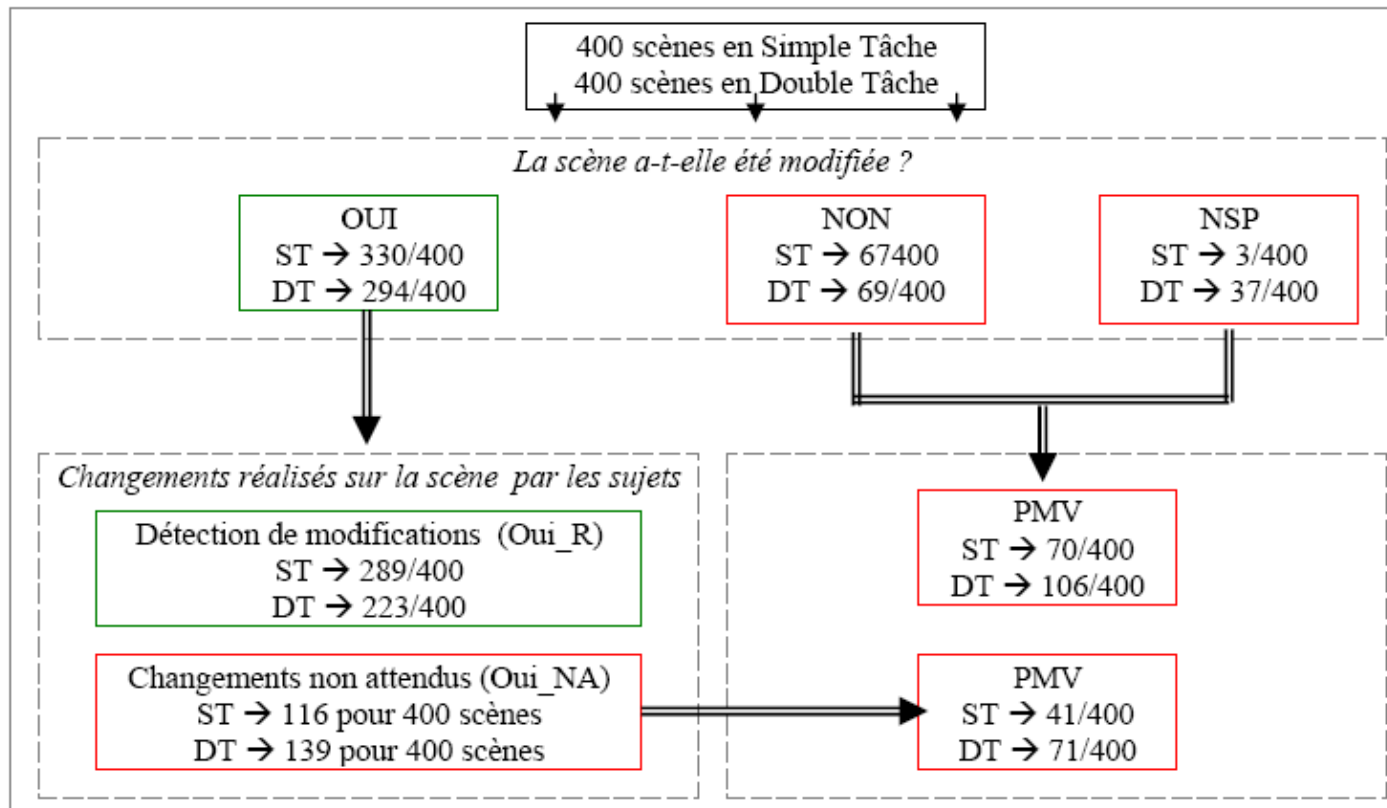
Par ailleurs, nous pensons que la tendance générale des données ICARE en double tâche à être un peu plus faibles que les données OSCAR en double tâche (sans jamais être significativement plus faibles) provient d'un biais de l'expérimentateur ! En effet, depuis le début des expérimentations OSCAR nous avons administré ce protocole à environ 80 sujets (tests et prétests d'expérimentation compris). Ainsi, au cours de ces passations nous avons acquis une certaine expertise pour mener notre double tâche en fonction des séquences vidéo notamment du point de vue de notre synchronisation. Par conséquent, la double tâche a sans doute été mieux menée pour ces 20 nouveaux sujets que pour les tout premiers sujets soumis à OSCAR. Cette

hypothèse nous suggère une amélioration qui avait déjà été envisagée pour cette nouvelle version du protocole : automatiser la double tâche. Bien que nous n'ayons pas mis en place cette fonction nous allons voir dans la prochaine partie qu'ICARE présente tout de même de nombreux avantages méthodologiques par rapport à OSCAR.

5.3- Les données supplémentaires d'ICARE

Alors que dans OSCAR nous n'avions conservé comme données uniquement le fait que les sujets aient détecté ou non notre modification, les niveaux de la trame de saisie d'une réponse d'ICARE (figure 99) nous ont permis de recueillir plus d'informations. En effet si nous ne considérons en parallèle que la première question posée aux sujets (est-ce que la scène a été modifiée ?) et les caractéristiques de nos modifications, nous obtenons des informations d'un niveau macroscopique intéressantes. Aussi, les différents niveaux que le sujet doit détailler afin de visualiser sa réponse nous permettent d'obtenir des performances graduées selon la justesse de ces différents niveaux. De plus, l'enregistrement automatique des données nous a également permis de récupérer et de traiter aisément les réponses dites "non-attendues". Ces données concernent les réponses fournies dans le but de rectifier des modifications que nous n'avons pas réalisées. Enfin, nous présenterons l'avantage global qu'apporte la sauvegarde automatique de l'intégralité des données couplée à l'utilisation de la 3D, via le module de feed-back visuel qui recompose graphiquement les réponses des sujets n'importe quand après leur passation. Le premier niveau d'analyse que nous fournissent les données d'ICARE concerne le jugement d'adéquation que porte le sujet sur l'image arrêtée par rapport à la scène finale de la vidéo qu'il vient de voir. En d'autres termes, il s'agit de la justesse des réponses à la question « Est-ce que la scène a été modifiée ? ». Les sujets avaient alors le choix entre trois réponses : oui, non ou je ne sais pas (nsp). Comme toutes les scènes finales de tests étaient modifiées, les réponses « non, la scène n'a pas été modifiée » et « je ne sais pas si la scène a été modifiée » conduisent forcément à la non-détection de nos modifications et à ce que nous appelons des « plans modifications vides » (PMV) qui constituent des réponses fausses. En revanche, les réponses « oui, la scène a été modifiée » mènent toutes à l'insertion d'objets dans l'image, c'est-à-dire à la correction de l'image modifiée. Mais cette catégorie peut être subdivisée en deux sous-catégories. Soit le sujet juge que la scène a été modifiée car il a détecté notre modification, et dans ce cas, au moins un des changements qu'il va dicter à l'expérimentateur corrigera notre modification. Nous appelons ces réponses « oui_R », elles correspondent à des détections de modifications. Soit le sujet estime également que la scène a été modifiée, mais pour une mauvaise raison. Dans ce cas, il n'a pas détecté notre modification, et ces changements sont des réponses que nous n'attendions pas (: ces réponses sont notées « oui_NA »). La figure 111, ci-dessous, résume toutes ces possibilités et les effectifs obtenus pour chaque catégorie de réponses.

Figure 111 :Typologie des réponses recueillies par ICARE



Ainsi nous obtenons deux possibilités : les réponses justes (cadre vert) et les réponses fausses (cadre rouge). Seules les réponses Oui_R sont véritablement considérés comme justes. En revanche, la catégorie réponses fausses regroupe les « non, la scène n'a pas été modifiée », les « je ne sais pas si la scène a été modifiée » ainsi que les « oui, la scène a été modifiée » accompagnée d'un changement non attendu (Oui_NA). Dans un premier temps, nous analyserons les réponses justes (Oui_R) en fonction d'une part des modifications que nous avons apportées aux scènes finales et d'autre part de la présence de la double tâche. Enfin nous analyserons les différents types de réponses fausses (non, nsp, et Oui_NA) selon les mêmes critères. Comme nous pouvons le voir sur la figure 111, au fur et à mesure que nous distinguons les types de réponses fournies par les sujets nos effectifs diminuent considérablement. C'est pourquoi, une grande partie des résultats qui suivent ne seront présentés qu'à titre descriptif, sans que nous puissions effectuer des tests statistiques sur les données.

5.3.1 Les réponses justes « oui, la scène a été modifiée » (oui_R)

Ce niveau de réponse correspond aux données que nous obtenions en utilisant OSCAR. Ces réponses concernent donc les cas où nos modifications ont été détectées puis rectifiées par les sujets. Cependant, OSCAR était binaire : la réponse était juste ou fausse. La cotation binaire d'ICARE a permis d'effectuer la comparaison des résultats OSCAR vs ICARE. Toutefois, les différents niveaux de spécifications des modifications d'ICARE permettent une analyse plus fine. L'éclatement des deux groupes de modifications, « signalisation » et « événements », a néanmoins réduit les effectifs de nos groupes. C'est pourquoi certains tests statistiques ont dû être calculés en remplaçant l'effectif réel par l'effectif minimum requis ($n=5$), dans ce cas les résultats porteront le symbole #. De même, lorsque la différence entre les deux effectifs est inférieure à 5 nous présenterons le résultat du test (avec la mention #) pour $n_a - n_b = 5$.

5.3.1.1 Des résultats plus fins sur les détections de modifications

ICARE nous permet de connaître les performances de détection des modifications en fonction de la catégorie d'objets modifiés. Cette classe intervient après la répartition des modifications entre « événements » et « signalisation ». Globalement, le tableau ci-dessous nous montre qu'en simple tâche et en double tâche les sujets ICARE ne détectent pas mieux les modifications selon qu'elles portent sur de la signalisation ou sur des événements.

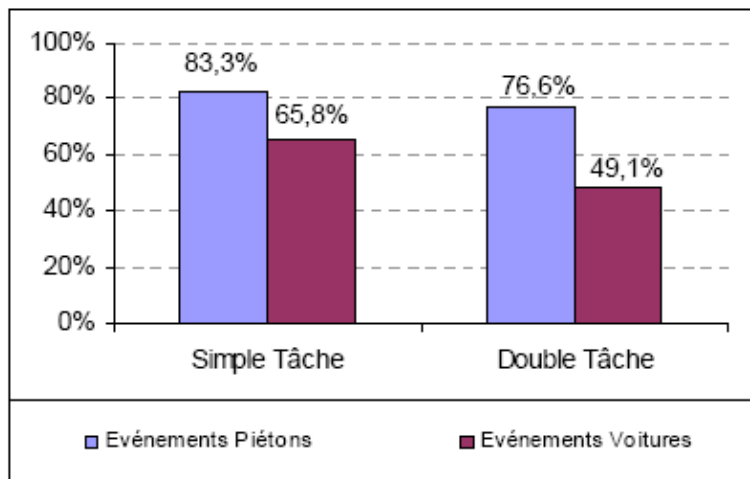
Tableau 11: performances de détections en fonction de la nature de la modification et de la DT

	Signalisation	Evénements		p
Simple Tâche	74%	69.3%	1.009	0.32
Double Tâche	56.4%	54.6%	-0.338	0.98

Par ailleurs, nous nous souvenons que la DT avait un impact significatif sur les performances de détections des modifications « événements » et sur les modifications « signalisation ». (événements=2.617 p=0.01 ; signalisation=4.131 p=0.000 1). ICARE permet de considérer les performances en fonction des catégories d'objets pour chaque nature.

5.3.1.1.1 Modification sur les événements

Figure 112 : Performances ICARE pour les modifications sur les objets "événements"



Les modifications sur les événements sont réparties en deux catégories d'objets : « piétons » ou « voitures ». D'après la figure 112, nous observons qu'en simple tâche, et en double tâche, les sujets ICARE ont tendance à mieux détecter les modifications sur les piétons que sur les voitures. Cependant la différence observée en simple tâche n'est pas significative (=1.859 p=0.07) alors qu'elle est significative en double tâche (=2.706 p=0.01). La double tâche accentue donc une tendance visible en simple tâche. Par ailleurs, ces données indiquent que la double tâche ne dégrade pas de manière significative les performances de détection des modifications sur les piétons (83.3% vs 76.6% =0.645 p 0.52#). En revanche, en simple tâche, les sujets ICARE détectent 65.8% des modifications « voitures » contre 49.1% en double tâche. Pour ces modifications, « voitures », la double tâche a donc un impact significatif (=2.612 p=0.01).

5.3.1.1.2 Modification sur la signalisation

Pour les modifications « signalisation » nous avons quatre catégories d'objets : « feux » ; « marquages seuls » (ie : cédez le passage, stop ou flèche au sol) ; « panneaux seuls » (ie : cédez le passage ou sens interdit) et

« panneaux + marquages » (cédez le passage).

Figure 113 : Performances ICARE pour les modifications des objets "signalisations" en ST

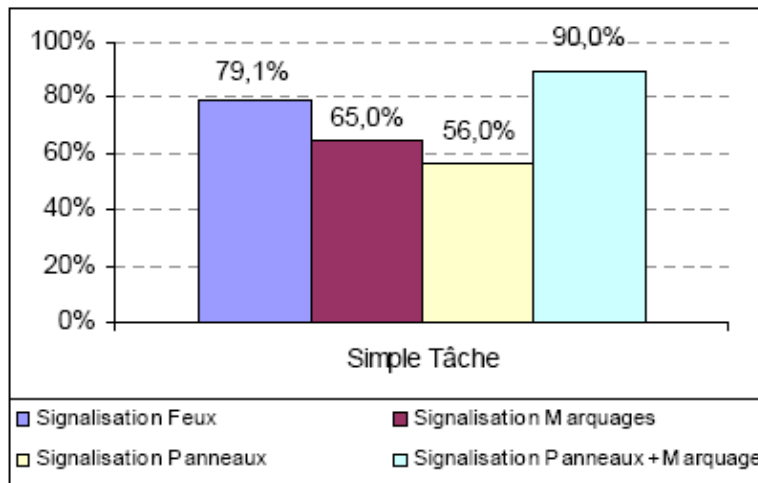
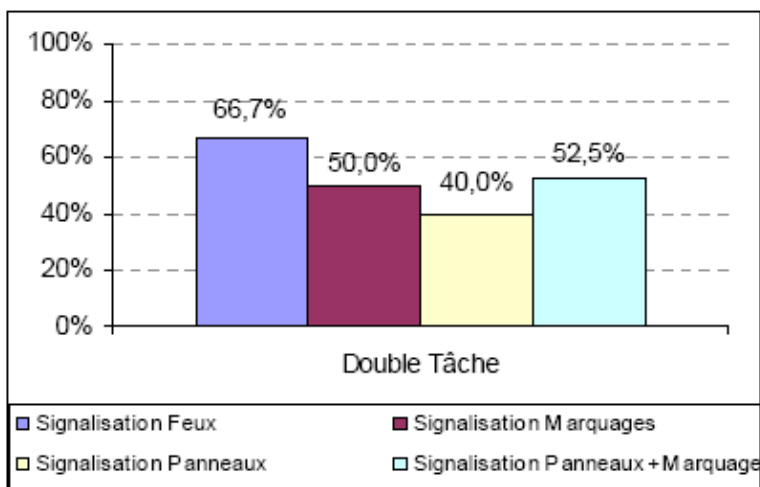


Figure 114 : Performances ICARE pour les modifications des objets "signalisations" en DT



La figure 113 présente les performances des sujets ICARE en simple tâche pour les modifications « signalisation » en fonction des quatre catégories d'objets. Nous observons que les modifications portant sur des ensembles « panneaux + marquages » sont celles que les sujets semblent le mieux détecter. En effet, ce résultat est significativement supérieur aux résultats obtenus pour les catégories « marquages seuls » ($=2.365$ $p=0.02\#$) et « panneaux seuls » ($=3.24$ $p=0.001\#$). En revanche, les performances obtenues pour les modifications « feux » et pour les modifications « panneaux + marquages » ne sont pas significativement différentes ($=1.169$ $p=0.25\#$). De la même manière nous pouvons comparer les performances des sujets pour ces quatre catégories de modifications mais en double tâche (figure 114). Ici nous observons que les meilleures performances concernent les modifications sur les feux (66.7%). Néanmoins, comme précédemment, les performances de détections pour les modifications « feux » et pour les modifications « panneaux + marquages » ne sont pas différentes significativement ($=-1.608$ $p=0.11$), mais la différence que nous observons est inversée par rapport à ce que nous observons en simple tâche (ST « panneaux+marquage » > « feux » ; DT « panneaux+marquages » < « feux »). Par ailleurs, les sujets ICARE, en double tâche, obtiennent des performances significativement meilleures pour les modifications sur les feux que pour les modifications « marquages seuls » ($=3.553$ $p=0.001$) et pour les modifications « panneaux seuls » ($=4.974$ $p=0.000$ 001). Parallèlement, le tableau 11 nous indique que la double tâche dégrade les performances

de détections des sujets ICARE uniquement pour les modifications sur les « feux » ou les modifications « panneaux + marquages ».

Tableau 12: performance de détections en fonction de l'objet (nature signalisation) et de la DT

Catégorie d'objets	Simple Tâche	Double Tâche		p
Feux	79.1%	66.7%	2.179	0.03
Marquages seuls	65%	50%	1.357	0.18
Panneaux seuls	56%	40%	1.601	0.11
Panneaux + marquages	90%	52.5%	3.705	0.001

Les résultats que nous venons de présenter classent les modifications en fonction de la nature des éléments de signalisation : panneaux, feux, marquages. En revanche, le tableau 12 reprend ces données en les organisant selon la fonction de l'élément de signalisation modifié. En effet, soit ces éléments ont une fonction dite de navigation (ie : flèches au sol et sens interdit), soit ils ont trait aux règles de priorités (ie : feux, stop et cédez le passage). Nous obtenons donc deux classes de modifications « signalisation ».

Tableau 13 : performance de détections selon la fonction de l'objet (nature signalisation) et de la DT

Fonction de la signalisation	Simple Tâche	Double Tâche		p
Navigation	52%	28%	2.443	0.01
Règles de Priorité	79.5%	63.5%	3.544	0.001

Dans ces conditions, nous observons qu'en simple ou en double tâche les sujets ICARE obtiennent des performances significativement meilleures lorsque les modifications portent sur des éléments qui ont trait aux règles de priorités ($S_T=3.965$ $p=0.0001$; $D_T=4.528$ $p=0.00001$). En outre, nous remarquons que la double tâche altère, de manière significative, ces deux catégories de modifications sur la signalisation.

Enfin, le dernier niveau de spécification des objets nous permettrait une analyse encore plus fine de nos données, cependant comme nous allons le remarquer dans les parties suivantes, la taille de nos effectifs ne nous permet plus toujours d'effectuer des tests statistiques. Néanmoins, nos données permettent de soulever quelques pistes. Il semble par exemple que les performances de détections de modifications sur les panneaux ne soient pas toutes dégradées de la même manière par la double tâche (sens interdit vs cédez le passage). De la même manière, nous observons qu'en double tâche des modifications sur les feux verts n'ont pas été détectées par les sujets, alors qu'en simple tâche elles ont toutes été détectées. Cette tendance ne semble pas apparaître tout à fait de la même manière pour les feux de couleur rouge. Nos données semblent également indiquer qu'en double tâche les performances de détections seraient moins bonnes pour les voitures venant en face que pour les voitures venant de la droite, ou roulant devant le véhicule. Ces points seraient à analyser avec des échantillons de sujets et de situations plus importants.

5.3.1.2 Des niveaux de justesse des réponses

Comme nous l'avons vu précédemment pour insérer un objet dans la scène le sujet doit définir chaque niveau de spécification de cet objet puis, il doit le placer dans la scène. Nous avons également vu que cette procédure nous permet d'attribuer à chaque changement attendu dicté par le sujet (réponse de type Oui_R) une note allant de 3 à 7. Le tableau 13 permet de constater que les proportions des réponses justes pour chacune des catégories de cotations ne varient pas en fonction de la DT. Cependant nous observons que la majorité des changements dictés par les sujets correspondent exactement aux réponses attendues (note 7).

Tableau 14: niveau de justesse des réponses en fonction de la DT

P

		Simple Tâche N=289	Double Tâche N=223		
Réponses incomplètes	3-4	8.3%	7.2%	0.472	0.64
Réponses estimées justes (dernier niveau équivalent)	6	7.3%	6.3%	0.439	0.67
Réponses exactement justes	7	80.9%	79.8%	0.325	0.75
Réponses estimées justes (anticipation)	8	3.5%	6.7%	-1.7	0.08

Aussi, en double tâche la proportion de note 8 (réponse estimée juste car elle traduit une anticipation juste sur un événement) a tendance à être plus forte qu'en simple tâche. De la même manière que précédemment nous avons comparé ces niveaux de performances en fonction des caractéristiques de nos modifications. Étant donné que nous ne travaillons plus que sur les réponses justes données par les sujets la répartition des résultats en fonction de nos différentes catégories réduisent considérablement certains effectifs. C'est pourquoi la suite des résultats ne sera présentée qu'à titre descriptif sans effectuer de tests statistiques sur ces données.

5.3.1.2.1 Niveaux de justesses des réponses en fonction de la nature des modifications

La majorité des changements dictés par les sujets obtiennent la note 7. En d'autres termes, ils correspondent exactement à l'objet que nous attendions. En revanche nous observons que pour les modifications « signalisation » ces réponses sont plus importantes en double tâche qu'en simple tâche, alors que nous observons l'effet inverse pour les modifications sur les événements. De plus, nous observons que pour les modifications sur les événements, les réponses « estimées justes » car mettant en scène une « anticipation juste » (note 8), sont deux fois plus nombreuses en double tâche qu'en simple tâche.

Tableau 15 : niveaux de justesse des réponses en fonction de la nature de la modification et de la DT

	Signalisation		Événements	
	Simple Tâche	Double Tâche	Simple Tâche	Double Tâche
Réponses incomplètes	12.4%	10.6%	1%	1.2%
Réponses estimées justes (dernier niveau équivalent)	8.1%	6.4%	5.8%	6.1%
Réponses exactement justes	79.4%	83%	83.6%	74.4%
Réponses estimées justes (anticipation)	Note spécifique aux événements		9.6%	18.3%

5.3.1.2.1 Niveaux de justesses des réponses en fonction de la distance des modifications

Sans surprise nous observons que pour les quatre zones la note la plus fréquemment attribuée aux réponses justes est 7. Bien que nous ne puissions déterminer la significativité de ces données, elles permettent de souligner des pistes intéressantes. En effet, nous remarquons que pour les deux zones lointaines, les proportions de réponses estimées justes car elles mettent en scène une anticipation sur un événement sont plus importantes en double tâche qu'en simple tâche. En revanche pour les zones 1 et 2 ces proportions sont stables entre les deux conditions expérimentales. Par ailleurs, nous observons que pour la zone 3, la proportion de réponses justes (exactement justes) est altérée par la double tâche. En même temps, nous voyons que les deux types de réponses considérées comme justes, soit pour le dernier niveau, soit pour la distance qui révèle une anticipation augmente en DT pour cette même zone. Ces informations sont bien plus intéressantes si nous les couplons à ce que nous avons déjà appris des performances de détections des modifications dans ICARE. Comme le rappelle la dernière ligne du tableau 15, les performances de détections sont dégradées, par le manque de ressources cognitives, pour toutes les zones hormis la zone 3. La troisième zone (ie : entre 25 et

50m) est donc la zone pour laquelle la double tâche n'a pas d'impact et où les sujets semblent se focaliser le plus.

Tableau 16 : niveaux de justesse des réponses en fonction de la distance des modifications et de la DT

	ZONE 1		ZONE 2		ZONE 3		ZONE 4	
	ST	DT	ST	DT	ST	DT	ST	DT
	N=56	N=46	N=141	N=105	N=53	N=47	N=39	N=25
Réponses incomplètes	5.3%	4.3%	9.2%	11.4%	5.7%	0%	12.8%	8%
Réponses estimées justes (dernier niveau équivalent)	8.9%	2.2%	9.2%	8.6%	3.7%	8.5%	2.6%	0%
Réponses exactement justes	76.8%	84.8%	80.8%	79.1%	83%	78.7%	84.6%	76%
Réponses estimées justes (anticipation)	8.9%	8.7%	0.8%	0.9%	7.5%	12.7%	0	16%
Pourcentage de détections des modifications	80%	65.7%	82.9%	61.7%	75.7%	67.1%	43.3%	27.8%
	***		***		NS		***	

5.3.1.3 Conclusion sur les réponses oui_R

Les catégories d'objet au sein des deux grandes catégories de modifications « signalisation » et « événement » ont permis de mettre en évidence de nouvelles tendances. Premièrement, nous avons remarqué que les sujets tendent à toujours à obtenir de meilleures performances pour les modifications sur les piétons par rapport aux modifications sur les voitures. Ce résultat, qui n'était qu'une tendance en simple tâche, devient significatif en double tâche. Aussi, nous avons vu que la double tâche avait un effet significatif uniquement sur les modifications portant sur les voitures. Les processus impliqués dans le traitement des éléments de types voitures ne sont donc pas automatisés. En revanche, les traitements cognitifs des éléments « piétons » ne sont pas dégradés. Ce résultat souligne une priorité donnée à ces éléments et/ou un niveau de traitement plus automatisé. Deuxièmement, les données sur les éléments de signalisation ont mis en évidence qu'en simple tâche et en double tâche les meilleures performances portent sur les feux et sur les ensembles « panneau+marquage ». En d'autres termes, les moins bonnes performances de détections de modifications concernent toujours les modifications sur les marquages seuls et les modifications sur les panneaux seuls. Par ailleurs, la double tâche n'a eu un impact que pour les modifications sur les feux et les modifications sur les ensembles « panneau+marquage ». L'impact du manque de ressources cognitives nous montre ici que ces éléments nécessitent des traitements coûteux cognitivement. Puisque dégradés par la double tâche, ces traitements ne sont pas automatisés. En effet, nous avons déjà souligné que le feu tricolore est un élément de signalisation particulier : il est dynamique et nécessite des vérifications constantes en approche d'intersection. Cette caractéristique du feu tricolore explique sans doute que les processus cognitifs mis en œuvre ne puissent être automatisés. Par ailleurs, les ensembles « panneau+marquage » correspondent à des cédez-le-passage. En d'autres termes, ils sont placés en approche d'intersection et le conducteur doit rechercher activement quelles sont les règles de priorités qui régissent l'infrastructure. De ce fait, il est normal que ces processus cognitifs nécessitent des ressources cognitives : recherche active d'information de la part du conducteur. Aussi, lorsque nous avons catégorisé les modifications de signalisation selon la fonctionnalité des éléments (ie : navigation vs priorité) nous avons observé que si la double tâche a un impact pour les deux catégories, les performances restent toujours meilleures pour les éléments portant sur les priorités des intersections. Ainsi, ces sous-catégories, tant pour les événements que pour la signalisation, nous montre que le manque de ressources cognitives n'influe pas sur tous les éléments de chaque catégorie de la même manière. Certains éléments ont un caractère plus prioritaire que d'autres et ne sont pas du tout négligés (ie : les piétons). D'autres éléments sont moins bien intégrés par les sujets en situation de double tâche mais les résultats soulignent tout de même que les sujets continuent de leur attribuer une importance dans la scène (ie : feux et cédez le passage). Au contraire, nous remarquons que l'intégration des autres véhicules (ie : voitures) et des signes signalétique de navigation (eg : flèches au sol) sont d'une manière générale plus négligés lorsque les sujets manquent de

En outre, les niveaux de justesse des réponses nous offrent aussi de nouvelles informations. Tout d'abord, nous pouvons dire que dans la majorité des cas les réponses données par les sujets correspondent exactement à nos modifications. En d'autres termes, lorsqu'ils jugent que la scène a été modifiée, c'est en général pour la bonne raison. Le groupe ICARE étant constitué de conducteurs expérimentés et nos modifications portant sur des éléments pertinents de la situation, ce résultat n'est pas étonnant. Mais nous pouvons nous demander si de jeunes conducteurs obtiendraient le même pattern de résultats... Ensuite, bien que nous n'ayons pu réaliser de tests statistiques, les données en fonction de la justesse des réponses et des différentes catégories de modifications fournissent des éléments intéressants. Premièrement, nous remarquons qu'il y a plus de réponses incomplètes pour les modifications sur la signalisation que pour les modifications sur les événements et ce, quelles que soient les conditions expérimentales. Deuxièmement, en fonction de la nature de nos modifications et de la double tâche, nous obtenons des tendances inverses pour les proportions des réponses exactes. C'est-à-dire qu'en simple tâche la proportion de réponses exacte tend à être meilleure pour nos modifications sur les événements, alors qu'en double tâche, c'est la proportion de réponses exactes pour nos modifications sur la signalisation qui tend à prendre le dessus par rapport aux événements. Cependant, en double tâche, les réponses « anticipées » sur les événements sont deux fois plus nombreuses qu'en simple tâche ($ST=9.6\%$ vs $DT=18.3\%$ écart : 8.7%). Or, si l'on regarde l'écart simple tâche, double tâche pour les réponses exactes sur les modifications événements, nous observons un écart de 9.2% . Ainsi, la baisse des réponses exactes sur les modifications « événements » en DT pourrait provenir de l'augmentation des réponses anticipées en DT sur les modifications « événements ». Troisièmement, la prise en compte des niveaux de justesse des réponses et de l'altération des performances globales en fonction de la double tâche pour les 4 zones de modifications ont montré un résultat intéressant pour la zone 3. En effet, nous avons vu que pour cette zone la double tâche n'avait pas d'impact significatif sur les performances globales de détections. De ce fait, dès les passations d'OSCAR, nous avons souligné que cette zone, entre 25 et 50m, était privilégiée pour les conducteurs les plus expérimentés de nos échantillons, car ils anticipaient et ce même en double tâche. Aujourd'hui, nous avons confirmation de ce résultat. En effet, nous observons que pour la zone 3, les réponses anticipées augmentent en double tâche ($ST=7.5\%$ vs $DT=12.7\%$). Parallèlement, nous notons également que toujours pour cette zone la proportion de réponses incomplètes en DT par les sujets est nulle. De ce fait, toutes nos données laissent penser que les éléments compris entre 25m et 50m sont prioritaires pour les conducteurs expérimentés. Néanmoins, ces résultats mériteraient d'être confirmés sur des échantillons qui permettraient de réaliser des tests statistiques.

5.3.2 Les non détections de modifications (PMV)

Si nous nous référons à la figure 111 (p170), nous voyons que plusieurs types de réponses amènent à ce que nous avons appelé des « plans modifications vides » ou PMV, en d'autres termes à des non détections des modifications. En effet, soit le sujet juge que la scène n'a pas été modifiée (PMV_non), soit il ne sait pas si la scène a été modifiée ou non et ne se prononce pas sur des changements à opérer (PMV_nsp). Enfin, il juge que la scène a été modifiée, mais pour une mauvaise raison, c'est-à-dire que le(s) changement(s) qu'il dicte à l'expérimentateur ne correspond(ent) pas à notre modification, sa réponse est alors qualifiée de « non attendue » (PMV_na). Globalement l'analyse des proportions des PMV ne fournit pas de nouvelle information car elle représente le pendant de l'analyse des performances de détections de nos modifications. Ainsi, nous voyons que sur l'ensemble des séquences en simple tâche 27.75% des réponses des sujets conduisent à des PMV, alors qu'en double tâche cette proportion augmente jusqu'à 44.25% . Cependant, si nous considérons chacune des trois catégories de PMV que nous venons de dégager (tableau 16), nous constatons alors que les réponses « non, la scène n'a pas été modifiée » sont aussi fréquentes en simple tâche qu'en double tâche (PMV_non). En revanche, il apparaît que les réponses « je ne sais pas si la scène a été modifiée » sont très rares en simple tâche (0.75%) alors qu'elles représentent 17.75% des réponses des sujets en double tâche. Enfin, nous remarquons que les cas où le sujet juge la scène modifiée en ne détectant pas notre modification, mais en fournissant une réponse non attendue sont plus fréquents en double tâche qu'en simple tâche.

Tableau 17 : Type de non-détection en fonction de la DT

	Simple Tâche N=400	Double Tâche N=400		P
Pourcentage total PMV	27.75%	44.25%	-4.861	0.000 01
PMV_non	16.75%	17.25%	-0.188	0.86
PMV_nsp	0.75%	9.25%	-5.073 #	0.000 001
PMV_na	10.25%	17.75%	-3.057	0.001

Toutefois, les PMV ne représentent qu'une partie des données d'ICARE, c'est pourquoi nous pouvons considérer les trois types de PMV non plus en fonction du nombre total de scènes présentées aux sujets mais en fonction du nombre total de PMV (en simple tâche : 111 soit 27.75% du total des scènes, en double tâche : 177 soit 44.25% du total des scènes). Ainsi, nous voyons que parmi les trois types de réponses qui conduisent à des non détections de modifications (ie : PMV) en simple tâche ce sont les réponses « non, la scène n'est pas modifiée » qui sont les plus fréquentes (60.3% vs 37% = 3.491 p=0.001), alors que ce n'est plus le cas en double tâche (39% vs 40.1% = -0.217). En effet, en double tâche la proportion de réponses « je ne sais pas si la scène a été modifiée » augmente à défaut des « non la scène n'est pas modifiée ».

Tableau 18 : Répartition des types de non-détection en fonction de la DT

	Simple Tâche N=111	Double Tâche N=177		P
PMV_non	60.3%	39%	3.537	0.001
PMV_nsp	2.7%	20.9%	-3.838 #	0.001
PMV_na	37%	40.1%	-0.538	0.60

5.3.2.1 Type de réponses fausses en fonction de la nature des éléments modifiées

Comme nous l'avons vu les performances de détections des modifications étaient dégradées par la double tâche quelle que soit la nature des éléments modifiés, nous observons ici le pendant de ce résultat : les non détections augmentent en double tâche quelle que soit la nature des éléments modifiés. De la même manière, nous observons que les proportions de PMV en simple tâche sont équivalentes quelle que soit la nature des modifications à détecter (=1.009 p=0.32), il en est de même en double tâche (=0.338 p0.74).

Tableau 19 : Non-détections en fonction de la nature de la modification et de la DT

	Simple Tâche N=400	Double Tâche N=400		P
PMV_signalisation	26%	43.6%	-4.131	0.000 1
PMV_événements	30.7%	45.3%	-2.67	0.01

Comme précédemment, pour chaque nature d'éléments modifiés nous pouvons éclater les non détections en fonction des trois types de PMV en ne prenant plus en compte que les réponses fausses des sujets. Si nous ne considérons d'une part, que les 26% de PMV_signalisation obtenus en simple tâche, le tableau 19 montre que ces non détections proviennent de réponses « non, la scène n'a pas été modifiée » et de réponses « oui, la scène a été modifiée » suivies d'un changement qui ne corrige pas notre modification. Nous remarquons également que l'augmentation globale de PMV_signalisation provoquée par la double tâche (26% vs 43.6%) est due d'une part à l'augmentation de réponses du type « oui, la scène a été modifiée + changement non attendu » et d'autre part, à l'apparition de 9.2% de « je ne sais pas si la scène a été modifiée ».

Tableau 20 : Types de non-détection en fonction de la nature des modifications et de la DT

		Simple Tâche N=111	Double Tâche N=177
PMV_Signalisation	PMV_non	61.5%	38.5%
N(st)=65	PMV_nsp	0	21.1%
N(dt)=109	PMV_na	38.5%	40.4%
PMV_Evénements	PMV_non	58.7%	39.7%
N(st)=46	PMV_nsp	6.5%	20.6%
N(dt)=68	PMV_na	34.8%	39.7%

Nous observons exactement le même pattern de résultats en ce qui concerne les scènes où notre modification portait sur des événements. En simple tâche, la majorité des non détections provient du fait que les sujets jugent la scène non modifiée. Cette proportion n'augmente pas en double tâche, mais les deux autres types de réponses sont plus fréquents en DT ce qui explique l'augmentation globale des non détections sur les événements.

5.3.2.2 Types de réponses fausses en fonction de la distance des éléments modifiés

Nous pouvons également comparer les proportions de PMV en fonction de la distance des modifications non détectées. Le tableau 20 nous présente les pourcentages de non détections des modifications en fonction des quatre zones que nous avons définies. Ces données ne sont que le « négatif » des performances de détections des modifications en fonction des quatre zones.

Tableau 21 : Non-détections en fonction de la distance des modifications et de la DT

	Simple Tâche N=400	Double Tâche N=400		P
PMV_Zone 1	20%	34.3%	-1.901	0.05
PMV_Zone 2	17.1%	38.3%	-4.365	0.000 1
PMV_Zone 3	24.3%	32.9%	-1.122	0.27
PMV_Zone 4	56.7%	72.2%	-2.18	0.03

A partir de ces données, il est possible de comparer les proportions des trois types de PMV (tableau 21). Nous constatons à nouveau la même tendance. En simple tâche, la majorité des non détections sont de « vraies non détections » : les sujets jugent que la scène n'a pas été modifiée. Dans les autres cas, ils jugent que la scène a été modifiée pour de mauvaise(s) raison(s) (PMV_na, changements non attendus). Par contre, en double tâche, on observe l'apparition d'environ 15 à 25% de non détections car les sujets ne savent pas estimer si la scène a été modifiée ou non (ie :PMV_nsp). Ce pattern s'applique aux quatre zones, la distance n'influe donc pas sur les types d'erreurs.

Tableau 22 : Types de non-détections en fonction de la distance des modifications et de la DT

		Simple Tâche N=111	Double Tâche N=177
PMV_Zone 1	PMV_non	57.1%	33.3%
N(st)=14	PMV_nsp	0	20.8%
N(dt)=24	PMV_na	42.8%	45.8%
PMV_Zone 2	PMV_non	65.5%	33.8%
N(st)=29	PMV_nsp	3.5%	24.6%
N(dt)=65			

	PMV_na	31%	41.5%
PMV_Zone 3	PMV_non	76.5%	34.8%
N(st)=17	PMV_nsp	0	26%
N(dt)=23	PMV_na	23.5%	39.1%
PMV_Zone 4	PMV_non	53%	47.6%
N(st)=51	PMV_nsp	3.9%	15.4%
N(dt)=65	PMV_na	41.3%	37%

5.3.2.3 Conclusion sur les non détections de modifications (PMV)

Que l'on considère les non détections de manière globale ou bien en fonction de nos principales caractéristiques de modification (ie : nature et distance) nous voyons que les causes de non détections ne sont pas les mêmes en simple tâche et en double tâche. En simple tâche, les réponses fausses des sujets sont des réponses « franches ». En d'autres termes, soit ils estiment que la scène ne présente pas de modification (ie : PMV_non), soit ils la jugent modifiée pour de mauvaise(s) raison(s) (ie : PMV_na, changement non attendu). En revanche, en double tâche nous voyons apparaître des pourcentages de réponses indécises : les sujets ne savent pas si nous avons apporté des modifications ou non à la scène (ie : PMV_nsp). En outre, comme cette tendance s'observe quelles que soient les caractéristiques des modifications que nous considérons, il semblerait que les événements ne soient pas plus robustes à ce flou artistique que les éléments de signalisation. De la même manière l'environnement proche n'est pas privilégié par rapport aux modifications plus lointaines. En double tâche, le jugement des sujets sur tous les éléments de la scène semble menacés par le doute ! Nos données ne nous permettent pas une analyse plus fine de ces réponses. En effet, elles ne représentent que 2.7% des réponses en simple tâche et 20.9% des réponses en double tâche. Ce type de traitement nécessiterait d'avoir un échantillon de sujets plus important afin de récolter plus de données de ce type.

Cependant, nous pouvons dire qu'en double tâche, les sujets sont moins sûrs d'eux. Cela peut vouloir dire que la diminution des ressources cognitives des sujets ne leur permet plus d'élaborer une représentation mentale suffisante pour la comparer mentalement à l'image finale que nous leur proposons après coup. Ou, cela peut signifier que les sujets sont conscients de l'impact de la double tâche sur leur performance et de ce fait sont moins sûrs de leur jugement. Dans les deux cas, la conscience de la situation des sujets est troublée par l'utilisation de leurs ressources cognitives pour une autre activité et les sujets le savent.

5.3.3 Les réponses non attendues (oui_NA)

Les réponses non attendues correspondent aux changements opérés par les sujets sur les scènes finales sans que ces derniers corrigent nos modifications. Nous avons vu plus haut que ces types de réponses peuvent conduire à des non détections de nos modifications, et donc à ce que nous avons appelé des PMV_na. Il s'agit par exemple de l'ajout d'un piéton alors que notre modification portait sur un feu. Cependant des réponses non attendues peuvent également subvenir conjointement à des réponses justes (oui_R). C'est à dire que le sujet corrigera alors la modification sur le feu, mais ajoutera également un piéton. Jusqu'à présent nous n'avons pas pris en compte ces réponses, nous avons seulement considéré les non détections provenant de changements non attendus (PMV_na). En d'autres termes, ce qui nous importait était de savoir si le sujet avait détecté ou non la modification d'un feu. Si ce n'était pas le cas nous déterminions uniquement la cause de cette non détection en termes de PMV_non, PMV_nsp ou bien PMV_na. Aussi, à partir du moment où le sujet avait détecté notre modification, nous ne tenions pas compte du fait qu'il ait pu opérer d'autres changements sur la scène. Cependant, simple tâche et double tâche confondues, nous comptabilisons au total 255 changements dictés par les sujets, qui portent sur des éléments de la scène qui n'ont pas été modifiés.

Au total les sujets ont effectué 767 changements, dont 405 en simple tâche et 362 en double tâche. Il apparaît donc que les sujets réalisent proportionnellement plus de changements en simple tâche qu'en double tâche

(=2.196 p=0.03). De plus, globalement les fausses réponses représentent un tiers des réponses données par les sujets (tableau 22). En simple tâche, les changements non attendus représentent 28.6% des réponses des sujets, contre 38.4% en double tâche (=2.863 p=0.01). Proportionnellement, les changements non attendus sont plus nombreux en condition que double tâche qu'en simple tâche. Ainsi, d'une part, les sujets effectuent moins de changements en double tâche qu'en simple tâche. Et d'autre part, parmi ces changements moins nombreux, plus d'un tiers porte sur des éléments que nous n'avions pas modifiés (tableau 22).

Tableau 23: Proportion de changements attendus et changements non-attendus en fonction de la DT

	Global N=767	Simple Tâche N=405	Double Tâche N=362
Nombre de changements corrigeant des modifications	512 66.7%	289 71.4%	223 61.6%
Nombre de changements non attendus	255 33.3%	116 28.6	139 38.4%

De la même manière, que nous caractérisions nos modifications en fonction de la nature et de la distance des objets modifiés nous avons recueilli ces informations sur les réponses non attendues. Ces erreurs apparaissent-elles plus sur certains types d'objets ?

5.3.3.1 Nature et distance des changements non attendus

En ce qui concerne la nature des objets correspondants aux changements non attendus, il peut s'agir d'événements ou bien de signalisation, mais il est également arrivé que des sujets souhaitent modifier d'autres sortes d'éléments de la scène (eg : affiche publicitaire, infrastructure...). Toutefois, ces changements sont rares, c'est pourquoi nous les avons regroupés au sein d'une catégorie générique : « autres » (tableau 23).

Tableau 24: Nature des changements non attendus en fonction de la DT

	Simple Tâche N=116	Double Tâche N=139		P
Signalisation	41 35.4%	45 32.3%	0.5	0.62
Evénements	73 62.9%	88 63.3%	-0.062	0.96
Autres	2 1.7%	6 4.3%	-1.183#	0.24

Ainsi, en simple tâche, comme en double tâche, nous observons que la majorité des réponses non attendues porte sur des événements. Par ailleurs, nous n'observons pas de différence entre les proportions respectives des différents changements entre les deux conditions expérimentales. En outre, grâce à l'univers 3D calqué sur la géométrie de la scène réelle et à l'algorithme de conversion des distances, il nous a également été possible de récupérer les distances métriques réelles de ces objets. De la même manière que nous l'avons fait pour nos modifications, nous avons répartis les changements non attendus en fonction de leur distance au sein de nos quatre zones (tableau 24).

Tableau 25 : Distance des changements non-attendus en fonction de la DT

	Simple Tâche N=116	Double Tâche N=139		P
Zone 1	38 32.7%	38 27.3%	0.942	0.35

Zone 2	47 40.5%	69 49.6%	-1.457	0.14
Zone 3	21 18.1%	20 14.3%	0.804	0.43
Zone 4	10 8.6%	12 8.6%	-0.004	0.99

Nous observons que la majorité des changements non attendus correspondent à des objets de la zone 2 (entre 15 et 25m). De plus, bien qu'elle ne soit pas significative la différence de pourcentages entre simple tâche et double tâche est de sens inversé par rapport aux données respectives des autres zones. La zone 2 est donc celle où la proportion de changements non attendus est sensiblement plus importante en double tâche. Le tableau 15 nous rappelle aussi que la double tâche avait un effet négatif important sur les performances de détections des modifications. Les réponses non attendues nous indiquent que les sujets avaient une mauvaise représentation mentale de la situation (les changements qu'ils opèrent, dans le but de corriger des modifications, n'ont pas lieu d'être). La baisse des performances signifie la même chose. Les sujets accordent-ils moins d'attention à cette zone ?

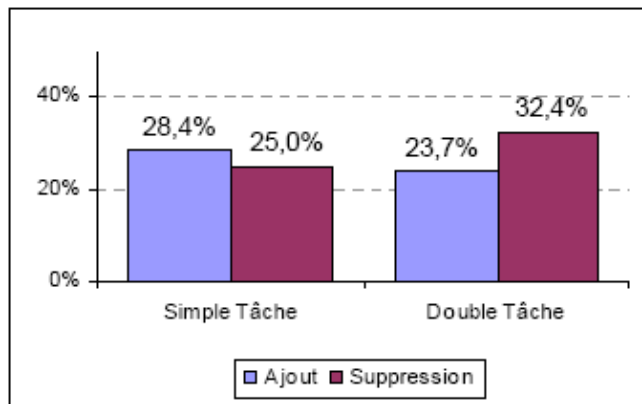
5.3.3.2 Types de changements non attendus

Les changements non attendus peuvent être de trois types. En effet, le sujet peut décider d'ajouter, de supprimer ou bien de déplacer un élément dans la scène. L'ajout d'un élément dans la scène signifie que le sujet pense, à tort, que nous l'avons supprimé alors qu'il n'existait pas, c'est-à-dire que sa représentation mentale de la scène comprenait un élément qui n'existait pas dans la scène réelle. A l'inverse, un changement non attendu de type « suppression » signifie que le sujet supprime un élément de la scène, pensant que nous l'avons ajouté ; il n'était pas intégré à la représentation mentale du sujet bien qu'il existe dans la scène vidéo. Enfin, les déplacements concernent essentiellement les événements. Il s'agit de cas où les sujets ont souhaité reculer ou avancer des éléments existants dans la scène réelle (tableau 25). Ces données permettent de constater que le plus souvent les réponses non attendues sont de types « déplacement ». En outre, nous remarquons qu'une seule des proportions tend à varier en fonction de la DT. En double tâche la proportion de changements non attendus de types « suppression » tend légèrement à être plus importante qu'en simple tâche (tableau 25).

Tableau 26 : Types des changements non-attendus en fonction de la DT

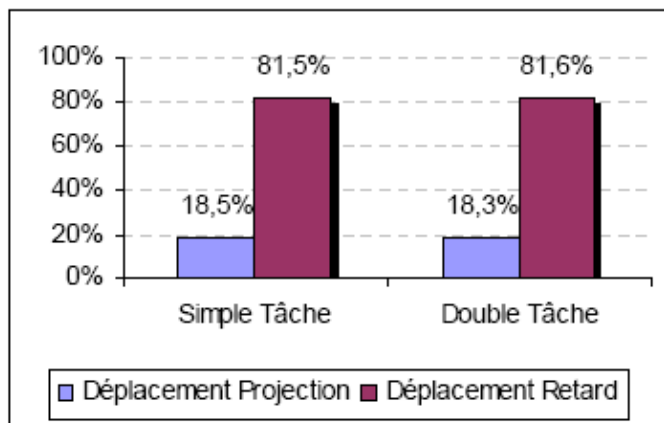
	<i>Simple Tâche</i> <i>N=116</i>	<i>Double Tâche</i> <i>N=139</i>		<i>P</i>
Ajouts	33 28.4%	34 24.4%	0.72	0.2358
Suppressions	29 25%	45 32.4%	-1.292	0.0985
Déplacements	54 46.5%	60 43.2%	0.524	0.2946

Figure 115 : Ajouts et Suppressions non attendus en ST et en DT



Si nous considérons uniquement les ajouts et les suppressions (figure 115), bien que les différences ne soient pas significatives ($S_T=0.593$ $p=0.53$; $D_T=-1.602$ $p=0.11$), nous observons des tendances inverses en fonction des conditions expérimentales. En effet, en simple tâche, nous observons plus d'ajouts que de suppressions, alors qu'en double tâche nous observons plus de suppressions que d'ajouts. Compte tenu de la dégradation provoquée par la double tâche sur les performances de détections de modifications, nous ne sommes pas surpris par ce résultat qui signifie que les sujets en double tâche intègrent moins d'informations dans leur représentation mentale. N'ayant pas intégré l'élément dans leur représentation mentale de la situation, ils le suppriment, à tort, croyant que nous l'avions ajouté.

Figure 116 : Types de déplacements en ST et DT



Par ailleurs, en simple tâche comme en double tâche, les déplacements sont les changements non attendus les plus fréquents. Ces réponses concernent majoritairement les événements, éléments dynamiques de la scène. En effet, les sujets n'ont quasiment pas remis en question les positions des éléments de signalisations, éléments statiques. Les seuls cas de déplacement sur des éléments de signalisation que nous avons observés ($n=17$) correspondent à l'ajout d'éléments qui n'étaient déjà plus dans le champ de la caméra au moment de l'interruption de la vidéo. Nous avons catégorisé les déplacements en deux classes : retard ou projection. Soit, le déplacement opéré par le sujet recule l'événement par rapport à sa réelle position, le changement sera alors classé dans la catégorie « retard ». Sont également classés dans la catégorie « retard » les événements qui avaient quitté le cadre de l'image quelques secondes avant l'arrêt de la vidéo mais que les sujets ont repositionnés dans la scène finale ainsi que les 17 cas d'éléments de signalisation dont nous avons parlé plus haut. Soit, à l'inverse, les déplacements effectués par le sujet peuvent projeter les événements en avant par rapport à leur position réelle. Ils témoignent ainsi d'une anticipation, possible, sur leur déplacement réel. Ces réponses sont classées dans la catégorie « projection ». Comme le montre la figure 116, dans la grande majorité des cas les déplacements effectués par les sujets sur les objets de la scène positionnent ces derniers en arrière par rapport à leur position actuelle (« retard »). Nous remarquons également que les proportions de

« projection » et de « retard » sont on ne peut plus stables en fonction des conditions expérimentales. Néanmoins, nous avons vu que la catégorie « retard » regroupe deux sortes de réponses. Les premières concernent des éléments toujours visibles sur la scène finale que les sujets choisissent de reculer. En revanche, les secondes portent sur des objets qui ne sont plus visibles sur l'image finale modifiée que nous présentons aux sujets mais ceux-ci les repositionnent dans la scène. Ainsi, si nous éclatons la catégorie « retard » en fonction de la présence ou non de l'objet dans la scène finale présentée aux sujets nous remarquons que ces réponses sont plus ou moins fréquentes en fonction des conditions expérimentales (tableau 26). En effet, en simple tâche nous observons que les réponses « retard » sont plus fréquentes sur des objets qui étaient sortis de l'image avant l'arrêt de la vidéo. Par contre en double tâche, ce sont les réponses « retard » sur des objets toujours visibles à l'écran qui sont les fréquentes. Ces données fournissent des informations sur le dynamisme de la situation et sa compréhension par les sujets. Le fait qu'en double tâche les sujets reculent plus souvent des objets toujours visibles à l'écran qu'en simple tâche suggère qu'ils ont plus de difficulté à estimer la position des événements (la majorité des déplacements portent sur des événements), et plus précisément qu'ils sont en retard sur le déroulement de leur évolution dans la scène.

Tableau 27 : Déplacements d'objets en fonction de la DT

	<i>Simple Tâche</i> <i>N=54</i>	<i>Double Tâche</i> <i>N=60</i>
Projection	10 18.5%	11 18.3%
Retard	44 81.5%	49 81.7%
- objets toujours visibles	18 33.3%	29 48.4%
- objets sortis de l'image	26 48.2%	20 33.3%

5.3.3.3 Conclusions sur les réponses non attendues (oui_NA)

Ainsi, il ressort de nos données que les sujets réalisent des changements qui n'ont pas lieu d'être. En d'autres termes, ils croient rectifier des modifications que nous n'avons pas réalisées. Premièrement, nous avons vu que le manque de ressources cognitives provoque une légère augmentation de faux changements de type « suppression ». Bien que ce résultat ne soit pas significatif, il corrobore le fait que le manque de ressources cognitives conduit à l'élaboration de représentations mentales moins complètes. D'une part, les sujets détectent moins nos modifications qui portent sur des éléments pertinents de la situation, et d'autre part, ils apportent à tort des changements sur des éléments que nous n'avions pas modifiés. Deuxièmement, toutes conditions expérimentales confondues, ces changements portent avant tout sur des éléments de la zone 2 (ie : entre 15 et 25m), sur des événements et il s'agit le plus souvent de déplacement. En d'autres termes, les faux changements réalisés par les sujets se situent dans une zone proche, où nous avons vu que l'impact de la double tâche sur les performances de détections des modifications était important (figure 110 et tableau 20). Et il s'agit principalement de déplacements de véhicules ou de piétons.

Cependant, une fois de plus rappelons que ces données ont été recueillies sur un petit échantillon de sujets et que les réponses non attendues ne représentent qu'un tiers de l'ensemble des données recueillies. Néanmoins, il apparaît qu'ICARE permet de recueillir aisément des informations assez fines sur la compréhension globale de la scène. En outre, les pistes fournies par nos données montrent que le caractère dynamique des représentations mentales en situation de conduite peut être saisi par ce protocole. La prochaine partie nous permettra de présenter quelques uns de ces résultats de manière plus probante encore. Mais, il apparaît dorénavant possible d'obtenir des données spécifiques sur les dimensions spatiales et temporelles des représentations mentales de conducteurs. Il serait alors opportun de monter un plan expérimental plus important afin d'obtenir des données statistiquement exploitables mais aussi de comparer ces résultats de

conducteurs expérimentés avec d'autres populations de conducteurs. En effet, nous savons qu'au cours de la pratique de conduite, les capacités d'anticipation des conducteurs augmentent. Quelles seraient les proportions de « projection » ou de « retard » de jeunes conducteurs ? Nous savons également que l'expérience de conduite permet aux conducteurs de se focaliser principalement sur les informations les plus pertinentes dans la scène. Pour ce groupe de sujets, conducteurs expérimentés, nous avons vu que les changements non attendus portent quasiment tous soit sur des événements, soit sur de la signalisation, en d'autres termes sur des éléments pertinents pour les conducteurs. En effet, la catégorie « autres » que nous avons ajoutée ne contient que huit réponses. Qu'en serait-il pour de jeunes conducteurs ? De même lorsque nous avons mené l'expérience VISA nous avons constaté que la majorité des conducteurs âgés se focalisait sur les événements et témoignait souvent d'une sensation d'avance de la scène finale par rapport à la fin de la séquence vidéo. ICARE permettrait-il à cette population spécifique de mieux matérialiser ces verbalisations de l'ordre de la sensation ? Avant de revenir sur les perspectives méthodologiques qu'ouvre ICARE nous allons présenter le dernier de ses aspects novateurs par rapport à OSCAR. Cette dernière partie nous permettra de mieux analyser la multitude d'informations que nous recueillons avec ICARE, notamment en ce qui concerne les changements non attendus et l'appréhension du dynamisme de la situation de conduite. La partie suivante sera destinée à prouver l'utilité du feed-back visuel dans l'analyse des réponses.

5.3.4 Le feed-back visuel

L'enregistrement automatique de toutes les données relatives aux réponses d'un sujet pour une scène et l'utilisation d'un univers 3D, dont la géométrie retranscrit celle de la scène réelle, nous ont permis de concevoir un module de feed-back visuel. Après la passation d'une expérimentation, il nous est possible de reconstruire instantanément les scènes routières telles que les sujets les avaient corrigées lors de leur passation.

La reconstruction visuelle d'une scène intégrant les réponses d'un sujet particulier peut être d'un grand intérêt lorsque l'expérimentateur traite ses données. En effet, nous avons vu que les informations recueillies via ICARE sont très nombreuses et touchent à des dimensions variées qu'il est nécessaire d'éclater pour les traiter. De ce fait, l'expérimentateur peut aisément avoir du mal à garder une vue d'ensemble de ces informations. En outre, il arrive qu'au cours d'une passation, une réponse d'un sujet surprenne l'expérimentateur par son caractère atypique. Avec OSCAR, la seule solution que possédait l'expérimentateur était de faire confiance, à sa mémoire, sa vitesse de traitement et à son crayon ! De ce point de vue ICARE allège à nouveau les conditions d'expérimentation. D'une part, pour le sujet, l'expérimentateur n'aura plus besoin de revenir longtemps sur sa réponse pour être certain d'en avoir saisi le sens, ce qui permet d'induire moins de doute chez le sujet qui de ce fait, ne réalise pas que cette réponse nous intéresse plus que les autres ! D'autre part, le temps de saisie de l'information par l'expérimentateur est réduit à son moindre coup : le positionnement, à la souris, des objets sur la scène, contre la saisie détaillée et manuscrite d'informations que l'expérimentateur d'OSCAR n'attendaient pas. De plus, ces reconstitutions visuelles permettent à l'expérimentateur de posséder des données plus parlantes que n'importe quel tableau de données chiffrées, surtout lorsqu'il s'agit d'analyser des réponses atypiques. De ce fait, elles lui offrent l'opportunité de se référer à d'autres chercheurs afin de nourrir ses propres réflexions. Les exemples que nous allons présenter illustrent trois cas de figures. Dans un premier temps, nous présenterons 2 cas de réponses justes afin de montrer que les sujets ont facilement pu reconstituer une scène à l'identique de la scène finale de la vidéo. Puis, nous présenterons des réponses atypiques. Ces scènes nous permettront de mieux comprendre les données que nous avons présentées dans la partie traitant des réponses non attendues. Enfin, nous terminerons cette partie par la présentation des cas les plus illustratifs des difficultés des sujets à analyser le dynamisme de la situation lorsqu'ils sont en situation de double tâche.

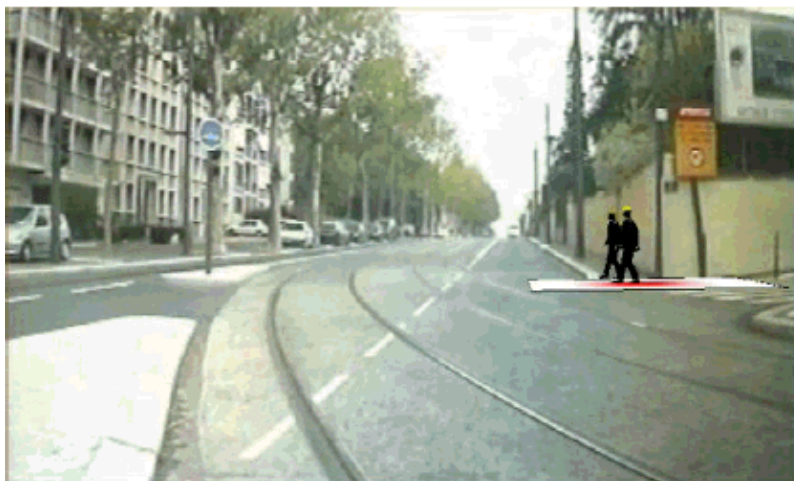
5.3.4.1 Des reconstitutions parfaites

Ces exemples illustrent les scènes où la majorité des sujets ont détecté notre modification. De plus, ils n'ont effectué qu'un seul changement qui vise à corriger convenablement notre modification. Ce sont donc les scènes les moins ambiguës à traiter. L'utilisation du feed-back visuel permet alors essentiellement d'estimer la justesse de la position de l'élément ajouté dans la scène via la zone de tolérance représentée par nos « plans modifications ».

Figure 117: Reconstitution scène 3, modification détectée par tous les sujets



Figure 118 : Reconstitution prétest n°5 sujet 24 ST



Les figures 117 et 118 montrent les deux possibilités d'affichage des réponses via le feed-back. Pour la figure 117 nous n'avons affiché à l'écran que la réponse du sujet (ie : suppression d'un feu rouge). En revanche, pour la figure 118, elle est accompagnée par la réponse que nous attendions et son « plan modification ». Ce mode d'affichage permet de vérifier si le piéton ajouté par le sujet est à l'intérieur ou non de la zone au sein de laquelle nous estimons que la réponse est juste. Par ailleurs, nous avons déjà abordé les cas où les sujets détectent notre modification, la corrigent mais effectuent également d'autres changements. Pour ces scènes, les reconstitutions des réponses des sujets via le feed-back s'avèrent beaucoup plus utiles.

5.3.4.2 Des cas atypiques, les changements non attendus en images

Les réponses atypiques peuvent être de deux ordres. Soit elles sont données seules, soit elles accompagnent la réponse juste (correction de notre modification). La figure 119 illustre très bien les premiers cas de réponses non attendues. Pour cette situation, le sujet 30, double tâche, ne détecte pas notre modification (ie suppression d'une voiture à droite, cf annexe 6) mais ajoute un feu vert qui n'existe pas à cet endroit de la séquence, ni à aucun autre moment de la vidéo. Cette réponse correspond donc aux changements non attendus, de type « ajout » qui sont donnés sans la réponse attendue.

Figure 119: Reconstitution scène 6, sujet 30 DT



Figure 120 : Reconstitution scène 17, sujet 25 ST, sujet 13 ST et sujet 16 D



Figure 121 : Reconstitution, sujet 25, scène 6 ST



A l'inverse, certains sujets suppriment à tort des éléments qui étaient présents dans la scène originale. C'est le cas de certaines réponses données pour la scène 17 (figure 120). Trois sujets suppriment, à tort, la voiture de gauche et n'effectuent aucun changement en lien avec notre modification (suppression d'une voiture zone 4).

Le second type de réponses non attendues concerne les changements faux que les sujets effectuent en plus de la réponse juste qui corrige notre modification. Par exemple, la figure 121 montre que le sujet 25, simple tâche, rajoute bien l'objet que nous attendions (une voiture venant de la droite, sur le trottoir), mais il supprime également la voiture qui roule devant lui : selon lui elle n'était pas là, nous l'avons rajoutée. Pour ce sujet, cette scène comportait donc deux modifications. L'obtention de ce genre de réponses a été possible car notre consigne spécifiait que « nous avons pu modifier la scène finale », sans préciser combien de modifications cela impliquait mais aussi en induisant que les scènes finales n'étaient pas forcément modifiées. Nous verrons tout au long de la présentation des données du feed-back visuel des réponses des sujets que ces réponses se manifestent soit quand au moins deux éléments de la scène sont pertinents et de ce fait conflictuels, soit lorsqu'un élément est plus pertinent que l'autre.

Figure 122 : Reconstitution scène 24, sujet 32 ST, sujet 25 DT



C'est par exemple le cas de la séquence 24. Nous avons supprimé le piéton de droite, or la figure 122, montre que deux sujets ont bien corrigé cette modification mais qu'ils ont, en plus, supprimé le piéton sur le trottoir de gauche, information non pertinente. L'un des sujets a passé la scène en simple tâche et l'autre en double tâche. De ce fait, nous ne pouvons pas savoir si la concurrence entre ces deux éléments provient d'une focalisation due à l'activité parallèle (ie : calcul mental).

Figure 123: Reconstitution, sujet 19, scène 12 ST



Dans le même ordre d'idée, la figure 123 présente la réponse du sujet 19. Ce dernier, rectifie convenablement notre modification en repositionnant une voiture à gauche, mais il effectue deux autres changements. Ces deux changements sont de nature différente. La croix rouge matérialise la suppression du piéton qui marche sur le trottoir, avant de s'engager sur le passage piéton devant nous. Pour le sujet 19, nous avons ajouté ce piéton, il n'existait pas dans la vidéo qu'il vient de voir. Cette réponse est totalement fausse. De plus, le fait que ce sujet corrige notre modification sur la voiture de gauche mais supprime le piéton qui se trouve également à gauche, à quelques centimètres de la voiture tend bien à prouver que ce protocole analyse plus que des phénomènes perceptifs. En effet, s'il ne s'agissait que de perception visuelle nous pourrions imaginer qu'aucun des deux éléments n'a été perçu ou que les deux ont été perçus par le sujet. Le fait que le sujet n'ait le souvenir que de l'un d'entre eux indique bien qu'ils n'ont pas été traités de la même manière. Il n'est donc plus question uniquement de perception, mais nous nous situons bien au niveau de traitement cognitif de la représentation. Par ailleurs, la réponse du sujet qui positionne la voiture à droite, bien que comptabilisée en changement non attendu, n'est pas « aussi fausse » que sa réponse de suppression du piéton. En effet, cette réponse a été donnée par quatre sujets (1 en ST et 3 en DT), chacun expliquant qu'il était certain qu'une voiture arrivait par la priorité à droite. Cependant, ils précisaient tous qu'il s'agissait peut être de la voiture blanche mais que n'étant pas très sûrs d'eux, ils souhaitaient en rajouter une. En effet, ici la suppression du piéton est bien à compter comme une suppression fausse, alors que l'ajout de la voiture, et les précisions que les sujets fournissaient, ne peuvent pas être considérés comme des ajouts faux d'un objet qui n'existait pas du tout dans la vidéo. En revanche les changements non attendus que nous avons catégorisés en « déplacements » portent sur des objets comme cette voiture. La distinction de ces réponses provient essentiellement des verbalisations des sujets qui explicitent très clairement qu'ils ne souhaitent pas ajouter un nouvel objet dans la scène mais changer l'existant de position. Ce sont ces réponses qui nous permettent de commencer à analyser l'aspect dynamique des représentations mentales des conducteurs automobiles.

5.3.4.3 Visualisation du décalage par rapport au dynamisme de la situation

Lorsque nous avons abordé les changements non attendus de types « déplacement » nous avons vu que cette catégorie peut être éclatée en plusieurs sous groupe. Il s'agit soit de déplacements qui témoignent d'une anticipation sur le déplacement d'un événement, soit à l'inverse de ceux qui reculent les objets dans la scène et dans le temps.

5.3.4.3.1 Retard sur un élément et retard global sur le dynamisme de la situation

Ce dernier groupe de réponses, « retard », peut lui même être scindé en deux. D'une part, les « retards » sur les objets toujours visibles sur la scène finale que nous présentons aux sujets. D'autre part, les « retards » qui portent sur des objets qui ne sont plus dans le cadre de l'image à la fin de la vidéo mais que les sujets repositionnent dans la scène. Ces deux types de retard sont illustrés par les figures 124 et 125.

Figure 124: Reconstitution scène 2, sujet 25 ST



Le sujet 25, simple tâche, a jugé que le camion n'était pas autant engagé dans l'intersection au moment de l'arrêt de la vidéo (figure 124). Tandis que le sujet 28, double tâche, repositionne une voiture qui était sortie du cadre de l'image avant la fin de la séquence (figure 125).

Figure 125: Reconstitution scène 2, sujet 28 D



Ces deux réponses sont proches et à la fois différentes. En effet le sujet 28 a encore sous les yeux l'objet et la situation qu'il compare à son image mentale de la situation. Le sujet 25, lui n'a plus que la situation sans l'objet dont il se souvient comme faisant partie de cette situation. De plus, nous voyons qu'il n'hésite pas à le positionner à la limite du champ de l'image.

Figure 126 : Capture vidéo scène 2 (-3 secondes)



Si nous recherchons sur la vidéo le moment de la séquence où le camion à la position que lui redonne le sujet 28 nous sommes surpris de voir qu'à ce moment là, la voiture que remplace le sujet 25 est toujours visible (figure 126). Ainsi si ces deux sujets fournissent des réponses différentes qui témoignent d'un léger décalage en arrière, il semblerait qu'ils se réfèrent quasiment au même moment de la séquence. Est-ce le fruit d'une coïncidence ou bien le décalage éprouvé par les sujets pour une même situation peut-il être un temps constant qui correspondrait au temps de réactualisation de leur représentation mentale ? Nous ne disposons pas de suffisamment de données pour répondre à ce type de question. Cependant, nous avons remarqué que les changements de ce type arrivent souvent lorsque des véhicules sortent du champ de la vidéo dans la seconde qui précède l'arrêt de la vidéo.

Figure 127 : Reconstitution scène 10, réponse unique faite par 7 sujets



C'est par exemple le cas des séquences 7 et 10. De la même manière que tous les changements non attendus, les déplacements peuvent être l'unique réponse à la séquence (figure 127) ou bien être donnés en plus de la bonne réponse (figure 128).

En effet, pour la séquence 10, neuf sujets sur vingt (5 ST & 4 DT) ont rajouté la voiture sur la file de gauche qui n'était déjà plus à l'écran lors de l'arrêt de la vidéo. La figure 127 est la reconstitution de l'unique réponse de sept de ces sujets (4 ST & 3 DT) qui parallèlement ne détectent pas notre modification (ie : suppression d'un feu zone 4).

Figure 128: Reconstitution scène 7, réponse faite par 4 sujets



En revanche, pour la séquence 7, seulement quatre sujets sur vingt (3 ST & 1 DT) ont rajouté la voiture garée à droite qui était déjà sortie du champ. Néanmoins, comme le montre la figure 128 ils ont également tous détecté et corrigé notre modification (suppression du feu vert zone 3). Nous remarquons que ces réponses qui concernent des éléments venant juste de disparaître de l'image ne sont pas de la même teneur que le déplacement effectué par le sujet 25 à la scène 2 (figure 125). La position même que les sujets attribuent aux véhicules témoigne d'elle même de cette différence que nous faisons en distinguant ces deux types de « retard ». En effet, tous matérialisent l'élément déjà disparu de manière à ce qu'il sorte de l'image. Tous les cas que nous venons de présenter mettent en scène un déplacement en arrière d'un seul élément de la scène dont la dynamique est stoppée par l'arrêt de la vidéo.

Figure 129 : Exemple de retard global sur la dynamique de la situation, scène 13, sujet 24 DT



Reconstitution, scène 12, sujet 24 DT

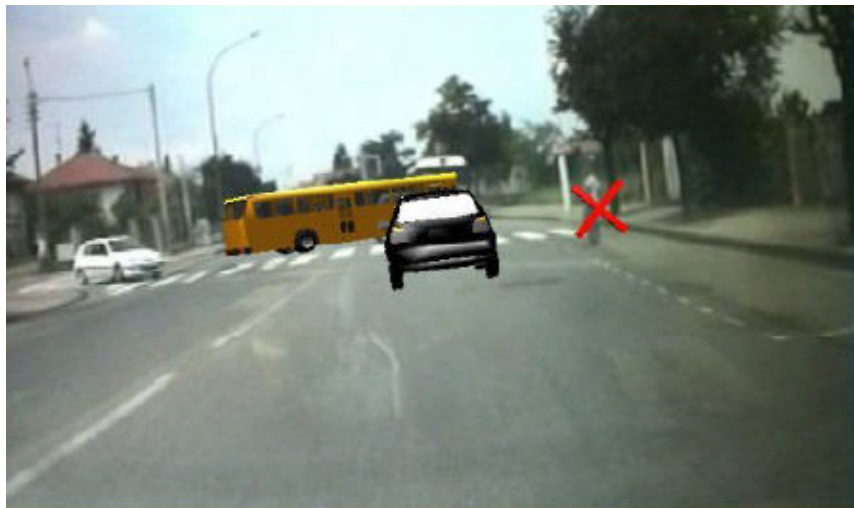


**Capture de la vidéo 2 secondes
avant la fin de la séquence**

Toutefois, pour certains sujets, les choses étaient plus compliquées et leurs réponses témoignent d'un véritable retard sur l'ensemble de la scène. Bien entendu il leur était possible de agir uniquement sur les objets de la scène et non sur sa globalité (ie : reculer dans la vidéo). Cependant, pour les cas les plus caractéristiques il nous a été possible de capturer sur la vidéo l'image où la position des événements déplacés par les sujets correspond. C'est le cas pour la réponse du sujet 24, double tâche, à la scène 13 (figure 129). Ce sujet effectue trois changements sur la scène, mais aucun ne corrige notre modification bien au contraire. En effet, d'une part il replace à l'écran les deux véhicules qui à l'arrêt de la vidéo sont tous deux hors du champ de la caméra. D'autre part, il place sur sa voie un marquage de cédez le passage. Or, notre modification concernait le cédez le passage (marquage & panneaux) qui est dans la scène réelle attribué à la voie venant de la droite, et nous l'avons supprimé. Ainsi la réponse du sujet 24 représente exactement la signification de la séquence pour un sujet qui n'avait pas vu l'objet que nous avons supprimé. En effet, la dynamique des véhicules est telle qu'en arrivant à cette intersection on ne peut pas se sentir prioritaire sans avoir identifié le panneau et le marquage à droite. La voiture et la moto passent l'intersection sans sembler se soucier de la règle de priorité, laissant penser qu'elles sont toutes deux prioritaires. Néanmoins, cette modification a été détectée par neuf sujets sur dix en simple tâche et seulement deux d'entre eux remplaçaient dans la scène l'un des deux véhicules. En revanche, en double tâche, condition expérimentale du sujet 24, plus que trois sujets sur dix ont détecté et corrigé cette modification, dont deux ont également remplacé l'un des deux véhicules. Les autres non détections proviennent soit, de réponses « je ne sais pas » soit, de « non, la scène n'a pas été modifiée » (4 sujets/10) soit,

enfin, de réponses « oui la scène a été modifiée » mais ces sujets, comme le sujet 24, remplaçaient également l'un des deux véhicules dans la scène et ne détectaient pas notre modification. Lorsque les autres sujets ne corrigent pas notre modification cela signifie qu'ils pensent arriver sur une intersection à priorité à droite. Cependant la réponse du sujet 24 est plus tranchée parce qu'il se rajoute un marquage de cédez le passage. Le second cas, scène 35, que nous allons présenter illustre le même phénomène, de retard global. Contrairement à la séquence 12, aucun événement ne sort du champ de la caméra dans les derniers instants de la vidéo. De la même manière, nous avons cherché sur la vidéo à retrouver une scène où les positions que donne le sujet 14 aux événements de la scène finale correspondent à la situation réelle. Pour ce faire il faut remonter environ 3 secondes avant l'arrêt de la séquence (figure 130). Tous ces exemples illustrent des retards plus ou moins importants sur le déplacement de certains éléments dynamiques de la scène. Mais nous avons vu que les changements non attendus peuvent aussi correspondre à la projection d'événements. Cette fois-ci, il s'agit de déplacements en avant qui eux témoignent d'une anticipation.

Figure 130 : Exemple de retard sur la dynamique des événements de la situation



Reconstitution scène 35, sujet 14 DT



Capture de la vidéo 3 avant la fin de la séquence

5.3.4.3.2 Anticipation sur le dynamisme des événements

La scène 19 (figure 131) nous permet de voir que pour une même situation, la compréhension du dynamisme des éléments de la scène n'est pas la même pour les sujets. A elle seule, elle nous permet d'observer plusieurs cas de figure. La modification de cette scène est la suppression d'une voiture (zone 3) qui débouchait d'une rue à droite en tournant dans notre direction. Cette situation met également en scène un piéton qui est engagé sur la chaussée, depuis le trottoir de gauche, pour traverser devant nous. Ces deux événements constituent potentiellement 2 attracteurs d'attention concurrents. Les sujets privilégient-ils l'un ou l'autre ?

Figure 131 : Scène finale originale n°19



Figure 132: Reconstitution scène 19, sujet 25 ST



Figure 133 : Reconstitution scène 19, sujet 14 DT



Dans un premier temps, les données chiffrées nous indiquent qu'en simple tâche comme en double tâche tous les sujets ont détecté et corrigé notre modification. Deuxièmement, elles nous permettent aussi de savoir que deux réponses non attendues concernent le piéton. En revanche, la reconstitution des réponses des sujets via leur fichier de données et le feed-back visuel fournissent des informations plus fines. Premièrement, nous voyons que les deux réponses concernant le piéton ne sont pas du tout les mêmes. En simple tâche le sujet 25

supprime le piéton que, selon lui, nous avons ajouté (figure 132) alors qu'en double tâche, le sujet 14 le déplace en avant par rapport à sa position réelle, ce qui témoigne d'une anticipation sur son déplacement (figure 133). De plus, nous pouvons comparer la position attribuée par ces deux sujets à la voiture que nous avons supprimée. Le sujet 25, en supprimant le piéton existant, anticipe bien le déplacement de la voiture, il nous indique même qu'elle s'apprête à tourner à gauche pour arriver en face de nous et oriente le véhicule de cette manière (figure 132).

Par contre, le sujet 14 qui sait que le piéton était bien là et qui de plus anticipe sa trajectoire positionne la voiture un peu plus engagée dans l'intersection qu'elle ne l'est sur la scène finale originale mais ne sait pas quelle trajectoire elle s'apprête à suivre (tout droit ou à gauche ?) (Figure 133). Sur nos vingt sujets, ces deux réponses sont les seules qui mettent en avant un conflit entre les deux événements principaux de la situation. Néanmoins, il est intéressant de noter que l'un de ces deux sujets a passé la séquence 19 en simple tâche, alors que le second l'a passée en double tâche. Cependant, nous tenons à souligner que le sujet 25, seul sujet à avoir supprimé le piéton (donc à ne pas l'avoir vu), fournit plusieurs réponses atypiques de ce type.

Par ailleurs, les réponses données par les autres sujets, pour cette situation, mettent en scène d'autres données importantes en ce qui concerne d'une part l'intégration des éléments de la scène et d'autre part leur dynamisme. Les reconstitutions des réponses que nous venons de présenter, ne représentent que deux événements (piéton vs voiture). Toutefois comme le montre la figure 134, durant la dernière seconde de vidéo de la séquence, quelques images avant son arrêt brutal, un second véhicule à droite est visible un court instant avant qu'il ne soit caché par les buissons (figure 134).

Figure 134 : Capture de la situation 19 quelques images avant la fin de la séquence vidéo



Figure 135 : Reconstitution scène 19, sujet 37 ST



Figure 136: Reconstitution scène 19, sujet 33 ST



Or, 3 sujets ont ajouté non pas une voiture dans la scène mais deux voitures. Il s'agit des sujets 33, 36 et 37 qui ont tous passé cette scène en simple tâche. La figure 135 correspond à la réponse du sujet 37 qui était certain de la présence de deux véhicules dans l'intersection. Mais, il n'était pas sûr de la trajectoire du véhicule de droite (tout droit ou à gauche ?) et la position et la direction de l'autre véhicule sont fausses. En revanche le sujet 33 (figure 136) place les deux véhicules à droite et spécifie que le premier va tourner vers nous.

Figure 137: Reconstitution scène 19, sujet 36 ST



Enfin la figure 137 présente la réponse la plus anticipée de ces trois sujets. Pour le sujet 36, le premier véhicule arrivant de droite est directement placé sur la voie qu'il s'apprête à rejoindre et le second est positionné au bord de l'intersection. Le sujet précise qu'il ne peut pas encore savoir où se dirige ce 2nd véhicule. OSCAR nous permettait juste d'approcher ces données. Mais les réponses des sujets 33 et 36 auraient pu être toutes les deux du type "il y avait deux véhicules qui arrivaient à droite, l'un d'eux venait vers moi" alors qu'ICARE nous permet de voir que bien que ces sujets anticipent tous les deux les déplacements des véhicules, la scène du sujet 36 est bien plus complète et retranscrit exactement ce qu'il se passe dans les secondes qui suivent l'arrêt de la vidéo. L'anticipation de la scène aurait été complète si ce sujet avait également fait avancer le piéton dont il ne remet pas l'existence en cause.

Figure 138 : Scène finale originale 31



Les reconstitutions que nous venons de présenter dans les deux dernières sous parties mettent en scène soit exclusivement des « retards » soit uniquement des « projections ». Cependant, les réponses pour la scène 31 permettent de voir que les choses ne sont pas toujours si tranchées. Cette situation, figure 138, est assez complexe car elle rassemble de nombreux événements (piétons et voitures) lors d'une arrivée sur une intersection à feux qui n'est pas très lisible (en travaux). La modification que les sujets doivent corriger est la suppression du feu qui venait de passer à l'orange. Par ailleurs, cette situation met en scène trois piétons et plusieurs véhicules traversant l'intersection. En simple tâche sept sujets sur dix détectent la modification, pour les trois autres sujets la modification n'était pas sur le feu, mais sur l'un des piétons. En double tâche six sujets sur dix détectent la modification, pour deux autres sujets ce sont les piétons que nous avons modifié, un sujet estime que nous n'avons pas modifié la scène et le dernier ne sait pas. Parmi les sujets qui en simple tâche, détectent notre modification seulement quatre positionnent un feu orange, pour les trois autres sujets le

feu était vert. En double tâche, six sujets détectent la modification cinq sujets choisissent un feu de couleur orange, et le sixième un feu rouge. Bien que le feu tricolore soit un élément de signalisation, il présente un aspect dynamique. Aussi la couleur que les sujets attribuent au feu de cette situation nous renseigne de la même manière que la position d'un événement. Or, parmi les sujets, en simple tâche, qui ont détecté la modification, presque la moitié d'entre eux pense que le feu était toujours vert, ils sont donc en retard sur la dynamique du feu.

Figure 139 : Reconstitution scène 31, sujet 26 ST



Figure 140 : Reconstitution scène 31, sujet 33 DT



Figure 141: Reconstitution scène 31, sujet 15 DT et capture sur la vidéo



Reconstitution scène 31, sujet 15 DT



Capture de la vidéo
avant la fin de la scène

Néanmoins, ce retard ne traduit pas forcément un retard global sur la situation. En effet, comme le montre la figure 139, le sujet 26, en simple tâche, sélectionne un feu vert au lieu d'un feu orange, mais il choisit également de rajouter un piéton à gauche. Sur la scène originale (figure 138) le piéton 1 est à peine visible. Cependant, ce piéton qui marche en direction du passage protégé est tout à fait identifiable durant les trois dernières secondes de la vidéo. Afin d'éliminer toute ambiguïté, lorsque les sujets nous parlaient d'un piéton qui arrivait à gauche, nous l'avons placé selon leurs indications soit de manière à ce qu'il ne soit pas encore engagé sur le « passage piétons » (dans ce cas le piéton n'apparaît pas entièrement sur l'image reconstituée) soit, comme le sujet 26 nous l'a indiqué, déjà engagé sur la chaussée. En double tâche, aucun des six sujets, qui détectent la modification, ne choisit de positionner un feu vert, au contraire l'un des sujets sélectionne un feu rouge, preuve d'anticipation sur cette information. Cependant, si le sujet 33 anticipe le passage du feu orange à rouge, il choisit de reculer le piéton 2 qui a quasiment terminé de traverser la chaussée, vers le milieu de la voie (figure 140). D'autre part, il ne mentionne ni l'existence, ni l'absence d'un piéton 1 à gauche prêt à s'engager. Alors que la figure 139 soulignait un non renouvellement de prise d'information sur la couleur du feu au profit de l'identification du piéton de gauche, cette réponse met en évidence une forte focalisation sur le feu au détriment des piétons. Cependant, que feraient réellement ces deux conducteurs dans cette situation ? Le sujet 33 a identifié un feu rouge, il s'arrêtera donc à l'intersection. Dans ce cas les piétons deviennent secondaires, puisqu'il est arrêté au feu rouge, ils peuvent traverser. Par contre, que ferait le sujet 26 croyant que le feu est toujours vert, qui sait qu'un piéton vient de s'engager à gauche, et qu'un autre achève de traverser à droite ? Franchira-t-il l'intersection ? Ou aura-t-il le temps de vérifier une dernière fois la couleur de son feu qui aura eu le temps de passer au rouge ? Au moment de l'arrêt de la vidéo nous sommes à 20-25m du feu. De ce point de vue, nous considérons que la représentation mentale de la situation du sujet 33, en double tâche est plus adéquate au réel car elle engage une prise de décision plus rapidement sécuritaire. Vue sous cet angle, la puissance d'évaluation d'ICARE s'étend vers des dimensions plus fines que la prise en compte ou, la non prise en compte des éléments pertinents de la situation. Ces exemples nous montrent très bien que des conducteurs, d'un niveau d'expérience équivalent, n'accordent pas la même priorité aux mêmes éléments. Toutefois les deux sujets savent qu'ils arrivent sur une intersection à feux, ce qui n'est pas le cas du sujet 15, en double tâche (figure 141). Selon ce sujet la scène a certes été modifiée, mais les quatre changements qu'il effectue sont faux. D'une part, il déplace les trois piétons de la scène. D'autre part, il ajoute un marquage au sol qu'il ne sait pas identifier, « une sorte d'îlot » que nous aurions supprimé. Néanmoins les déplacements qu'il opère sur les piétons sont intéressants. Il recule sur la chaussée le piéton 2, qui était en train de rejoindre le trottoir de droite. Ensuite il avance sur la chaussée à gauche, le piéton 1 qui est encore sur le trottoir (et qui n'est plus visible à l'écran). Enfin, il recule le piéton 3 qui marche sur le trottoir de droite. Ces changements sont intéressants car ils tendent à rendre « dangereux » ce qui ne l'est plus ou ce qui ne l'est pas encore. En d'autres termes cette reconstitution, reflet de la représentation mentale du sujet, fait à la fois preuve d'anticipation, de retard, elle présente au moins un élément peu pertinent (îlot ou marquage au sol, et piéton

du trottoir de droite) au détriment de l'information essentielle : le feu tricolore. Cependant si nous nous référons à l'image capturée 1 seconde avant la fin de la scène. Nous remarquons que le sujet 15 semble avoir repositionné les piétons à leur position à ce moment là. Ces éléments recueillis au cas par cas ne peuvent nous permettre de répondre à des questions générales. Néanmoins, ces images montrent le potentiel qu'offre un protocole tel qu'ICARE pour analyser l'aspect dynamique des représentations mentales des conducteurs.

5.3.4.3 Conclusion sur le feed-back visuel

Tel qu'il existe actuellement, le feed-back visuel ne permet pas facilement d'exploiter les données de manière quantitative et statistiques. Cependant, nous avons vu qu'il permet d'analyser au cas par cas les réponses non attendues (ie : en dehors de nos plans modifications). Dans les fichiers de données, ces changements notés « oui_NA » portaient, certes, toutes les caractéristiques de l'objet choisi par le sujet, mais ne nous permettait pas de considérer l'élément dans la situation. De plus, pendant la passation d'une expérimentation, nous ne pouvons pas prendre le temps pour considérer chaque réponse non-attendue. L'intérêt de reconstruire les scènes à l'identique après coup est donc indéniable d'une part, pour alléger la saisie des réponses en cours de passation, et d'autre part pour l'analyse qu'il peut en être faite a posteriori.

Premièrement, le feed-back visuel a été très important pour traiter les réponses atypiques. Ces reconstitutions nous ont permis de constater tout d'abord, qu'une partie des réponses que nous considérons comme atypiques revenait régulièrement sur l'ensemble des sujets pour des situations données, et aussi que la majorité de ces réponses sont en fait des déplacements d'objets existants dans la scène. Parmi les réponses à premier lieu atypiques mais qui se sont révélées plus ou moins récurrentes, nous avons par exemple noté plusieurs suppressions et déplacements d'éléments qui s'avéraient être concurrents à l'objet que nous avons modifié (eg : scène 17, scène 24, scène 19, scène 31). La taille de notre échantillon ne nous a pas permis d'obtenir des données quantitatives sur ces données, cependant, il apparaît très clairement que dans certains cas l'intégration de deux éléments concurrents dans la scène devient difficile pour certains sujets. Nous avons vu que ces difficultés apparaissent pour des conducteurs expérimentés en simple tâche comme en double tâche, ainsi elles ne peuvent pas découler que d'un manque de ressources cognitives, il y a donc une réelle concurrence entre les éléments de la scène routière. Pour les scènes 19 et 24 ce sont deux éléments de type événementiels qui entre en conflit, pour la scène 31 il s'agit d'un événement et d'un élément de signalisation, en serait-il de même pour deux éléments de signalisation ? A priori, nous pensons que les conflits peuvent être potentiellement plus fréquents lorsqu'un des éléments de la scène nécessite une attention active (ie : processus top-down) et l'autre une attention passive (ie : processus bottom-up). De la même manière, nous pouvons nous interroger sur le rôle que la distance des éléments concurrents peut jouer dans la prise en compte des deux éléments ou de l'un d'entre eux au détriment de l'autre. Afin de répondre à ces questions, il serait intéressant de recueillir des situations routières mettant en scène des conflits entre les éléments pertinents qui la constituent. Nous pourrions également imaginer de sélectionner des situations où parmi les éléments concurrents l'un ne serait pas pertinent pour la situation tandis que l'autre le serait. Ce type de situation pourrait sans doute apporter des résultats intéressants aux sujets des différences expert/novices et de la pertinence des informations contenus dans la représentation mentale.

En outre, la reconstitution des réponses des sujets a permis de juger de l'acceptation ou non de changements opérés sur des modifications, mais en dehors des plans modifications. En effet, nous avons défini, via les plans modifications, des zones de tolérance qui nous permettait de savoir automatiquement si l'objet déposé par le sujet dans la scène était à l'endroit où nous avons opéré une modification. Cependant, les réponses mettant en scène des anticipations sur les événements ne tombaient pas dans nos plans modifications, mais devaient tout de même être comptabilisées comme des réponses justes. La reconstitution de la scène telle que le sujet l'avait faite lors de la passation d'ICARE nous a donc permis de coder dans un second temps ces réponses. De la même manière, le feed-back a permis de constater que parmi les déplacements de type retard, un grand nombre concerne des éléments qui n'était plus visibles au moment de l'arrêt de la vidéo, mais que les sujets replacent dans la scène. Enfin, nous avons également pu voir qu'un même sujet peut pour une même situation anticiper et retarder des éléments de la situation. Comme précédemment nous pouvons nous

interroger sur la concurrence de ces différents éléments, en d'autres termes sur la priorité que leur accorde tel ou tel conducteur, pour telle ou telle situation routière, dans telle ou telle condition expérimentale. Si la taille actuelle de notre échantillon ne nous a permis d'exploiter quantitativement ces situations, il est indéniable que récolter dans un plus grand nombre ces données pourraient fournir des résultats intéressants sur la compréhension du dynamisme de la scène et/ou de ses constituants. Par ailleurs, les sujets ICARE étaient une population de conducteurs expérimentés, nous serions très curieux de comparer ces données avec les réponses atypiques fournies par de jeunes conducteurs. La catégorie de changements non attendus de type « divers » serait-elle plus importante pour des jeunes conducteurs ? Une autre démarche est également envisageable : récolter en masse des données auprès de conducteurs et a posteriori rechercher à en faire émerger des typologies de conducteurs en fonction de leurs réponses c'est-à-dire en fonction de leur compréhension de la situation.

Deuxièmement, nous avons remarqué que l'utilisation du feed-back avec les sujets, juste après leur passation, avait un fort impact sur la prise de conscience des effets d'une activité parallèle à la conduite. En effet, dès la fin de la passation d'ICARE, la majorité des sujets faisait le parallèle entre le calcul mental et l'utilisation du téléphone. Nous avons déjà rencontré ces réactions lors des passations d'OSCAR, c'est pourquoi nous pouvons dire que la méthodologie employée (ie : vidéo brutalement arrêtée + détection de modification) détient un potentiel didactique important. Cependant, l'utilisation du feed-back visuel avec les sujets, la visualisation de leur réponse, et donc de leur performance en simple et en double tâche leur a permis de mesurer ce qui était de l'ordre de l'impression avec OSCAR.

5.4- Discussion sur ICARE

Dans un premier temps, nous avons vu que les évolutions apportées à notre protocole initial, n'ont pas introduit de biais expérimental. En effet, globalement les performances recueillies pour deux échantillons comparables (ie : groupe de référence OSCAR et groupe ICARE) sont équivalentes. Toutefois, nous avons pointé que dans deux cas un effet négatif de la double tâche avait été mis en évidence avec ICARE alors que le protocole OSCAR ne laissait apparaître que des tendances. Il s'agit des modifications sur les événements et des modifications de la zone 4.

Dans un second temps, nous avons présenté toutes les données chiffrées qu'il nous a été possible d'exploiter grâce à ICARE, bien que nos échantillons ne nous permettent pas toujours d'effectuer des calculs statistiques.

Premièrement, nous avons vu que la diminution des ressources cognitives ne semble pas avoir le même impact pour tous les objets de la catégorie événements, ni pour tous les éléments de la catégorie signalisation. En ce qui concerne l'impact de la DT sur les piétons et sur les voitures les résultats présentés semblent montrer que les sujets accordent un aspect prioritaire aux piétons, usagers de la route vulnérables, par rapport aux voitures dont les performances de détections sont, elles, altérées par la double tâche. En outre, les résultats que nous possédons pour les objets de la catégorie signalisation nous fournissent quant à eux une piste intéressante : catégoriser les objets selon leur fonction et non plus selon leur nature. Dès lors, il est apparu qu'en double tâche les sujets accordent très peu d'importance aux éléments de signalisation de type flèche au sol et sens interdit (ie : fonction de navigation). Néanmoins, nos séquences comportant peu de modifications sur ce type de signalisation, ce résultat n'est présenté qu'à titre indicatif. Il fournit une piste intéressante de recherche.

Deuxièmement, nous avons vu qu'ICARE permet d'apprécier la justesse des réponses données par les sujets. Cette cotation nous a permis de souligner que, quelles que soient les conditions expérimentales, la grande majorité des réponses données par les sujets correspondent exactement à la modification que nous avons effectuée.

Ayant choisi d'utiliser les mêmes séquences vidéos que pour OSCAR afin de comparer les performances des sujets en utilisant ces deux protocoles, les nouvelles fonctionnalités que nous avons mises en place n'ont pas

pu être totalement exploitées car certains échantillons se sont révélés trop petits. C'est par exemple le cas des niveaux de justesse des réponses des sujets. Pour que ces données soient vraiment intéressantes, il faudrait d'une part administrer ICARE à plus de sujets, et d'autre part, comparer les performances de ces sujets expérimentés à d'autre population de conducteurs. Ainsi, nous pourrions voir si pour toutes les populations la répartition des réponses justes est la même entre les différents niveaux de justesse que nous avons définis. ICARE permettrait alors d'évaluer la qualité des réponses fournies par différentes populations. Nous pouvons par exemple imaginer qu'en double tâche les réponses de conducteurs non expérimentés soient plus souvent incomplètes que pour des conducteurs expérimentés.

Par ailleurs nous avons vu que les non détections de modifications pouvaient avoir plusieurs causes qui variaient en fonction des ressources cognitives disponibles. Ces données soulignent un résultat somme toute logique. En effet, la proportion de réponses « je ne sais pas si la scène a été modifiée » est quasiment nulle en simple tâche alors qu'elle avoisine les 10% en double tâche. De la même manière, nous avons observé une augmentation de la proportion des réponses « oui, la scène a été modifiée » pour de mauvaises raisons (ie : suivies de changements non attendus). En revanche, les proportions de réponses « non, la scène n'a pas été modifiée » ne fluctuent pas de manière significative entre simple tâche et double tâche. Ces trois résultats nous indiquent que la dégradation globale des performances par la double tâche ne résulte pas uniquement du fait que les sujets ne voient pas que nous avons modifié les scènes. En effet, ces données indiquent que la diminution des ressources cognitives rend les sujets moins sûrs d'eux lorsqu'ils doivent juger de l'adéquation de la scène modifiée au réel (scène finale de la vidéo). En d'autres termes, leur représentation mentale de la situation ne leur permet pas de se prononcer avec autant de certitude. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer ce phénomène. L'une est d'ordre cognitif alors que la seconde touche plus la métacognition des sujets. Premièrement, les représentations mentales que les sujets élaborent en double tâche sont trop floues, trop lacunaires ou plus rapidement labiles pour leur permettre de la comparer mentalement à la scène finale que nous leur proposons. Cependant, comme notre échantillon est composé de conducteurs expérimentés et que nos modifications touchaient toujours à des éléments pertinents de la situation nous pensons que leur expérience leur a permis d'intégrer cognitivement ces éléments. De ce fait, nous ne pensons pas que pour ces sujets cette explication soit la principale. Deuxièmement, notre vécu d'expérimentateur nous permet d'envisager que la double tâche a également eu un impact sur le jugement que les sujets portaient sur leurs propres capacités à comprendre convenablement la situation.

Lors de l'élaboration d'ICARE nous avons envisagé cette hypothèse, c'est pourquoi pour chaque changement que le sujet décidait d'effectuer nous lui demandions d'estimer sa certitude sur sa réponse par un pourcentage (100% sûr – 0% pas sûr du tout). Bien que nous ayons contraint les sujets à estimer chacune de leur réponse, nous n'avons pas exploité ces données. Effectivement, pour la plupart des sujets cette estimation était très difficile à établir sur une si grande échelle. Nous pensons que les pourcentages ne sont pas le moyen le plus efficace pour que les sujets puissent s'estimer. C'est pourquoi, une des améliorations à apporter à ICARE serait d'offrir aux sujets un moyen plus systématisé d'estimation (eg : cases à cocher en 3 ou 5 niveaux de certitude). Par ailleurs, nous avons également voulu saisir en temps réel « la connaissance du lieu » de la séquence. Lors des pré-expérimentations d'ICARE nous avions une case à cocher qui permettait d'indiquer si les sujets connaissaient ou non le lieu. Lors des quatre séquences de prétests, nous indiquions systématiquement aux sujets que si pendant la vidéo ils reconnaissaient le lieu de prises de vue, ils devaient nous l'indiquer. Aussi, à la fin de chaque séquence, avant de lancer la suivante, nous reposions la question aux sujets. Malgré cela, à plusieurs reprises, les sujets sont revenus sur leurs réponses, soit au bout de plusieurs séquences ils nous informaient qu'ils connaissaient le lieu d'une des séquences précédentes, soit à l'inverse après coup, ils nous indiquaient qu'ils n'étaient plus sûrs d'avoir reconnu l'endroit d'une des séquences précédentes. Nous nous sommes aperçu rapidement que cette question introduisait un biais expérimental car certains sujets regardaient les vidéos avant tout pour essayer de reconnaître l'endroit de la prise de vue. De ce fait, nous n'avons pas systématisé cette question lors de l'expérimentation d'ICARE. Nous demandions juste aux sujets de nous indiquer les lieux qu'ils empruntaient très régulièrement. Comme cela a été rare, nous n'avons pas traité ces données.

Ainsi malgré les évolutions opérées sur le protocole, il connaît encore quelques limites. Premièrement, il serait très intéressant de mettre en place un moyen pour que les sujets arrivent à estimer la certitude de leurs réponses. Cette estimation pourrait porter à plusieurs niveaux : soit à chaque niveau de sélection d'un objet, soit pour chaque réponse. Néanmoins, il nous semble intéressant de distinguer d'une part, la certitude pour chaque réponse donnée et d'autre part, la certitude pour la globalité de la séquence une fois corrigée. Par ailleurs, il serait également intéressant de connaître la certitude des sujets sur leur toute première réponse : « Oui » ou « non » la scène a été modifiée. Ces mesures avaient été envisagées dans ICARE cependant nous n'avons pas trouvé le bon moyen des les récupérer. Deuxièmement, l'indice de reconnaissance des lieux est aussi une donnée importante à récupérer. Nous avons vu lors de l'expérimentation « dessins » que la familiarité des lieux ne conduit pas à la production des mêmes dessins pour des sujets d'expérience comparable et pour les mêmes situations expérimentales. La comparaison des réponses fournies par des sujets familiers ou non des lieux peut donc être un champ d'investigation intéressant. Aussi, comme les prises de vue utilisées pour nos deux protocoles pouvaient être des lieux connus par nos sujets puisque certaines séquences ont été tournées autour de l'INRETS, et que certains de nos sujets travaillaient à l'INRETS, nous souhaitions tenir compte de ce critère. Cependant, nous n'avons pas trouvé la bonne méthode pour recueillir cette information sans biaiser notre expérimentation. En effet, le fait de poser systématiquement la question revenait presque à mettre les sujets en situation de recherche d'itinéraire ou tout au moins reconnaissance de lieux. Troisièmement, il serait souhaitable d'accroître la base de séquences vidéo afin d'augmenter les catégories de modifications en fonction des objets modifiés. Une solution palliative à ce problème serait de soumettre ICARE à un très grand nombre de sujets. Cependant certaines catégories de situations seraient toujours sous représentées. Enfin quatrièmement, il sera indispensable de travailler la rigueur de l'univers 3D, ainsi que son rendu. L'objectif final étant que des sujets puissent manier ICARE seul, sans avoir de difficulté pour situer les objets dans la scène, ce qui est encore le cas pour certaines séquences. Une fois ces évolutions apportées à ICARE nous pensons que de nouvelles perspectives applicatives seraient envisageables notamment dans le domaine de la formation. En effet, les seuls outils disponibles en France sont distribués aux auto-écoles ou bien en libre accès sur internet. Ils visent tous l'obtention du test du Code de la Route et se limitent donc à son apprentissage. En revanche, nous avons découvert plusieurs outils étrangers destinés à la formation et/ ou à la sensibilisation des conducteurs. A l'étranger les industriels, les organismes publics et les universités s'associent afin de mener des études sur la formation des jeunes conducteurs. En général, ces études sont initiées par des universitaires ou des chercheurs d'instituts publics ; et donnent lieu dans un second temps à des collaborations visant le développement d'outils. C'est par exemple le cas de l'équipe de l'Université de Nottingham.

Nous avons présenté quelques uns des résultats de cette équipe dans la partie 3.4. Suite à ces différentes études sur les différences entre les conducteurs expérimentés et les jeunes conducteurs, Chapman et al (2002) ont mis en place une session d'entraînement pour les jeunes conducteurs. Les auteurs proposent cette intervention dans le but d'apprendre aux jeunes conducteurs leurs déficiences en recherche visuelle d'information. Les conducteurs ont été testés trois fois dans la première année qui suivait l'obtention de leur permis. Les tests se déroulaient en situation de conduite réelle et les sujets devaient également remplir des questionnaires. Au départ 143 jeunes conducteurs étaient inscrits, pour diverses raisons (déplacement géographique) il n'en reste plus que 103 au final. A chaque session de test, chaque participant a visionné une série de 13 films, chacun aura donc vu 39 séquences dans un ordre aléatoire. Pour chaque séquence, ils doivent détecter les dangers potentiels. Le test comporte également une partie de conduite sur route où les sujets sont équipés d'un oculomètre. Entre chaque test, un entraînement est proposé aux jeunes conducteurs. Des films présentant des dangers potentiels sont projetés aux sujets. Dans un premier temps la vitesse de présentation est réduite de moitié, les aires d'intérêt général sont cerclées en bleu, et les aires dangereuses en rouge. Chaque film est projeté une seconde fois, à vitesse réelle, et accompagné d'un commentaire d'expert expliquant pourquoi chaque aire est cerclée. Les séances d'entraînement n'ont été proposées qu'à la moitié des sujets, l'autre groupe représentant un ensemble témoin qui n'a subi que les phases de test. Les résultats ne mettent pas en évidence de changement de stratégie de recherche visuelle spontanée pour le groupe témoin. Les mesures des temps de fixation et de l'étendue du champ visuel (axes horizontal et vertical) sont constantes. Ce qui suggère que l'acquisition des stratégies repérées chez les conducteurs experts ne semble

pas se faire au cours de la première année de conduite. En revanche, les auteurs notent une influence de leur courte intervention sur les stratégies visuelles (sur vidéo) des conducteurs ayant suivi les séances d'entraînement. De plus, certains de ces effets sont toujours visibles six mois plus tard. Les auteurs concluent que les stratégies visuelles des conducteurs s'acquièrent spontanément de manière lente, mais qu'une intervention "pédagogique" permet d'accélérer leur acquisition tant pour des situations de conduite dangereuses que pour des conditions sans risque. Ceci permet d'entrevoir des possibilités d'entraînement sécuritaire (via la vidéo) afin de fournir aux jeunes conducteurs des stratégies visuelles spécifiques. Des travaux de Underwood et Al, mettent en évidence plusieurs points intéressants pour notre problématique :

- les difficultés visuelles des jeunes conducteurs proviennent essentiellement d'une simple surcharge de traitement, mais celle-ci résulte d'un manque de connaissances spécifiques à l'environnement routier ;
- les stratégies visuelles acquises par la pratique de conduite sont lentes, mais un entraînement explicite permet une acquisition de stratégies explicites, favorable aux jeunes conducteurs.

Ces conclusions associées à nos résultats expérimentaux nous ont permis d'envisager des débouchés en terme de formation et/ou de sensibilisation pour nos travaux. C'est pourquoi nous avons tenu à explorer ce champ d'application afin de connaître les produits actuellement disponibles sur le marché.

Chapitre 6. Une nouvelle génération d'outils pour la formation des conducteurs

Outre-France de nouveaux types d'outils pour la formation des jeunes conducteurs voient le jour. Généralement développés en collaboration entre des équipes de recherche sur la sécurité routière, des organismes d'assurances ou des constructeurs automobiles, ces outils abordent la conduite d'une manière plus complète. En d'autres termes, ils ne se limitent pas à l'apprentissage des règles de circulation. Nous ne présenterons que trois de ces outils. Premièrement DriveSmart, un CD-Rom australien à destination des jeunes conducteurs ou des apprentis conducteurs. Deuxièmement, CD-DRIVE, une application diffusée récemment en Nouvelle-Zélande également destinée aux conducteurs en cours d'apprentissage. Et troisièmement, SenseAbleDriving, un outil disponible gratuitement sur Internet, développé par General Motors, plus orienté vers la sensibilisation des conducteurs aux effets de distraction sur leur conduite.

6.1 DriveSmart

En 1999, l'équipe du centre de recherche sur les accidents de l'université de Monash a développé le CD-Rom Drive Smart (Regan, Triggs, & Wallace, 1999). Il est avant tout destiné aux apprentis conducteurs avant la passation de leur permis. Cependant, il s'adresse également aux jeunes conducteurs. Il leur est présenté comme scientifiquement développé et évalué pour les aider à construire les habiletés et les connaissances dont ils ont besoin sur la route. La jaquette du produit stipule que *chaque module de drive smart est là pour t'aider à devenir familier avec toutes les choses que tu as à faire simultanément quand tu conduis (...) DriveSmart accélère ton apprentissage des habiletés telle que le scanning, et la perception des dangers, dans le but d'obtenir ton permis de conduite*. Le CD-Rom est commandé par l'élève sur le site de l'éditeur. Il pourra ainsi l'utiliser chez lui, au rythme qu'il désire. Sur le plan théorique, les capacités à entraîner ont été choisies par les concepteurs selon quatre points critiques aux jeunes conducteurs identifiés par Triggs (Triggs, 1994):

- Risque perceptif : la capacité à détecter, percevoir et estimer le degré de risque associé un danger émergeant dans le trafic.
- Contrôle attentionnel : l'habileté à donner un ordre de priorité à son attention.
- Time-sharing : l'habileté à partager l'attention (limitée) entre les tâches multiples et compétitives de la conduite.
- Calibrage : l'habileté à modérer les tâches coûteuses selon ses propres capacités.

6.1.1 Présentation du CD-ROM DriveSmart

Le CD-ROM est constitué de 7 modules : (1) Introduction, (2) key skills training – scanning (26 séquences); (3) key skills training – keeping ahead and playing safe (6 séquences); (4) key skills training – concentration; (5) on the road – country driving (22 séquences); (6) on the road – urban driving (37 séquences); (7) progress score. Le premier module (introduction) explique à l'élève l'objectif du CD-ROM. Le dernier module (progress score) lui permet de surveiller sa progression de réussite globale au cours des différentes sessions.

Les 5 modules intermédiaires sont composés de 4 types d'exercices. La majorité des exercices proposés repose sur des QCM portant sur une vidéo de scène routière que l'élève vient de visionner. Les questions portent sur :

- ce qu'il va se passer après l'arrêt de la vidéo (*que va faire le piéton ? [un enfant sur le trottoir à gauche] attendre ou traverser devant nous ?*),
- l'état de la situation lors de l'arrêt de la vidéo (*combien de véhicules arrivaient sur la file de droite que nous rejoignons ? 1, 2 ou 3 ?*),
- l'attitude à adopter dans une telle situation (*je freine, je ralentis et je passe ou je maintiens ma vitesse et je passe ?*).

Dès que l'élève a validé sa réponse, la réponse juste est donnée et commentée. Ensuite l'utilisateur visionne la suite de la vidéo débouchant systématiquement sur une situation dangereuse. Pour certaines séquences, l'utilisateur est invité à enregistrer son commentaire (ie : décrire la situation tout au long de la vidéo), pour s'écouter ensuite. Dans ce cas là il lui est ensuite proposé d'écouter le commentaire d'un "expert" afin de comparer les deux versions.

Figure 142 : Capture d'écran DriveSmart, module concentration



Le second type d'exercice proposé ne concerne que le module d'entraînement nommé « concentration » (module 4). Il s'agit d'un mini-simulateur en 3D (figure 142). Ce module vise à sensibiliser l'élève sur l'importance de rester concentré quand on conduit. À l'aide de la souris de l'ordinateur, il peut accélérer (click droit) et ralentir (click gauche). La consigne est de maintenir une distance suffisante entre lui et le véhicule qui le précède. Dans les premières séquences cette distance est matérialisée par une ligne jaune indiquant où doit être positionné le véhicule précédent. Lorsque le sujet accélère ou ralentit il ne modifie pas la vitesse de défilement du simulateur, mais l'écart entre les deux véhicules. Au fur et à mesure des séquences les difficultés s'accumulent : suppression de la ligne jaune ; ajout d'une tâche parallèle (calcul mental), apparition de lignes de contrôle des performances aux deux tâches. Lorsque les lignes de performances apparaissent à l'écran, la consigne est modifiée : il doit réussir le mieux possible aux deux tâches.

Figure 143: Capture d'écran DriveSmart, module scanning



Le troisième type d'exercice concerne le module de scanning. Une vidéo de scène routière est présentée au sujet. Lorsqu'elle s'arrête, il doit pointer à la souris les zones importantes ou dangereuses (figure 143). Les cercles bleus correspondent aux zones sélectionnées par l'utilisateur. Lorsque la réponse est validée, une correction est fournie. Des carrés rouges apparaissent aux endroits qu'il était nécessaire de surveiller. L'apparition de ces "bonnes réponses" est accompagnée d'un commentaire expliquant quel risque représente chacune de ces zones. Enfin, la suite de la séquence est présentée. La fin du scénario montre toujours que les éléments encadrés en rouge étaient importants.

Enfin, le quatrième type d'exercice proposé ne concerne que quelques séquences sur l'ensemble du CD-ROM. Après le déroulement d'une séquence vidéo toujours arrêtée inopinément l'élève doit en reconstituer la scène finale. Après la vidéo une vue de dessus simplifiée de l'infrastructure apparaît à l'écran (figure 144). L'utilisateur doit positionner les icônes disponibles à droite de l'écran afin de reconstituer la scène finale. Les éléments dont il dispose sont : des véhicules de types différents (moto, voiture, camionnette...) ; des piétons ; un poteau électrique ; et une poubelle. Quand l'utilisateur valide sa réponse, s'il s'est trompé, un commentaire audio le lui signale. La séquence vidéo lui sera à nouveau présentée, puis la correction.

Figure 144 : capture d'écran DriveSmart, reconstitution de la scène



En 2000, Regan et al (Regan, Triggs, & Godley, 2000; M. A. Regan et al., 2000) ont conduit une expérimentation afin d'évaluer leur logiciel pour l'entraînement des jeunes conducteurs. Les résultats de l'étude, réalisée auprès d'une centaine de jeunes conducteurs, suggèrent que DriveSmart est efficace pour l'entraînement sur la perception du risque (module scanning) et pour l'entraînement du contrôle attentionnel (module concentration). Les tests réalisés 4 semaines après l'utilisation de DriveSmart, permettent de constater que les compétences acquises persistent pendant au moins 4 semaines après la formation. Cependant les auteurs restent prudents quant à la réelle efficacité de leur outil. L'objectif des auteurs est de distribuer suffisamment de CD ROM afin de pouvoir mesurer l'efficacité de leur produit sur les attitudes réelles (ie : sur route) des jeunes conducteurs l'ayant utilisé.

6.1.2 Critique de DriveSmart

Nous avons eu la chance d'obtenir des CD ROM des deux premières versions de DriveSmart. Ainsi bien que nous soulignons l'aspect innovant de cet outil par rapport aux produits disponibles en France, nous avons détecté certaines limites.

Concernant les exercices reposant sur les QCM, nous regrettons que la majorité des réponses proposées aux élèves soient trop évidentes. De ce fait, ces exercices sont assez proches des questions de base posées lors de l'apprentissage du Code de la Route français. Cependant, l'outil Australien est tout de même innovant par rapport à ce que nous connaissons en France. D'une part, DriveSmart utilise la vidéo, alors que les outils français n'utilisent que des photos. D'autre part, dans DriveSmart, lorsque la question est posée, la scène finale n'est plus à l'écran. Pour répondre le sujet doit donc avoir compris la situation avant que la question ne lui soit posée, alors que dans les produits disponibles en France, les élèves disposent toujours de l'image pour trouver la bonne réponse.

Par ailleurs, le module « concentration » est selon nous trop pauvre pour retranscrire les problèmes d'attention

du conducteur. Bien que ce module permette de sensibiliser l'utilisateur au respect des distances de sécurité. Mais, nous ne le trouvons pas pertinent par rapport au thème qu'il est censé aborder : la capacité à réaliser plusieurs tâches simultanément à la conduite automobile. Nous lui reprochons essentiellement de mettre en scène un environnement trop pauvre par rapport à la situation réelle de conduite. Premièrement, l'itinéraire représenté est une ligne droite sans intersection, les commandes gauche-droite n'existent pas. Deuxièmement, l'utilisateur comprend très rapidement qu'hormis le véhicule devant lui, il ne risque pas de rencontrer d'autres usagers. De ce fait, nous pensons que la pertinence de cette situation est assez réduite si on la compare aux multitudes de situations réelles qu'il est possible d'envisager.

Les deux types d'exercices que nous jugeons les plus intéressants sont : le scanning et la reconstitution des scènes finales. Les sessions de scanning sont sans aucun doute les exercices qui sont les mieux finalisés. Les situations routières sélectionnées sont pertinentes, elles révèlent toujours plusieurs éléments pertinents à prendre en compte. Les commentaires fournis lors de la correction et la fin des séquences vidéo visionnées après coup soulignent très bien l'importance d'avoir pris en compte tous ces éléments. En revanche, les quelques exercices de reconstitution des scènes finales ne sont pas aussi bien aboutis. Bien que l'idée didactique soit selon nous pertinente, il est décevant que le retour fourni aux utilisateurs ne soit pas fiable. En effet, en manipulant plusieurs fois le logiciel nous avons pu remarquer que quelque soit la réponse que nous donnions le même commentaire nous était présenté : *il y a une petit erreur* ("there is a few missing").

De plus, d'après ses concepteurs l'objectif est d'accélérer l'acquisition d'habiletés perceptives et cognitives indispensables à la conduite automobile en proposant un entraînement (M.A. Regan et al., 2000; M. A. Regan et al., 2000; Regan et al., 1999). La principale critique est donc qu'il semble difficile d'utiliser plusieurs fois ces exercices. Un phénomène d'apprentissage ne permet pas de s'entraîner au delà d'une passation. De plus, nous notons que plusieurs séquences sont utilisées deux à trois fois dans des exercices différents, et que nous ne pensons pas qu'à la deuxième vision l'utilisateur soit dans les mêmes conditions que s'il découvrait la séquence. Enfin, le septième module intitulé "progress score" donne un pourcentage de réussite global à l'usager. Nous pensons qu'il aurait été bénéfique de lui présenter un score par module. De plus, la consigne du cd-rom préconise de ne pas compléter les exercices en une seule fois, mais de réaliser plusieurs sessions, il aurait pu être bénéfique de conserver les scores de chaque session, pour chaque module, afin de présenter à l'utilisateur sa progression.

Toutefois DriveSmart demeure un outil innovant en matière de formation des conducteurs. Premièrement parce qu'il utilise la vidéo qui est plus proche de la situation de conduite que les photographies et d'autre part, pour les exercices qu'il propose qui dépassent l'apprentissage des règles de circulation.

Dans la même lignée, un autre logiciel d'aide à la formation des jeunes conducteurs a été développé en collaboration avec l'université de Waikato en Nouvelle-Zélande et des organismes publics (Accident Compensation Corporation et Land Transportation Safety Authority).

6.2 CD-DRIVE real world simulator

Diffusé, gratuitement sur demande, par courrier dès 2004, ce second outil est fortement inspiré par DriveSmart. Egalement destiné aux très jeunes conducteurs (équivalent de la conduite accompagnée en France), il contient des exercices très proches de ceux de DriveSmart. Tout d'abord, il utilise également la vidéo et non des photographies de scènes routières. Ensuite, les 4 thèmes abordés au cours des 5 modules du CD-Rom sont très proches de ceux de DriveSmart (le dernier module est une sorte de résumé des 4 premiers).

- Balayage de la scène, (*eye scanning*). L'introduction de ce premier module explique à l'utilisateur l'importance des stratégies visuelles du conducteur. Avant de passer aux exercices, deux vidéos lui sont présentées. La première lui montre que lorsqu'il regarde à un endroit, il ne voit pas le reste de la scène (figure 145).

Figure 145 : Capture d'écran sur vidéo CD-DRIVE : focalisation du regard



- La seconde vidéo est un enregistrement d'occulomètre d'un jeune conducteur (figure 146). Cette fois-ci le commentaire sonore explique à l'utilisateur les caractéristiques des stratégies des conducteurs novices (eg : négligence des éléments pertinents, manque d'anticipation), ainsi que les dangers qu'elles peuvent engendrer. Après ces explications, 18 séquences vidéo de scènes routières urbaines sont présentées à l'utilisateur. A la fin de chacune, une question à choix multiples lui est posée. Ces questions portent sur l'environnement de conduite (eg : quelle est la limitation de vitesse ? quels sont les autres usagers de la route ? A quelle vitesse roulez-vous ?). Lorsque la question apparaît à l'écran, si l'information clef est toujours disponible, la partie vidéo (rétroviseurs et tableau de bord compris) sera floutée. Si la réponse de l'utilisateur est juste, il sera félicité, sinon il devra visionner à nouveau la vidéo. Cependant, lorsqu'il se trompe, la bonne réponse ne lui est jamais fournie.

Figure 146 : Capture d'écran vidéo CD-DRIVE : occulomètre d'un jeune conducteur



- Détection des dangers, (Hazard détection). Deux types d'exercices sont disponibles dans ce module. Pour les 9 premières séquences, lorsque la vidéo s'arrête le sujet doit cliquer sur les éléments de la scène qu'il juge potentiellement dangereux. Lorsqu'il valide sa réponse, une correction lui est présentée (annexe). S'il n'a pas détecté la majorité des éléments prévus par l'outil, il doit revoir la vidéo. Lors des 9 séquences suivantes, la détection des éléments potentiellement dangereux doit être faite pendant la vidéo. L'utilisateur est averti de ses bonnes ou mauvaises réponses par des bips de tonalités différentes. Comme précédemment en fonction du nombre d'éléments détectés, l'utilisateur devra revoir la vidéo ou pourra passer à la séquence suivante. En revanche, ici les bonnes réponses ne lui sont pas données.
- Gestion du risque, (*risk management*). Dans ces 18 séquences, dès que l'utilisateur détecte un élément de la situation qui nécessite de prendre une décision (ie : de modifier la conduite en cours), il doit cliquer sur la vidéo. Dès lors, une question à choix multiples lui est posée sur les actions qu'il doit mettre en œuvre. Comme précédemment, s'il ne détecte pas la situation à risque ou s'il répond faux au QCM, il devra revoir la vidéo et la bonne réponse ne lui sera pas fournie.
- Commentaires de situation, (*road commentary*). L'utilisateur est invité à commenter 9 séquences vidéo de scènes routières. Après chacune, il pourra comparer son commentaire à celui d'un conducteur dit expérimenté qui s'apparente à un moniteur d'auto-école.

Figure 147 : Carte de navigation entre les modules du logiciel CD-DRIVE



L'utilisateur est obligé de réaliser les modules dans cet ordre. Pour accéder au module suivant, il doit obtenir au minimum 50% de réponses justes au module en cours. Au fur et à mesure qu'il complète les parties du logiciel, ses performances s'inscrivent sur la carte de navigation du logiciel (figure 147). CD-DRIVE n'est donc pas très différent de DriveSmart par les thèmes abordés. Toutefois, nous avons trouvé que les exercices proposés sont plus difficiles que ceux de DriveSmart. En effet, dans l'outil Australien, nous avons souligné que différents exercices pouvaient utiliser les mêmes situations ou que certaines questions froiaient le "politiquement correct". Ce n'est pas le cas dans ce logiciel. Hormis le dernier module qui a pour vocation de résumer les différents thèmes abordés, les séquences ne sont pas utilisées plusieurs fois. Par ailleurs, les questions posées lors des QCM nécessitent réellement d'avoir une compréhension de la situation. En effet, soit l'utilisateur doit lui même stopper la vidéo au moment où il a détecté les éléments pertinents pour la prise de décision, soit lorsqu'on lui pose la question à un moment prévu la scène est floutée. De plus, lorsqu'il se trompe, les bonnes réponses ne lui sont pas toujours fournies, ce qui lui permet d'utiliser plusieurs fois le logiciel. Cependant, ceci peut aussi provoquer une incompréhension de la part de l'utilisateur. En dernier lieu, nous avons trouvé ce logiciel plus agréable à utiliser que DriveSmart. Plus abouti il ne contient pas de bug. Les modules sont plus courts et moins lassants que les exercices de DriveSmart car les situations sont plus diversifiées.

Le troisième outil que nous avons choisi n'est plus destiné à la formation des jeunes conducteurs, mais directement orienté vers la sensibilisation des conducteurs aux effets de distractions.

6.3 SenseableDriving

Senseable Driving est à ce jour disponible librement en ligne sur le site de General Motors (http://www.gm.com/company/gmability/safety/drivers_seat/distracted_driving/index.html) sans limite de temps ou de nombre d'utilisation. L'interface a été développée sous flash (macromédia). *SenseAble driving* est présenté comme un simulateur de conduite permettant d'être confronté à une variété de distractions.

6.3.1 Présentation de SenseAble Driving

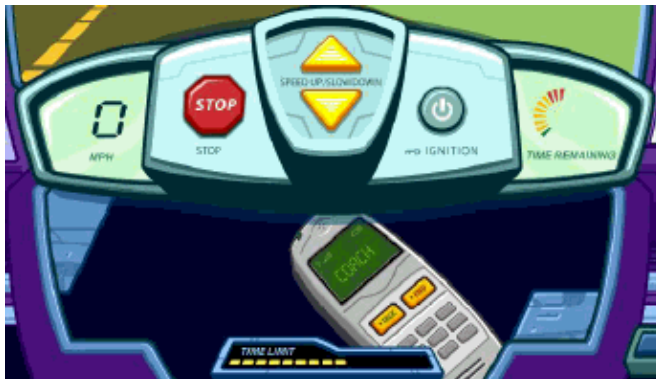
L'aspect visuel est donc typique des produits développés sous Flash, c'est-à-dire ludique (figure 148). Toutefois ce visuel correspond tout à fait au scénario de l'application. Après avoir rempli un petit questionnaire sur ses habitudes de conduite, l'usager est invité à choisir un personnage parmi 3 proposés. Son personnage dispose alors de trois minutes pour rejoindre sa destination.

Figure 148 : Capture d'écran, SenseAble Driving



Les commandes et informations nécessaires à l'utilisateur du simulateur sont accessibles sur l'écran et activables uniquement à la souris (figure 148). Ces fonctions sont réparties en trois zones. (1) sur la route, un curseur doit être maintenu au centre afin d'éviter de sortir de la route. (2) Le tableau de bord, est composé de boutons qui permettent à l'utilisateur de démarrer, d'accélérer, de ralentir et de s'arrêter. Le tableau de bord dispose également d'un compteur de vitesse digital, d'un compte à rebours et d'un niveau de performance. (3) Le panneau de distraction, en bas de l'écran, ne s'ouvre que lorsqu'une distraction intervient lors du parcours.

Figure 149: Capture de SenseAble Driving, Distraction du téléphone



En situation de conduite simple, l'usager doit déjà intervenir avec la souris sur tous les boutons du tableau de bord et maintenir le curseur sur la route. Au cours de son itinéraire plusieurs distractions vont venir perturber l'usager. Le panneau inférieur de l'écran s'ouvre et l'objet distractible apparaît accompagné d'une échelle de temps limité (10 à 12 secondes) pour intervenir après quoi le panneau se referme (figure 149).

Cinq distractions interviennent quel que soit le scénario choisi :

- deux appels téléphoniques sur un portable sans kit main libre, le premier est identifié (nom de l'appelant) le second n'est pas identifié,
- mis en route de la radio,
- se recoiffer,
- nettoyer son pare brise (eg : des papiers s'envolent et cachent la surface totale du parebrise),
- un incident avec les passagers arrières (eg : les enfants à l'arrière détachent leur ceinture de sécurité).

Tant que le panneau ne s'est pas refermé, des messages vocaux, représentant les passagers, incite le conducteur à répondre à la distraction. Pour interagir avec les distractions, l'usager doit déplacer sa souris du

curseur de trajectoire jusqu' au panneau inférieur où il doit cliquer sur les différents boutons représentés sur, ou à côté des objets. De ce fait, l'utilisateur est contraint à perdre sa trajectoire ou à revenir sur le curseur et à laisser de côté la distraction. La sortie de route est anticipée et indiquée au conducteur par le changement d'aspect du curseur afin de l'inciter à reprendre le contrôle de sa trajectoire. S'il ne la corrige pas, il sort de la route, son véhicule s'arrête, des crissements de pneus et un message répressif lui indique qu'il aurait du maintenir sa trajectoire. Il peut ensuite continuer son parcours.

Lorsque le temps imparti à la distraction est écoulé, le panneau de distraction se referme, l'utilisateur peut alors reprendre le contrôle de son véhicule. Les cinq distractions peuvent être distinguées par un caractère "d'urgence". Pour certaines l'intervention du conducteur n'est pas obligatoire (téléphone, radio, se recoiffer). Pour les autres (incidents avec les passagers et occlusion du pare-brise) la non-intervention du conducteur fait apparaître des situations jugées critiques puisque qu'elles entraînent l'arrêt du véhicule, et la verbalisation du conducteur. En outre, une nuance supplémentaire est introduite pour les deux appels téléphoniques. Le premier appel (ie : identifié) apporte des informations relatives au trajet (ie : retard du rendez-vous) alors que le second n'apporte aucune information utile au conducteur pour son trajet. Le parcours se termine lorsque le conducteur a rallié sa destination quel que soit le temps qui lui a été nécessaire. Deux écrans d'évaluation sont présentés successivement à l'utilisateur. Le premier écran donne au conducteur un pourcentage de "sécurité" sur sa manière de conduire et de gérer globalement les distractions et les différents éléments de sa conduite (vitesse, trajectoire). Un commentaire accompagne ce score. Un second écran fournit à l'utilisateur des commentaires détaillés sur chacune des distractions.

Lors de nos multiples essais nous avons pu remarquer que pour obtenir une performance maximale de 100% il suffit d'ignorer systématiquement les distractions. Dans ce cas, un seul commentaire négatif apparaît au sujet de l'appel téléphonique identifié que nous aurions dû décrocher car il nous fournissait des informations sur notre trajet. Lors d'un autre test de l'application nous avons au contraire choisi d'interagir avec toutes les distractions. Notre score final a alors été de 48%. Le commentaire nous rappelait que même si nous sommes arrivés à l'heure, le temps n'est rien comparé à la sécurité. Un conseil accompagne cette appréciation : "deal with necessities and ignore the nuisances".

6.3.2 Critique de SenseAble Driving

Le premier atout de SenseAble driving est d'être à notre connaissance le premier et unique produit de ce type sur le marché. Son second intérêt est de présenter une interface conviviale et attractive. Malheureusement, certaines situations en deviennent risibles et perdent en crédibilité. L'outil est très proche du jeu.

En outre, nous notons d'autres lacunes... Nous plaçons en tête de la liste la pauvreté des scènes routières : aucun autre véhicule, aucune intersection, aucun piéton.. les seuls événements extérieurs que doit gérer le conducteur sont par scénario : un stop (que l'on peut griller sans même provoquer aucune réaction), un feu rouge et des fluctuations de limitations de vitesse. Nous jugeons que cette vision de la tâche de conduite est trop restrictive par rapport à l'activité d'un véritable conducteur automobile. Face à un environnement de conduite si pauvre, l'effet des distractions n'est parlant que lorsqu'elles entraînent une sortie de route (le conducteur a laissé trop de temps son curseur de souris dans la partie inférieure de l'écran) ou bien lors de l'évaluation finale. C'est pourquoi, nous avons du mal à considérer l'impact de cet outil. Les trois craintes que peuvent avoir l'utilisateur de SenseAble Driving sont : la sortie de route, le retard et la verbalisation. En d'autres termes, d'après cet outil on pourrait penser qu'il est dangereux de se recoiffer, ou de nettoyer l'extérieur de son pare brise à la main, tout en conduisant car on risque de finir dans le fossé, d'arriver en retard à un rendez-vous, ou d'être verbalisé... Nous pensons que le risque encouru par un manque d'attention peut être dû à des distractions plus incideuses, c'est-à-dire à des activités devenues banales pour le conducteur. Qui plus est, ces activités ne nécessitent pas forcément d'abandonner le contrôle moteur du véhicule. Selon nous, le but d'un outil de sensibilisation n'est pas de pousser à l'extrême un comportement que les utilisateurs pourront trop facilement rejeter, mais de leur montrer que ce qu'ils font tous les jours peut, dans certains cas, être risqué. C'est pourquoi nous pensons que si la mise en œuvre d'un mini-simulateur de

conduite offre au produit un aspect attractif, nous jugeons qu'il devient trop simpliste, trop caricatural et trop ludique pour permettre un transfert vers la situation réelle de conduite.

Chapitre 7. Conclusions et Perspectives

Au terme de ce travail, nous avons vérifié que le protocole que nous avons élaboré permet d'analyser la justesse des représentations mentales des conducteurs automobiles en fonction de différentes sources de variations relatives soit, aux conducteurs soit, à leur disponibilité cognitive. Néanmoins, nous avons vu que différentes améliorations doivent être apportées à ICARE afin que cet outil soit optimal. Malgré ces limites, notre méthodologie permet d'analyser les représentations mentales des conducteurs automobiles d'une manière systématique et pour des dimensions qui n'avaient pas encore été approchées (nature des éléments de la situation, types d'objets, dynamisme des éléments...). C'est pourquoi, nous pensons que ce travail n'est en fait que l'origine de plusieurs débouchés.

7.1 Conclusions

Avant de présenter nos principaux résultats, nous avons tenu à revenir brièvement sur les points théoriques que nous avons présentés lors de nos premiers chapitres, afin d'éclaircir notre point de vue.

7.1.1 Des théories polysémiques ?

Fondamentalement, nous avons vu dans nos trois premiers chapitres que le concept de Conscience de la Situation renvoie à des notions fondamentales de la psychologie cognitive : les représentations mentales. À travers la présentation des travaux soviétiques, nous avons constaté que le lien entre ces théories ne peut être remis en cause. En effet, chacune tend à expliciter la manière dont l'individu comprend son environnement et agit sur celui-ci tout en prenant en considération les caractéristiques de l'individu et de l'environnement. De ce point de vue, la multiplication des termes employés autour de la question des représentations mentales peut rapidement conduire à la dichotomie des chercheurs intervenants sur cette question. Cependant, si l'on regarde au fond des choses et que l'on tient compte des univers théoriques et applicatifs, mais aussi des époques où chacun des auteurs a évolué, les fossés peuvent se réduire. L'idée sous jacente à toutes ces théories est que l'individu face à son environnement se construit mentalement un modèle du monde avec lequel il interagit. Rappelons une dernière fois que ce modèle ne peut être considéré comme une copie conforme du réel. En effet, tous les auteurs que nous avons cités sont d'accord pour souligner que la qualité de ce modèle dépend d'une part, de facteurs propres à l'individu et d'autre part, de facteurs inhérents à l'activité. Concernant les influences individuelles, tout au long de notre travail, nous avons souligné que la connaissance acquise par l'individu sur son activité, les ressources cognitives qu'il peut impliquer dans la réalisation de la tâche, mais aussi ses objectifs ont une grande influence sur le contenu du modèle mental qu'il se construira de la réalité. De la même manière, en fonction de la complexité de l'activité menée, mais aussi des caractéristiques de cette tâche et de l'environnement dans lequel elle s'inscrit des variations pourront être observées pour un même individu. Enfin, l'humain interagissant avec son milieu ne pourra élaborer que des modèles du monde soumis simultanément à l'influence de toutes ces sources de variations, internes ou externes à lui-même. C'est pourquoi, si nous avons présenté chacune de ces théories de manière indépendante en conservant les termes de chaque auteur, nous ne considérons pas qu'ils présentent de distinctions majeures. Cependant, l'intérêt de commencer notre exposé par la théorie de la Conscience de la Situation était de présenter une théorie qui propose une vue d'ensemble de l'activité cognitive d'un opérateur en situation dynamique. En revanche, le retour vers des travaux plus classiques et plus anciens, nous a permis, premièrement, de creuser certains points que la théorie de la Conscience de la Situation n'aborderait pas (eg : les propriétés de l'image opérative), et d'autre part, de souligner que cette théorie est certainement porteuse car elle se base et formalise tout un ensemble de concepts fondateurs de la psychologie cognitive. Néanmoins, la théorie d'Endlsey n'est, à notre sens, pas totalement satisfaisante. C'est également pour cela qu'il était indispensable de présenter d'autres

travaux complémentaires. Selon nous, les points faibles d'Endlsey proviennent d'une part, de l'absence d'une architecture cognitive fonctionnelle de l'humain où inscrire sa théorie et d'autre part, des flous théoriques inhérents aux concepts qu'elle emploie sans que l'on puisse métaphoriquement les situer dans cette architecture défailante. C'est au cours de notre troisième chapitre que nous avons replacé toutes ces données au sein de l'activité de conduite automobile. De cette manière, il nous a été possible de reconsidérer les apports théoriques des deux premiers chapitres, dans une vue de l'esprit qui nous convenait : considérer l'humain comme un système de traitement de l'information. Ainsi, nous avons pu tenir compte des spécificités de cette activité (ie : hétérogénéité, pression temporelle, dynamisme), mais aussi des particularités de l'humain (ie : limitations des ressources cognitives, effet de l'expérience et effet du vieillissement). Au fond, ces trois chapitres avaient pour vocation de poser le décor dans lequel notre travail s'inscrivait. Notre objectif était ni de débattre des théories existantes ni d'en proposer une nouvelle, mais d'élaborer un outil d'analyse des représentations mentales du conducteur. De ce fait, cet outil devait tenir compte des caractéristiques de l'activité étudiée, permettre une standardisation minimum et fournir un moyen d'accès au contenu du modèle de la situation routière mentalement construit par le conducteur.

7.1.2 Un protocole, des résultats, des pistes d'investigations

OSCAR combine à la fois les principes des techniques du rappel impronptu, du *freeze*, et de la cécité au changement, tout en utilisant de la vidéo afin de conserver le dynamisme des situations routières. ICARE n'est qu'une évolution technologique de notre protocole expérimental. Les fondements de la méthodologie n'ont pas été remis en cause. Aussi, par souci de vérification nous avons tenu à utiliser les mêmes séquences vidéos comportants les mêmes modifications.

Les données que nous avons recueillies, via ces deux protocoles auprès de l'ensemble de nos populations, nous ont permis, d'une part, de valider nos hypothèses de travail et d'autre part, d'ouvrir de nouvelles pistes d'investigations. Quelle que soit l'expérience de conduite, l'élaboration d'une représentation mentale de la situation nécessite des ressources cognitives. Globalement, les performances des conducteurs jeunes, expérimentés ou non expérimentés, ont toujours été dégradées par le manque de ressources cognitives. Cependant, le manque de ressources cognitives, provoqué par la double tâche, n'a pas eu le même impact en fonction des caractéristiques des modifications et en fonction des deux populations. En effet, l'expérience de conduite permet aux conducteurs d'une part, d'élaborer des représentations mentales plus adéquates à la situation de conduite, menant donc à des décisions plus sécuritaires, et d'autre part, de mieux gérer leur ressources cognitives. Nos résultats ont montré qu'en fonction de l'expérience, le conducteur n'accorde pas la priorité aux mêmes éléments de la situation selon leur distance. Les résultats d'OSCAR ont mis en évidence que les conducteurs expérimentés conservaient de bonnes performances pour les zones lointaines en double tâche, alors que les jeunes conducteurs semblaient donner plus de priorité à la zone proche. En outre, les données recueillies via OSCAR ont également permis de mettre en lumière que les éléments de la scène routière ne sont pas intégrés dans les représentations mentales de tous les conducteurs de la même manière selon qu'il s'agisse d'éléments de signalisations ou bien d'élément événementiels. En résumé, les événements se révèlent plus robustes face à la diminution des ressources cognitives que les éléments de signalisation. De ce fait, les différences liées à l'expérience et au manque de ressources cognitives font que les jeunes conducteurs non expérimentés manquant de ressources cognitives semblent élaborer des représentations mentales qui reposent majoritairement sur les événements au détriment des éléments de signalisation. Par contre, les conducteurs expérimentés arrivent toujours à tenir compte des deux types d'éléments même lorsque nous monopolisons une partie de leurs ressources par la double tâche. La nature dynamique, et donc saillante des événements est sans doute à l'origine de ces résultats. En contre partie, ces données soulignent également que l'intégration des éléments de signalisations nécessite des ressources cognitives quelle que soit l'expérience des sujets, mais que l'expérience permet au conducteur de mieux assurer cette recherche d'information même lorsqu'ils mènent une activité parallèle à la conduite. Toutefois, les premiers résultats obtenus via ICARE, auprès de conducteurs expérimentés, ont montré que le manque de ressources cognitives peut également affecter la prise en compte des événements. Ainsi, si ces éléments s'avèrent plus robustes au manque de ressources cognitives ils ne sont pas intouchables. Par ailleurs, la participation à l'étude VISA a

permis de constater qu'en fonction de l'âge des conducteurs, la qualité des représentations mentales de la situation est moins bonne. Cependant, l'expérience de ces conducteurs leur permet notamment de conserver des capacités d'anticipation presque meilleures que de jeunes conducteurs non expérimentés. Par ailleurs, OSCAR a permis de distinguer les populations de conducteurs âgés et de conducteurs âgés « cas » (ie : sensibilité du test). Enfin, les performances des conducteurs âgés à OSCAR étaient significativement corrélées aux scores de pénalités sur route obtenus par cette population (ie : validité écologique du test). De ce fait, si nous n'avons pas observé d'impact de la double tâche chez les conducteurs âgés, cela ne provient pas de notre protocole mais des difficultés propres à cette population.

Enfin, les évolutions techniques apportent de nouvelles pistes d'études. Premièrement, les différents niveaux de saisie des réponses via ICARE ont permis d'obtenir des données d'un niveau macroscopique. Ces informations indiquent que le manque de ressources cognitives augmente l'incertitude des sujets (ie : augmentation des réponses « je ne sais pas si la scène a été modifiée » en double tâche) ; et que les fausses réponses données par les sujets (ie : oui_NA) sont plus fréquentes en double tâche et elles touchent majoritairement aux événements car, elles correspondent avant tout à des déplacements d'objets. En outre ces déplacements témoignent le plus souvent d'un retard par rapport au dynamisme de la situation. Deuxièmement, il nous a été possible de caractériser les modifications de manière plus précise : en fonction des objets modifiés il semblerait qu'au sein d'une même catégorie d'objet (ie : signalisation ou événements) les performances de détection des sujets ne soient pas les mêmes pour tous les types d'objets. Nos données ne nous ont pas permis de réaliser de tests statistiques, mais il nous a semblé qu'un degré de priorité est donné à certains éléments de la route (ie : les piétons plus que les voitures ; les feux tricolores plus que les sens interdit). C'est pourquoi il serait intéressant de recueillir de nouvelles séquences vidéos de scènes routières afin d'étudier cette question. Nous pourrions alors nous interroger sur l'effet de l'expérience, mais aussi sur celui du manque de ressources cognitives sur cette dimension. Troisièmement, la capacité d'ICARE à générer a posteriori les réponses données par les sujets nous a permis d'entrevoir la possibilité d'analyser des aspects dynamiques et temporels des représentations mentales des conducteurs. Ces visualisations nous ont également permis de concrétiser les réponses fausses de types « déplacement » au sein des situations. Ainsi, nous avons constaté qu'au sein d'une même situation, un même sujet peut anticiper le déplacement de certains événement et en retarder d'autres. Nous avons également présenté des cas où les sujets décalaient tous les éléments dynamiques de la situation à un temps t précédant l'arrêt de la vidéo. Enfin, ces reconstitutions nous ont également permis de matérialiser les réponses que nous avons qualifiées de "non attendues" (hormis les déplacements). Quelques fois, ces réponses sont fournies dans des situations où un autre élément de la scène a pu rentrer en concurrence avec l'élément que nous avons modifié. L'élément rival était alors soit mal intégré ou pas du tout intégré (ie : le sujet supprime un élément existant dans la scène réelle, croyant que nous l'avions ajouté). Ce dernier type de réponse est selon nous un angle d'analyse à développer afin d'analyser les questions de la pertinence des informations sélectionnées dans la scène en fonction de l'expérience. C'est pourquoi, nous pensons qu'il serait très intéressant, d'une part, de lancer une expérimentation d'ICARE avec des conducteurs non expérimentés, et d'autre part de procéder au recueil de situation routière mettant en scène des concurrences entre des éléments pertinents pour le conducteur. Enfin, le feed-back visuel nous a également permis d'interagir avec les sujets dès la fin de leur passation. En effet, un grand nombre de participants étaient soucieux de connaître les « bonnes réponses », ainsi que les objectifs de nos expérimentations. Lors de l'utilisation d'OSCAR, il était laborieux de visionner la cassette vidéo dans son intégralité. Par contre, ICARE permet quant à lui de visionner uniquement les scènes finales en affichant conjointement, la réponse du sujet, et la réponse attendue. A chaque session de feed-back, les sujets ont été contents d'avoir un retour sur leur performance et de discuter avec nous des tendances générales que nous avions déjà observées. La majorité des personnes a été très réceptive et demandeuse d'explications sur leurs propres performances.

En outre, au cours de ces trois années de thèse, nous avons eu l'opportunité de présenter notre outil auprès de divers publics. Ces expériences en dehors du monde de la recherche nous ont permis de mesurer l'intérêt applicatif de notre travail. En effet, qu'il s'agisse de professionnels de la formation routière (Mr René Chomette, Responsable Ecole de Conduite Française de Bron ; Mr Gérard Lombardo AFCASER), ou

d'industriels (Lauréat des 11^{ème} Carrefour de la Fondation Rhône-Alpes Futur en novembre 2003, pour la catégorie « technologie de l'information »). ICARE a toujours été accueilli avec beaucoup d'intérêt et d'encouragements.

7.2 Perspectives

Parmi les interlocuteurs que nous avons pu rencontrer nous avons surtout été sensibles aux commentaires des personnes activement impliquées dans la sécurité routière. Leurs commentaires étaient plus qu'encourageants et très motivants. En effet, nous avons pu voir qu'outre-France quelques outils de formation et de sensibilisation d'une nouvelle génération voient le jour. C'est pourquoi dès que nous avons eu une version d'ICARE opérationnelle nous avons souhaité d'une part, connaître l'avis de ces professionnels, et d'autre part, voir comment le grand public l'accueillait.

Lors de la fête de la science en octobre 2003 nous avons donc décidé d'animer des ateliers autour de notre logiciel. Des groupes de scolaires ont ainsi pu manipuler notre outil. Il s'agit de jeunes adolescents conducteurs de deux roues de moins de 50cm³, d'adolescents en conduite accompagnée ou en cours d'apprentissage de la conduite, mais aussi de conducteurs de tous niveaux d'expérimentation. En fonction du monde présent les visiteurs utilisaient ICARE individuellement ou en groupe. Dans un premier temps nous leur montrions le maniement de l'outil, mais très rapidement ils prenaient le contrôle de l'application avec aisance. Nous avons pu remarquer que cet outil prenait très facilement un aspect ludique dès lors qu'il était utilisé collectivement, c'était à celui qui trouverait le plus rapidement la bonne réponse. L'enjeu étant d'autant plus fort lorsque les groupes de scolaires étaient accompagnés par un adulte, le plus souvent l'un de leurs enseignants, contre qui ils souhaitaient d'autant plus réussir. L'intérêt de ces lycéens était également plus fort lorsqu'ils étaient déjà inscrits dans une auto école. En effet, certains d'entre eux nous ont demandé où et comment se procurer ICARE, par exemple, s'il était disponible sur Internet.

Nous avons été également surpris par l'impact qu'ICARE a eu auprès d'enfants d'une dizaine d'années. Bien qu'ils arrivaient rarement à trouver les réponses justes, les enfants ont rapidement compris le principe de l'outil lorsque nous faisons le parallèle soit avec la circulation en vélo soit, avec la conduite de leurs parents. Par ailleurs, nous qui pensions depuis le départ, qu'ICARE n'était pas facilement maniable pour une personne qui ne le connaissait pas, nous avons pu remarquer que des enfants de 10 ans et moins n'avaient aucune difficulté à manier les menus déroulants et/ou le positionnement des objets 3D dans les scènes routières.

Enfin, les professionnels ou bénévoles intervenant dans le secteur de la formation ou de la sécurité routière ont également réservé un accueil enthousiaste à ICARE. Ils étaient contents de voir que de nouveaux types d'outils commençaient à apparaître et surtout ravis de leur pertinence par rapport à leur mission. En effet, tous se sont entendus pour dire que la sécurité routière et la sensibilisation des conducteurs devaient passer par une étape initiale de prise de conscience des conducteurs. Selon eux ICARE permettrait d'intervenir auprès de nombreux publics pour déclencher une prise de conscience chez les conducteurs automobiles. C'est pourquoi Mr Chomette, Directeur ECF Bron, nous a invité à venir tester ICARE en séance collective auprès d'apprentis conducteurs. Cependant, deux pistes de développement sont envisageables, chacune demande des développements plus ou moins importants à partir d'ICARE.

7.2.1 Développement à venir pour des outils de formations

Nous avons vu que les outils qui sont actuellement développés, à l'étranger, pour la formation et pour la sensibilisation des conducteurs ont des caractéristiques communes. Premièrement, ils sont le fruit de collaboration entre des organismes impliqués dans la sécurité routière (organismes de recherche ou d'assurances) et des Universités. Deuxièmement, ils dépassent l'enseignement du code de la route et des règles de priorités théoriques en plaçant l'utilisateur dans des situations données plus ou moins critiques. Enfin, troisièmement, ils ont bannis l'utilisateur de scènes routières statiques pour introduire de la vidéo ou

des univers virtuels dynamiques. Tenant compte de ces nouvelles tendances et des remarques qui nous ont été faites lors d'exhibitions d'ICARE nous voyons actuellement deux perspectives envisageables à plus ou moins court terme. En effet, ces deux versions d'outils nécessiteraient des développements plus ou moins coûteux.

7.2.1.1 Support pour la formation collective

Suite à l'invitation de Mr René Chomette nous sommes allé tester ICARE dans son Centre d'Education et de Sécurité Routière, ECF à Bron (Huvey, 2004). Lors de cette séance un groupe de 8 apprentis conducteurs a passé 10 séquences. Parmi ces 8 sujets, seulement 4 avait déjà passé avec succès le test du code de la route. Tous avait à leur actif environ 19-20h de leçon de conduite sur route. Par ailleurs, la pédagogie mise en œuvre dans ce centre de formation offre également aux apprentis des heures de conduite sur piste, des heures d'écoute pédagogique ainsi qu'en fin de formation un voyage découverte de 200km. De ce fait, tous nos sujets avaient bénéficié d'autres heures de pratiques du véhicule ainsi que de séances d'écoute pédagogique. Lors de ces séances, sur piste, un apprenti conducteur est au volant du véhicule école accompagné d'un autre apprenti. Les moniteurs surveillent la piste du haut d'une tour de contrôle et interagissent avec les élèves par radio. Ces élèves avaient en moyenne 16 ans et demi, la majorité était là en préparation de la conduite accompagnée. En outre, nous avons sélectionné les 10 séquences premièrement, parmi celles où nous avions une grande différence entre les performances des sujets OSCAR en fonction de l'expérience (et en condition de simple tâche), et deuxièmement parmi celles où au moins deux éléments pouvaient entrer en concurrence (séquences retenues : 2,4,6,12,22,24,31,34,36,38).

Lors de notre séance, nous avons projeté ICARE via un vidéo-projecteur, afin que tous les sujets visionnent les vidéos en même temps. Une première séquence nous a permis de bien expliquer le principe et la consigne, après quoi nous avons passé les 9 autres séquences sans fournir de réponses aux élèves. Nous leur avons fourni une feuille où pour chaque séquence il devait choisir entre deux options : la scène finale a été modifiée ou n'a pas été modifiée. Lorsqu'ils cochaient la case « modifiée », un espace prévu à ce effet leur permettait d'inscrire les modifications qu'ils avaient détecté. Dans un second temps, nous avons relancé chaque séquence. Avant le début de la vidéo, nous leur demandions si la scène avait été modifiée ou non. Puis, nous visionnions la séquence en l'arrêtant juste à la dernière image, afin de la confronter à l'image modifiée. Un temps de discussion était ensuite destiné d'une part, à leur expliquer l'importance de l'élément que nous avions modifié et donc sa pertinence par rapport à la situation, et d'autre part à leur demander si les modifications qu'ils avaient détectées étaient les bonnes.

Si nous ne comptons pas la première séquence utilisée comme exemple, les élèves ont au mieux détectés 3 de nos modifications pour les 9 scènes restantes. En moyenne ils ont obtenu 1 ou 2 bonnes réponses chacun (au total 13/72). Les non détections de nos modifications proviennent en moyenne autant de jugements « la scène n'a pas été modifiée » (28/72) que de fausses détections de modifications (31/72). Le temps de discussion après chaque séquence nous a permis de constater qu'en règle générale, lorsqu'ils jugeaient que la scène n'avait pas été modifiée c'est parce qu'ils étaient focalisés sur un autre élément de la situation. Par ailleurs, lorsqu'ils jugeaient que la scène était modifiée mais pour de mauvaises raisons (ie fausses détections ou changement non attendus) la grande majorité de leur réponse concernait des piétons que nous aurions supprimé, ajouté ou déplacé. Néanmoins, cette séance n'avait pas pour but de recueillir de nouvelles données.

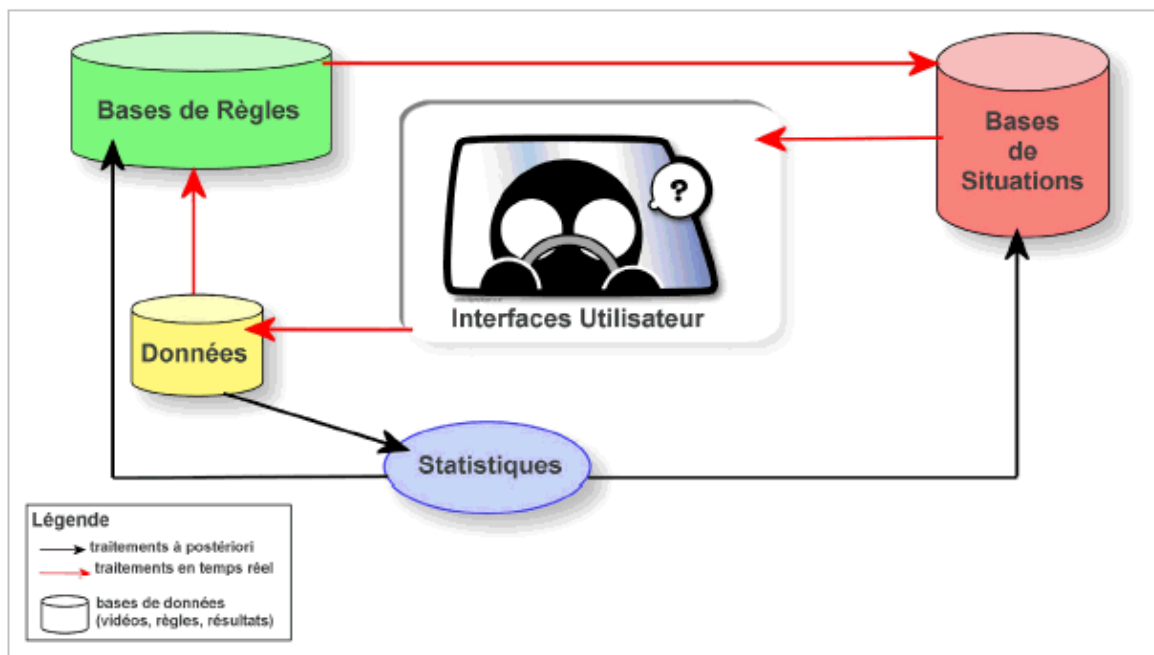
Cette expérience nous a permis de constater que l'idée de base d'OSCAR et d'ICARE, c'est-à-dire la détection des modifications, et l'utilisation de vidéo, peut avoir un rôle pédagogique. En effet, lors de cette séance, Mr Chomette et une formatrice du centre de formation étaient présents. Le discours qu'ils tenaient à leurs élèves correspondait tout à fait au sens fondamental de notre travail : sur la route il n'est pas possible de tout voir, mais il est nécessaire de voir les éléments importants pour prendre les bonnes décisions. Nous avons également remarqué que l'accent était également mis sur l'anticipation qui permet au conducteur de ne pas être surpris et donc d'avoir le temps de réagir à la situation, et de ce fait de ne pas surprendre les autres usagers.

Dans cette optique, une version de base d'ICARE pourrait suffir car le moniteur serait là pour corriger et interagir avec les apprentis conducteurs. Cependant, par rapport à la version actuelle, il serait tout de même nécessaire de réaliser des développements informatiques afin de stabiliser l'application, mais aussi d'offrir un meilleur rendu. En outre, il serait nécessaire de réaliser de nouvelles prises de vue de situations routières, de les sélectionner, de traiter les vidéos numériques ainsi que les scènes finales modifiées. En effet, l'utilisation d'ICARE pour la formation des conducteurs nécessite de disposer d'une base de séquences vidéo importante afin de couvrir un large éventail de situations routières et de ne pas risquer de lasser les élèves.

7.2.1.2 Une application autonome

A l'autre extrême, nous envisageons le développement d'une application totalement autonome, allant même jusqu'à imaginer un outil disponible sur Internet. Cependant, un outil autonome peut aussi bien être utilisé en auto école lors de l'apprentissage de la conduite ou lors de stage pour la récupération de points. Comme pour la version de base, il sera nécessaire d'assurer des développements informatiques notamment pour assurer un rendu visuel optimal.

Figure 150 : Architecture potentielle d'une nouvelle version d'ICARE



Cependant, comme le montre la figure 150, cette application pourrait être plus aboutie encore. Derrière l'interface visible par l'utilisateur nous envisageons :

- une base de données de situations (principe existant déjà dans ICARE), chaque situation serait caractérisée d'une part par les modifications que nous lui aurons apportées, et d'autre part, par les caractéristiques de la situation (eg : situation complexe, intersection à feux, priorité à droite, rase campagne)
- un système de récupération des données amélioré par rapport à celui d'ICARE,
- une base de règles logiques permettant de sélectionner en temps réel les séquences d'exercice en fonction :

- ◆ des caractéristiques de l'utilisateur : type et objectif de la formation (eg: initiale, post permis sensibilisation ou récupération de points, chauffeurs taxi...), expérience, âge,
- ◆ des performances de l'utilisateur aux séquences précédentes.

Par ailleurs, cet outil étant au service de la formation et/ou de la sensibilisation, nous devons apporter des améliorations au feed-back visuel mais aussi lui ajouter des fonctionnalités supplémentaires. Comme par exemple, la création d'une fonction permettant d'alterner la scène originale et la scène modifiée en conservant les changements opérés par le sujet à l'écran. Le feed-back visuel pourra intervenir en cours de passation, après chaque réponse validée par le sujet. En outre, le feed-back permettra également de récupérer des données fondamentales intéressantes qui nourriront les développements futurs de l'outil, la sélection de nouvelles séquences, le choix de nouvelles modifications et/ou de nouveaux outils de formation. Par ailleurs, nous envisageons la création d'un repère grillagé dans le monde 3D. Cette grille favorisera la récupération des données positionnelles des objets de manière plus aisée et très précise permettant ainsi, par exemple, le calcul de positions moyennes pour l'ensemble des réponses données à une scène par tous les sujets, ou bien le calcul du décalage pour un sujet sur l'ensemble de ses réponses. Cette grille permettra également de calculer le décalage en mètre entre la réponse réelle (image originale) et le repositionnement (ie : retard et projection) réalisés par les sujets. En effet, nous pensons que l'analyse de l'aspect dynamique, spatio-temporel, des représentations mentales est un point important lorsque l'on se situe dans l'activité de conduite automobile.

En outre, des traitements statistiques (à la charge de l'humain !) des données recueillies permettraient d'une part d'étayer la base de situations de conduite, et d'autre part, de consolider la base de règles. L'analyse des données recueillies permettra également de continuer de travailler sur l'analyse des représentations mentales des conducteurs qui constitue un domaine important de recherche. En effet, le double intérêt d'une application autonome est de pouvoir la diffuser plus largement que dans l'apprentissage à la conduite, mais aussi la possibilité de récupérer des données afin d'obtenir de nouveaux résultats expérimentaux. ICARE pourrait être diffusé sur CD-ROM (eg : aux particuliers, aux auto-écoles, aux entreprises), via internet ou sur des bornes interactives disposées dans des lieux publics (eg : aires d'autoroute) ou privé (eg : sociétés d'assurance, centres de formation).

Quoi qu'il en soit la version actuelle d'ICARE ne couvre que quelques exemples de situations routières urbaines pour des conducteurs de véhicules légers. Cependant, nous pensons que ce principe peut également s'appliquer aux autres usagers de la route (eg : chauffeurs poids lourds, motards, piétons) à condition que les vidéos retranscrivent leur point de vue et que la sélection des situations routières soit réalisées selon les besoins de ces usagers et des objectifs de formation. Comme nous l'avons souligné à plusieurs reprises, ICARE intervient à différents niveaux de la mise en œuvre de programmes de formation. D'une part il permet d'évaluer les populations et leur besoin et d'autre part, il intervient directement en tant qu'outil pédagogique ou outil de sensibilisation. Par conséquent, nous espérons que les projets actuellement en cours nous permettront de continuer ce travail à des vues scientifiques, et de manière applicative.

7.2.2 Autre champ d'application

Sur le plan applicatif, l'étude des représentations / de la CS peut également apporter des résultats intéressants pour l'évaluation et la conception de systèmes d'aide à la conduite. Un premier aspect se rapporte à l'analyse de l'impact de certaines tâches parallèles (comme téléphoner, utiliser des systèmes d'information embarqués, etc) sur la qualité des représentations élaborées, la « Conscience » que les conducteurs ont de la situation de conduite dans laquelle ils évoluent. Le fait d'avoir une conversation téléphonique, par exemple, risque d'affecter considérablement la façon dont le conducteur se représente le contexte routier. Mais on peut aussi s'interroger sur la nature des informations environnementales qui « souffriront » le plus de cette « moindre attention » accordée à la conduite, ainsi que sur les risques inhérents au caractère lacunaire d'une représentation élaborée dans de telles conditions. Un autre aspect se rapporte à l'analyse des besoins spécifiques propres à certaines populations de conducteurs (e.g. conducteurs âgés, handicapés), et à la recherche de solutions technologiques en vue de les assister. Si, d'une part, il s'avère que certaines familles de

conducteurs éprouvent de réelles difficultés pour élaborer de « bonnes » représentations dans le cadre de situations ou de conditions de conduite particulières, et si, d'autre part, l'on est en mesure d'identifier les principales lacunes de ces représentations, on peut alors s'orienter vers le développement de dispositifs d'assistance « palliatifs » (sortes de *prothèses* perceptives et/ou cognitives) susceptibles de leur permettre de mieux analyser la réalité (en leur signalant, par exemple, la présence de tel ou tel objet dans l'environnement), et éviter ainsi qu'ils ne commettent certaines erreurs. On peut aussi imaginer d'automatiser certaines composantes de la tâche de conduite afin que ces conducteurs puissent consacrer plus d'attention à la « prise de conscience » de la situation voire, à l'extrême, leur donner la possibilité de se décharger complètement de la conduite (passage en mode « conduite automatique » si cela est technologiquement possible) dans le cadre de situations pour lesquelles ils éprouvent de réelles difficultés (coût cognitif élevé et / ou prise de risque importante). On entre ici de plein pied dans les questions de Coopération Homme-Machine qui préoccupent plusieurs unités de l'INRETS (LESCOT, LPC, MA et LIVIC notamment).

De ce fait, le développement d'une version optimisée d'ICARE permettrait le recueil de données fondamentales intéressantes. Cet outil pourrait être utilisé avec d'autres méthodologies mises en œuvre à l'INRETS. Il serait par exemple possible de diffuser les séquences vidéo via le simulateur de conduite du CIR, même si obtenir l'interactivité du véhicule à partir des séquences vidéo demanderait un gros développement. En revanche, pour un moindre coût, il est envisageable de coupler les données recueillies par ICARE à deux méthodologies récemment utilisées au LESCOT : l'occulomètre et les potentiels évoqués.

Références Bibliographiques

1. Abric, J. C. (2003). *Pratiques sociales et représentations*. Paris: PUF.
2. Adams, M. J., Tenney, Y. J., & Pew, R. (1995). Situation Awareness and cognitive management of complex systems. *Human Factors*, 37(1), 85-104.
3. Alm, H., & Nilsson, L. (1995). The effects of a mobile telephone task on driver behaviour in a car following situation. *Accid Anal Prev*, 27(5), 707-715.
4. Anokhin, P. K. (1962). *The theory of functional systems as a prerequisite for the construction of physiological cybernetics*. Moscow: Academy of Science of the URSS.
5. Baddeley, A. (1986). *Working Memory*. Oxford: Clarendon Press.
6. Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends Cogn Sci*, 4(11), 417-423.
7. Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 8). New York: Academic Press.
8. Bartlett, F. C. (1932). *Remembering : A study in experimental and social psychology*. London: Cambridge University Press.
9. Bastien, C. (1997). *Les Connaissances de l'Enfant à l'Adulte*. Paris: Armand Colin.
10. Batchelder, S., Rizzo, M., Vanderleest, R., & Vecera, S. P. (2003). *Traffic scene related change blindness in older drivers*. Paper presented at the Second International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, Utah, USA.
11. Bedny, G., & Meister, D. (1997). *The Russian theory of activity : current applications to design and learning*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
12. Bedny, G., & Meister, D. (1999). Theory of activity and situation awareness. *International Journal of Cognitive Ergonomics*, 3(1), 63-72.
13. Bedny, G. Z., & Karwowski, W. (2004). Activity theory as a basis for the study of work. *Ergonomics*, 47(2), 134-153.
14. Bedny, G. Z., Karwowski, W., & Jeng, O. J. (2003). *Concept or orienting activity and situation awareness*. Paper presented at the XVth Triennial Congress of the International Ergonomics Association and 7th Joint Conference of Ergonomics Society of Korea/Japan Ergonomics Society, Seoul, Korea.
15. Bedny, G. Z., Seglin, M. H., & Meister, D. (2000). Activity theory : history, research and

- applications. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 1(2), 168-206.
16. Bellet, T. (1998). *Modélisation et simulation cognitive de l'opérateur humain : une application à la conduite automobile*. Unpublished Doctorat, Université René Descartes - Paris V, Paris.
 17. Bellet, T., & Tattegrain-Veste, H. (2003). COSMODRIVE : un modèle de simulation cognitive du conducteur automobile. In J. C. Spérandio & M. Wolff (Eds.), *Formalisme et modélisation pour l'analyse du travail et l'ergonomie* (pp. 77-110). Paris: PUF.
 18. Bisseret, A. (1970). Mémoire opérationnelle et structure de travail. *Bulletin de Psychologie*, XXIV(5/6), 280-294.
 19. Bisseret, A. (1995). *Représentation et décision experte, psychologie cognitive de la décision experte chez les aiguilleurs du ciel*. Toulouse.
 20. Bisseret, A. (2004). In c. p. email (Ed.).
 21. Bisseret, A., Sebillotte, S., & Falzon, P. (1999). *Techniques pratiques pour l'étude des activités expertes*. Toulouse, France: Octarès.
 22. Blandford, A., & William Wong, B. L. (2004). Situation awareness in emergency medical dispatch. *International journal of human-computer studies*, 61(4), 421-452.
 23. Bolstad, C. A. (2001, 8-12 october). *Situation Awareness : does it change with age ?* Paper presented at the 45th Annual Meeting HFES, Minneapolis - st Paul.
 24. Bolstad, C. A. (unpublished). Age-related Factors Affecting the Perception of Essential Information during Complex Driving Situation.
 25. Bolstad, C. A., & Hess, T. M. (1995). *Situation Awareness and Older Workers*. Paper presented at the Experimental analysis and Measurement of Situation Awareness Conference, Daytona Beach, FL.
 26. Bolstad, C. A., & Hess, T. M. (2000). Situation awareness and aging. In M. R. Endsley & D. J. Garland (Eds.), *Situation Awareness, Analysis and Measurement* (pp. 277-302). London: Lawrence Erlbaum Associates.
 27. Broadbent, D. E. (1958). *Perception and Communication*. London: Pergamon Press.
 28. Brookhuis, K. A., De Vries, G., & De Waard, D. (1991). The effects of mobile telephoning on driving performance. *Accid Anal Prev*, 23(4), 309-316.
 29. Brown, I. D., Tickner, A. H., & Simmonds, D. C. (1969). Interfering between concurrent tasks of driving and telephoning. *Journal of Applied Psychology*, 53(5), 419-424.
 30. Bruner, J. S. (1957). On Perceptual Readiness. *Psychological Review*, 64, 123-152.
 31. Bruner, J. S. (1958). Social Psychology and Perception. In E. E. Maccoby, T. M. Newcomb & E. L. Hartley (Eds.), *Readings in Social Psychology*. New York: Holt.
 32. Bruner, J. S. (1966). On cognitive growth. In J. S. Bruner, R. R. Olver & P. M. Greenfield (Eds.), *Studies on cognitive growth*. New York.
 33. Caird, J. K., Edward, C. J., Creaser, J. I., & Horrey, W. J. (2002). *Contributing Factors to Accidents by Older Drivers: R&D Plan and Empirical Studies*. Calgary: Cognitive Ergonomics Research Laboratory - Department of Psychology - University of Calgary.
 34. Carreras, O. (1999). *Représentation temporelle et ajustement de l'action à la dynamique de la situation*. Unpublished Thèse de Doctorat de Psychologie, Université de Toulouse I - Le Mirail, Toulouse.
 35. Casson, R. W. (1983). Schema in cognitive anthropology. *Annual Review of Anthropology*, 12, 429-462.
 36. Cazamian, P. (1981, 1-5 juin). *Image et Action*. Paper presented at the L'Image Opérative, Université Paris I (Panthéon-Sorbonne).
 37. Cellier, J. M. (1996). Exigences et gestion temporelle dans les environnements dynamiques. In V. D. K. J.M Cellier, & C. Valot (Ed.), *La gestion du temps dans les environnements dynamiques* (pp. 19-48). Paris: Presses Universitaires de France, Coll. Le Travail Humain.
 38. Cerella, J. (1985). Information processing rates in the elderly. *Psychological Bulletin*, 98(1), 67-83.
 39. Chan, H. S., & Courtney, A. J. (1993). Effects of cognitive foveal load on a peripheral single-target detection task. *perception and motor skill*, 77, 515-533.
 40. Chanquoy, L., & Alamargot, D. (2002). Mémoire de travail et rédaction de texte : Evolution des modèles et bilan des premiers travaux. *L'Année Psychologique*, 102, 363-398.

41. Chapman, J. R., & Underwood, G. (1998). Visual search of dynamic scenes : events types and the role of experience in veiwing driving situations. In G. Underwood (Ed.), *Eye guidance in reading and scene perception* (pp. 369-393). Oxford: Elsevier.
42. Chapman, P. R., Underwood, G., & Roberts, K. (2002). Visual search patterns in trained and untrained novice drivers. *Transportation Research Part F*, 5, 157-167.
43. Chapon, A. (2004). communication personnelle.
44. Chapon, A., Bruyas, M. P., Lelekov-Boissard, T., Letisserand, D., Deleurence, P., Chanut, O., et al. (2004). *Conséquence de l'utilisation des nouvelles technologies de l'information et de la communication pendant la conduite automobile* (INRETS-LESCOT No. 0401). Bron: INRETS-LESCOT.
45. Charness, N. (1981). Search in chess: Age and skill differences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7(2), 467-476.
46. Charness, N., & Bieman-Copeland, S. (1992). The learning perspective : Adulthood. In R. J. Sternberg & C. A. Berg (Eds.), *Intellectual development* (pp. 301-327). New York: Cambridge University Press.
47. Chase, W. G., & Simon, H. A. (1973a). The mind's eye in chess. In W. G. Chase (Ed.), *Visual Information Processing* (pp. 215-281). New York: Academic Press.
48. Chase, W. G., & Simon, H. A. (1973b). Perception in Chess. *Cognitive Psychology*, 4, 55-81.
49. Cooper, P. J., & Zheng, Y. (2002). Turning gap acceptance decision-making: the impact of driver distraction. *J Safety Res*, 33(3), 321-335.
50. Cowan, N. (1988). Evolving conceptions of memory storage, selective attention and their mutual constraints within the human information-processing system. *Psychological Bulletin*, 104(2), 163-191.
51. Cowan, N. (1998). Visual and auditory working memory capacity. *Trends in Cognitive Sciences*, 2(3), 77-78.
52. Crane, P. M. (1992). *Theories of expertise as models for understanding situation awareness*. Paper presented at the Proceedings of the 13th Annual Symposium on Psychology in the Department of Defense.
53. Crundall, D., & Underwood, G. (1998). Effects of experience and processing demands on visual information acquisition in drivers. *Ergonomics*, 41(4), 448-458.
54. De Graef, P. (1998). Prefixational object perception in scenes : objects popping out of schemas. In A. i. Underwood (Ed.), *Eye guidance in reading, reading, driving and scene perception* (pp. 313-336). oxford: Elsevier.
55. Decortis, F., & Cacciabue, C. (1991). Modélisation cognitive et analyse de l'activité. In M. d. M. R. Amalberti, & J. Theureau (Ed.), *Modèles en analyse de travail*. Liège: Mardaga.
56. Denis, M. (1979). *Les images mentales*. Paris: PUF.
57. Denis, M. (1989). *Image et Cognition*. Paris: Presses Universitaires de France.
58. Deutsch, J. A., & Deutsch, D. (1963). Attention : somme theorical considerations. *Psychological Review*, 70, 80-90.
59. Dominguez, C., Vidulich, M., Vogel, E., & McMillan, G. (1994). *Situation Awareness : papers and annotated bibliography (U)* (No. AL/CF-TR-1994-0085): Amstrong Laboratory, Human System Center.
60. Dreyfus, H. L., & Dreyfus, S. E. (1986). *Minde over Machine : the power of human intuition and expertise in the erea of computer*. New York: The Free Press.
61. Eby, D., Trombley, D. A., Molnar, L. J., & Shope, J. T. (1998). *The assessment of older drivers'capabilities: A review of the litterature* (No. UMTRI-98-24): The University of Michigan.
62. Enard, C. (1968). *Etude des informations permanentes : infrastructures géographiques des secteurs et carte mentale du contrôleur* (Doc. Ronéot. No. CO 6802 R18): CERP/INRIA.
63. Endsley, M. R. (1988). *Desing and evaluation for situation awareness enhancement*. Paper presented at the Proceeding of the Human Facotrs Society 32nd Annual Meeting, Santa Monica, CA.
64. Endsley, M. R. (1991). Situation awareness in dynamic systems. In Y. Queinnec & F. Daniellou (Eds.), *Designing for Everyone* (pp. 801-803). London: Taylor and Francis.

65. Endsley, M. R. (1993). *SA : some Reflections and Comments (addendum)*. Paper presented at the Proceedings of the First International Conference on Situational Awareness in Complex Systems, Orlando, FL.
66. Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37(1), 32-64.
67. Endsley, M. R. (2000). Theoretical underpinnings of situation awareness : a critical review. In M. R. Endsley & D. J. Garland (Eds.), *Situation Awareness, Analysis and Measurement* (pp. 3-32). London: Lawrence Erlbaum Associates.
68. Endsley, M. R., Bolté, B., & Jones, D. G. (2003). *Designing for situaiton awareness, an approach to user-centered design*. London & New York.
69. Endsley, M. R., & Jones, D. G. (2003). *Designing for situation awareness : an approach to user-centred design*. London & New York: Taylor and Francis.
70. Endsley, M. R., & Rodgers, M. D. (1998). Distribution of attention, situation awareness, and workload in a passive air traffic control task : implications for operational errors and automation. *Air Traffic Control Quarterly*, 6(1), 21-44.
71. Endsley, M. R., & Smith, R. P. (1996). Attention distribution and decision making in tactical air combat. *Human Factors*, 38(2), 232-249.
72. Endsley, M. R., & Smolensky, M. W. (1998). Situation Awareness in Air Traffic Control : The picture. In M. W. Smolensky & E. Stein (Eds.), *Human Factors in Air Traffic Control* (pp. 115-154). New York: Academic Press.
73. Ericsson, K. A., & Kintsch, W. (1995). Long-term working memory. *Psychological Review*, 102, 211-245.
74. Erikson, B., & Höberg, U. (1980). *Eye movments of driver in urban traffic* (No. 283). Uppsala : Sweden: Uppsala Psychological Reports.
75. Fairclough, S. H., Ashby, M. C., Ross, T., & Parkes, A. M. (1991). *Effects of handsfree telephone use on driving behaviour*. Paper presented at the Proceedings of the ISATAS international symposium on automative technoloby and automation.
76. Ferrandez, F., Brenac, T., Girard, Y., Lechner, D., Jourdan, J. L., Michel, J. E., et al. (1995). *L'Etude Détaillée d'Accident orientée vers la sécurité primaire : méthodologie de recueil et d'analyse*. Paris: Presses de l'ENPC.
77. Feyereisen, P., & Van der Linden, M. (1992). *Performance of young and older adults in faur memory span tasks*. Paper presented at the 5ème Conference of the European Society for Cognitive Psychology, Paris.
78. Fieux, C. (1999). *La catégorisation mentale en situation de conduite : le cas de l'intersection*. Lyon: DEA LEACM INRETS-LESCOT.
79. Fortin, C., & Rousseau, R. (1993). *Psychologie Cognitive : une approche de traitement de l'information*. Québec, Canada: Université du Quebec.
80. Fracker, M. L. (1987). *Situation Awareness : a decision model*. Dayton, OH: Unpublished manuscript.
81. Frederico, P. A. (1995). Expert and novice recognition of similar situations. *Human Factors*, 37(1), 105-122.
82. Frensch, P. A., & Sternberg, R. J. (1989). Expertise and intelligent thinking : When is it worse to know better? In R. J. Sternbger (Ed.), *Advances in Psychology of Human Intelligence : Vol 5* (pp. 163-188). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
83. Gabaude, C. (2001). *Contribution à l'étude de la perception visuo-attentionnelle: Exploration des effets du vieillissement et développement d'un outil d'aide au diagnostic et de suivi*. University Claude Bernard, Lyon.
84. Gabaude, C. (2003). Exploration des capacités visuelles et attentionnelles des conducteurs âgés: Intérêts et techniques. *RTS, numéro spécial conduite automobile et vieillissement*, 81, 165-176.
85. Gabaude, C., Pauzie, A., Claudel, F., & Bailly, B. (2003). *Diagnostic et suivi des capacités visuo-attentionnelles des conducteurs âgés : développement d'un programme de prévention* (No. Convention Fondation MAIF/INRETS Rapport Final). Bron: INRETS-LESCOT.
86. Gaonac'h, D., & Larigauderie, P. (2000). *Mémoire et fonctionnement cognitif, la mémoire de travail:*

Armand Colin.

87. Gibson, J., Orasanu, J., Villeda, E., & Nygren, T. E. (1997). *Loss of situation awareness : causes and consequences*. Paper presented at the Proceedings of the Eighth International Symposium on Aviation Psychology, Columbus : The Ohio State University.
88. Gineste, M.-D., & Indurkha, B. (1993). Modèles mentaux, analogie et cognition. In T. e. C. Ehrlich (Ed.), *Les modèles mentaux : approches cognitives des représentations* (pp. 143-173). Paris: Masson.
89. Gugerty, L. J. (1997). Situation awareness during driving : explicit and implicit knowledge in dynamic spatial memory. *Journal of Experimental Psychology : Applied*, 3(1), 42-66.
90. Hakamies-Blomqvist, L. (1994). Compensation in older drivers as reflected in their fatal accidents. *Accident Analysis and Prevention*, 26(1), 107-112.
91. Hancock, P. A., Lesch, M., & Simmons, L. (2003). The distraction effects of phone use during a crucial driving maneuver. *Accid Anal Prev*, 35(4), 501-514.
92. Harbluk, J. L., & Noy, I. Y. (2002). *L'impact de la distraction cognitive sur le comportement visuel du conducteur et sur le contrôle du véhicule* (No. TP#13889F). Canada: Direction de la Sécurité Routière et de la Réglementation Automobile.
93. Hasher, L., & Zacks, R. T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review and new view. *The Psychology of Learning and Motivation*, 193-225.
94. Helanders, M., & Söderberg, S. (1972). *Driver visual behaviour and electrodermal response during highway driving* (No. 2(4)): Göteborg Psychological Reports.
95. Hoc, J. M., & Amalberti, R. (1994). Diagnostic et prise de décision dans les situations dynamiques. *Psychologie Française*, 39(2), 177-192.
96. Holland, C. A. (2001). *Older drivers: A review* (Road Safety Research Report No. 25). Manchester: Age and cognitive performance research centre.
97. Holland, J. H., Holyoak, K. F., Nisbett, R. E., & Thagard, P. R. (1986). *Induction : processes of inference, learning and discovery*. Cambridge: MIT Press.
98. Huvey, B. (2004). Portrait d'un centre de formation innovant. *La Tribune des Auto-Ecoles*, 98, 24-26.
99. Jones, D. G., & Endsley, M. R. (1996). Sources of situation awareness errors in aviation. *Aviation Space Environment Medicine*, 67(6), 507-512.
100. Jones, D. G., & Endsley, M. R. (2000). Overcoming Representational Errors in Complex Environments. *Human Factors*, 42(3), 367-378.
101. Jones, R. A. (1977). *Self-fulfilling prophecies : social, psychological and physiological effects of expectancies*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
102. Kahneman, D. (1973). *Attention & effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
103. Kahneman, D., & Treisman, A. (1984). Changing views of attention and automaticity. In R. Parasuraman & D. R. Davies (Eds.), *Varieties of attention* (pp. 29-61). New York: Academic Press.
104. Kok, A. (1999). Varieties of inhibition: manifestations in cognition, event-related potentials and aging. *Acta Psychologica*, 101(2-3), 129-158.
105. Kosslyn, S. M. (1980). *Image and Mind*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
106. Kosslyn, S. M., Ball, T., & Reiser, B. J. (1978). Visual images preserve metric spatial information : evidence from studies of image scanning. *Journal of Experimental Psychology : human perception and performance*, 4, 47-60.
107. Kuuti. (1996). Activity theory as potential framework for human-computer interaction research. In B. A. Nardi (Ed.), *Context and Consciousness*. Cambridge: MIT Press.
108. Lacotte, B. (2003). *Rapport de Stage* (No. INRETS/RR/03-539-FR). Bron: INRETS-LESCOT.
109. Lamble, D., Kauranen, T., Laakso, M., & Summala, H. (1999). Cognitive load and detection thresholds in car following situations: safety implications for using mobile (cellular) telephones while driving. *Accid Anal Prev*, 31(6), 617-623.
110. Le Ny, J.-F. (1985). Comment (se) représenter les représentations. In S. Ehrlich (Ed.), *Les représentations* (Vol. 30, pp. 231-328): Psychologie Française.
111. Lee, M. B., Suh, K. S., & Whang, J. (2003). The impact of situation awareness information on consumer attitudes in the Internet shopping mall. *Electronic Commerce Research and Applications*, 2, 254-265.

112. Lemercier, C., Ansiau, D., El Massioui, F., & Marquié, J.-C. (2003). Vieillesse et attention. *Psychologie Française*, 48(1), 89-101.
113. Leontiev, K., Lerner, A., & Ochanine, D. A. (1961). Quelques objectifs de l'étude des systèmes "homme-automate". *Questions de Psychologie*, 1.
114. Leplat, J. (1988). Les habiletés cognitives dans le travail. In Mardage (Ed.), *Les Automatismes Cognitifs* (pp. 139-172). Liège.
115. Lerner, N. (1994). Giving the older driver enough perception-reaction time. *Experimental Aging Research*, 20, 25-33.
116. Lesch, M. F., & Hancock, P. A. (2004). Driving performance during concurrent cell-phone use : are drivers aware of their performance decrements? *Accident Analysis and Prevention*, 36, 471-480.
117. Lesgold, A. M., Feltovitch, P. J., Glaser, R., & Wang, Y. (1981). *The acquisition of perceptual diagnostic skill in radiology* (No. PSD-1). Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh, Learning Research and Development Center.
118. Lestina, D. C., & Miller, T. R. (1994). *Characteristics of crash-involved younger drivers*. Paper presented at the 38th Annual Proceedings of the Association for the Advancement of Automotive Medicine.
119. Levin, D. T., & Varakin, D. A. (2004). No pause for a brief disruption : failures of visual awareness during ongoing events. *Consciousness and Cognition*, 13(2), 363-372.
120. Linard, M. (1998a). *L'écran de TIC, dispositif d'interaction et d'apprentissage : la conception des interfaces à la lumière des théories de l'action*, 2000, from <http://services.worldnet.net/ote/linard.htm>
121. Linard, M. (1998b). Reframing the computational representations of cognition within actions-based theories. In G. a. H. Hasan (Ed.), *Information Systems and Activity Theory : tools in context* (pp. 59-70). Australia: Department of Business Systems, University of Wollongong.
122. Linard, M., Bélisle, C., & Zeiliger, R. (1998). *Human activity, a common framework to rethink learning and software design*. Paper presented at the 4me Congrès de la Société Internationale pour la Recherche Culturelle et la Théorie de l'Activité, Université d'Aarhus, Danemark.
123. Logan, G. D. (1988). Automaticity, resources, and memory : Theoretical controversies and practical implications. *Human Factors*, 30, 538-598.
124. Lumoa, J. (1986). *The acquisition of visual information by the driver : interaction of relevant and irrelevant information* (No. 32/1986). Helsinki : Finland: Central Organisation of Traffic Safety.
125. Malaterre, G. (1987). *Les activités sous contraintes de temps : le cas des manoeuvres d'urgences en conduite automobile*. Unpublished Doctorat de 3ème cycle, Université René Descartes, Paris.
126. Martin, R. (1984). Représentations et Professions. In C. Bélisle & B. Schiele (Eds.), *Les savoirs dans les pratiques quotidiennes - Recherches sur les représentations* (pp. 160-194). Paris: Edition du CNRS.
127. Matthews, M. L., Bryant, D. J., Webb, R. D. G., & Harbluk, J. L. (2001). A model for situation awareness and driving : application to analysis and research for intelligent transportation systems. *Transportation Research Record*, 1779, 26-32.
128. Mayer, R. E. (1983). *Thinking, problem solving, cognition*. New-York: Freeman.
129. McGowan, A., & Bandury, S. (2004). Evaluating Interruption-based Techniques using Embedded Measures of Driver Anticipation. In S. B. a. S. Tremblay (Ed.), *A cognitive Approach to Situation Awareness : Theory and Application* (Vol. Chapter 9). Aldershot, England: Ashgate.
130. McKnight, A. J., & McKnight, A. S. (1993). The effect of cellular phone use upon driver attention. *Accident Analysis and Prevention*, 25(3), 259-265.
131. Miller, G. A. (1956). The magical number of seven, plus or minus two : some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81-97.
132. Minsky, M. (1975). A framework for representing knowledge. In P. H. Winston (Ed.), *The psychology of computer vision* (pp. 211-277). New York: Mc Graw-Hill.
133. Minsky, M. (1988). *La Société de L'Esprit*. Paris: InterEditions.
134. Miura, T. (1990). Active function of eye movement and useful field of view in realistic setting. In R. G. e. al (Ed.), *From eye to mind information acquisition in perception search and reading* (pp. 119-127). Amsterdam: Elsevier.

135. Mogford, R. H. (1997). Mental models and situation awareness in air traffic control. *The International Journal of Aviation Psychology*, 7(4), 331-334.
136. Morrow, D., Leirer, V., Altieri, P., & Fitzsimmons, C. (1994). When expertise reduces age differences in performance. *Psychology and Aging*, 9(1), 134-148.
137. Mourant, R. R., & Rockwell, T. H. (1972). Strategies of visual search by novices and experienced drivers. *Human Factors*, 14(4), 325-335.
138. Munduteguy, C. (2001). *Reconnaissance d'intention et de prédiction d'action pour la gestion des interactions en environnement dynamique*. Unpublished Doctorat, Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris.
139. Myles-Worsley, M., Johnston, W. A., & Simons, M. A. (1988). The influence of expertise on X-ray image processing. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 14(3), 553-557.
140. Näätänen, R. (1992). *Attention and brain function*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
141. Neboit, M. (1978). Simulation et apprentissage de la conduite. *Le Travail humain*, 41(2), 239-248.
142. Neboit, M. (1980). *L'exploration visuelle dans l'apprentissage de tâches complexes: L'exemple de la conduite automobile*. Unpublished Thèse de Doctorat, Ecole Pratique des Hautes Etudes, Paris.
143. Neissen, C., & Eyferth, K. (2001). A model of the air traffic controller's picture. *Safety Science*, 37, 187-202.
144. Neisser, U. (1976). *Cognition and Reality : Rprinciples and implications of cognitive psychologie*. San Francisco: Freeman.
145. Norman, D. A. (1976). *Memory and Attention*. New-York: Wiley.
146. Norman, D. A. (1983). Somme observations on mental models. In A. L. S. D.GENTNER (Ed.), *Mental Models* (pp. 7-14). London: Lawrence Erlbaum.
147. Obriot-Claudiel, F., & Gabaude, C. (2003). Supporting Elderly Drivers Towards Driver Retraining. In L. Dorn (Ed.), *Driver Behaviour and Training* (pp. 398-405). Stratford-upon-Avon, England: Ashgate.
148. Obriot-Claudiel, F., & Gabaude, C. (2004). *The Driver Behaviour Questionnaire : A French study applied to elderly drivers*. Paper presented at the ICTTP, Nottingham.
149. Ochanine, D. A. (1969). Role de l'image opérative dans la saisie du contenu informationnel des signaux. *Questions de Psychologie*, 4.
150. Ochanine, D. A. (1977). Concept of operative image in engineering and general psychologie. In V. F. R. V. F. V. B.F. Lomov (Ed.), *Engineering psychology*. Moscow: Science Publisher.
151. Ochanine, D. A., & Chebek, L. (1968). Le reflet dans l'image de la structure opérative de l'objet. *Question de Psychologie*, 5, 1968.
152. Ochanine, D. A., & Koslov, V. (1971). L'image opérative effectrice. *Question de Psychologie*, 3.
153. Ochanine, D. A., Krémen, M., & Koulakov, V. (1973). Dynamique des images opératives dans les processus de poursuite avec extrapolation. In *Régulation de l'activité*. Moscou.
154. Ochanine, D. A., & Morossanova, V. (1973). Image Dynamique des structures saptio-temporelles. In *Régulation de l'activité*. Moscou.
155. Ochanine, D. A., Quaas, W., & Zaltzman, A. (1972). Déformation fonctionnelle des images opératives. *Questions de Psychologie*, 3.
156. Ochanine, D. A., & Zaltzman, A. (1971). Opérativité de l'image d'un processus de contrôle. In *Régulation de l'activité*. Moscou.
157. O'Regan, J. K. (2002). *Cours de Perception Visuelle - Chapitre7 : Cécité au changement*. Retrieved 01/06/2004, 2004, from <http://nivea.psych.univ-paris5.fr/DEA2001-2002/DEA2001-2002/>
158. O'Regan, J. K., Deubel, H., Clark, J. J., & Rensink, R. A. (2000). Picture changes during blinks : looking without seeing and qeeing without looking. *Visual Cognition*, 7(1-3), 191-211.
159. O'Regan, J. K., & Noë, A. (2002). A sensorimorto account of vision and visual consciousness. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(5), 939-1011.
160. Owsley, C., Ball, K., & Keeton, D. M. (1995). Relationship between visual sensitivity and target localization in olders adults. *Vision Research*, 35(4), 579-587.
161. Pachiaudi, G., Morgillo, F., Deleurence, P., & Guilhon, V. (1996). *Utilisation du téléphone*

- mains-libres : impact de la communication sur la conduite automobile* (No. 212). Lyon: INRETS.
162. Paivio, A. (1978). Comparisons of mental clocks. *Journal of Experimental Psychology : human perception and performance*, 4, 61-71.
 163. Paivio, A. (1986). *Mental representation : A dual coding approach*: Oxford University Press.
 164. Parkes, A. M., Fairclough, S. H., & Ashby, M. C. (1993). Carphone use and motorway driving. In T. Lovesy (Ed.), *Contemporary Ergonomics* (pp. 403-408). London: Taylor and Francis.
 165. Parkes, A. M., & Hooijmeijer, V. (2000). *The influence of the use of mobile phones on driver situation awareness*. Retrieved 18.07, 2004, from <http://www.nrd.nhtsa.dot.gov/departments/nrd-13/driver-distraction/PDF/2.PDF>
 166. Pashler, H. (1988). Familiarity and visual change detection. *Perception and Psychophysics*, 44(4), 369-378.
 167. Piaget, J., & Inhelder, B. (1963). Les images mentales. In P. Fraisse & J. Piaget (Eds.), *Traité de psychologie expérimentale VII, L'intelligence*. Paris: PUF.
 168. Piaget, J., & Inhelder, B. (1966). *L'image mentale chez l'enfant*. Paris: PUF.
 169. Plude, D. J., Schwarz, L. K., & Murphy, L. J. (1996). Active selection and inhibition in the aging attention. In F. B.-F. T. M. Hess (Ed.), *Perspectives on cognitive change in adulthood and aging*. New-York: McGraw-Hill.
 170. Posner, M. I., & Snyder, C. R. R. (1975). *Attention and cognitive control*. Paper presented at the Information processing and cognition : the Loyola symposium, Hillsdale.
 171. Pottier, A. (2000). *Sources d'informations internes et externes à l'habitacle et distribution de l'attention en conduite automobile* (No. 231). Paris: INRETS.
 172. Pushkin, V. N. (1978). Construction of situational concepts in activity structure. In A. A. Smirnov (Ed.), *Problem of general and educational psychology* (pp. 106-120). Moscow: Pedagogical Publishers.
 173. Pylyshyn, Z. W. (1973). What the mind's eye tells the minde brain : a critique of mental imagery. *Psychological Bulletin*, 80, 1-24.
 174. Rabbitt, P. M. A. (1965). An age-decrement in the ability to ignore irrelevant information. *Journal of Gerontology*, 20, 233-238.
 175. Rakauskas, M., Gugerty, L., & Ward, N. (2004). Effects of naturalistic cell phone conversations on driving performance. *Journal of Safety Research*, 35(4), 453-464.
 176. Ranney, T. A., Mazzae, E., Garrott, R., & Goodman, M. J. (2000). NHTSA driver distraction Research : past, present, and future.
 177. Rasmussen, J. (1986). *Information processing and human-machine interaction*. Amsterdam: North Holland.
 178. Raufaste, E. (2001). *Les mécanismes cognitifs du diagnostic médical, optimisation et expertise* (Le Travail Humain, Presses Universitaires de France ed.). Paris.
 179. Reason, J. (1984). Absent-mindedness and cognitive control. In J. E. H. a. P. E. Morris (Ed.), *Everyday memory, action and absent mindedness* (pp. 111-132). London: Academic.
 180. Reason, J. (1993). *L'erreur Humaine* (J.-M. HOC, Trans.). Paris: Presses Universitaires de France.
 181. Recarte, M. A., & Nunes, L. M. (2000). Effects of verbal and spatial-imagery tasks on eye fixations while driving. *J Exp Psychol Appl*, 6(1), 31-43.
 182. Reed, M. P., & Green, P. A. (1999). Comparison of driving performance on-road and in a low-cost simulator using a concurrent telephone dialling. *Ergonomics*, 42(8), 1015-1037.
 183. Reed, S. K. (1999). *Cognition, théories et applications*. Paris, Bruxelles: De Boeck Université.
 184. Regan, M. A., Triggs, T. J., & Godley, S. T. (2000, 26-28 novembre 2000). *Simulator-based evaluation of drivesmart novice driver CD-rom training support*. Paper presented at the Road Safety, Research, Policing, Education Conference, Queensland, Australia.
 185. Regan, M. A., Triggs, T. J., Mitsopoulos, E., Duncan, C. C., Godley, S. T., , et al. (2000, 26-28 novembre 2000). *Provus' discrepancy evaluation of the drivesmart novice driver CD-rom training product*. Paper presented at the Road Safety, Research, Policing, Education Conference, Queensland, Australia.
 186. Regan, M. A., Triggs, T. J., & Wallace, P. R. (1999). *DriveSmart : a CR ROM skills training product*

for novice car drivers. Paper presented at the Traffic Safety on Two Continents conference, Malom, Sweden.

187. Rensink, R. A., O'Regan, J. K., & Clark, J. J. (1997). To see or not to see : the need for attention to perceive changes in scenes. *Psychological Review*, 8(368-373).
188. Reynolds, H. N. (1993). Effects of foveal stimulation on peripheral visual processing and laterality in deaf and hearing subjects. *American Journal of Psychology*, 106, 523-540.
189. Richard, J.-F. (1980). *L'attention*. Paris.
190. Richard, J.-F. (1990). *Les Activités Mentales*. Paris: Armand Colin.
191. Robinson, G. H., Erickson, D. J., Thurston, G. L., & Clark, R. L. (1972). Visual search by automobile drivers. *Human Factors*, 14, 315-323.
192. Rouse, W. B., & Morris, N. M. (1986). On looking in the black box : prospects and limits in the search of mental models. *Psychological Bulletin*, 100, 349-363.
193. Rumelhart, D. E. (1975). Notes on a schema for stories. In D. G. Bobrow & A. Collins (Eds.), *Representation and understanding : studies in cognitive science* (pp. 211-236). New York: Academic Press.
194. Rumelhart, D. E. (1978). Schemata : the building blocks of cognition. In R. J. Spiro, B. Bruce & W. Brewer (Eds.), *Theoretical issues in reading comprehension*. Hillsdale : NJ: Lawrence Erlbaum.
195. Rumelhart, D. E., & Norman, D. A. (1983). *Representation in memory* (No. ONR 8302): University of California.
196. Saad, F., Delhomme, P., Van Eslande, P., Gauje, T., Nachtergaele, C., & Picard-Dore, J. (1992). *Analyse des comportements en situation réelle de conduite : le franchissement d'intersections* (No. 158). Paris: INRETS.
197. Salthouse, T. A. (1984). Effects of age and skill in typing. *Journal of Experimental Psychology: General*, 113(3), 345-371.
198. Salthouse, T. A., & Babcock, R. L. (1991). Decomposing adult age difference in working memory. *Developmental Psychology*, 26, 763-776.
199. Salthouse, T. A., & Coon, V. E. (1994). Interpretation of differential deficits : the case of aging and mental arithmetic. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 20, 1172-1182.
200. Salthouse, T. A., & Meinz, E. J. (1995). Aging, inhibition, working memory, and speed. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 50(6), P297-306.
201. Salthouse, T. A., Rogan, J. D., & Prill, K. A. (1984). Division of attention: age differences on a visually presented memory task. *Memory and Cognition*, 12, 613-620.
202. Salthouse, T. A., & Somberg, B. L. (1982). Skilled performance: Effects of adult age and experience on elementary processes. *Journal of Experimental Psychology: General*, 111(2), 176-207.
203. Sanford, A. J., & Garrod, S. C. (1981). *Understanding written language*. New York: Wiley.
204. Sarter, N. B., & Woods, D. D. (1991). Situation Awareness : a critical but ill-defined phenomenon. *The International Journal of Aviation Psychology*, 1(1), 45-57.
205. Schank, R. C., & Abelson, R. P. (1977). *Scripts, plans, goals and understanding*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
206. Schneider, W., Dumais, S. T., & Shiffrin, R. M. (1984). Automatic and control processing and attention. In R. Parasuraman & D. R. Davies (Eds.), *Varieties of attention* (pp. 1-27). New York: Academic Press.
207. Schneider, W., & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search and attention. *Psychological Review*, 84, 1-66.
208. Sébillotte, S. (1981). Analyse de l'action de sélection de l'information dans la surveillance obstétricale. In P. D. F. Gremy, B. Barber & R. Salamon (Eds.), *Medical Informatics Europe 81* (pp. 413-420). Springer-Verlag, Berlin: Heidelberg N.Y.
209. Sébillotte, S. (1982). *Les processus de diagnostic au cours du déroulement de la grossesse*. Université Paris V Sorbonne, Paris.
210. Shepard, R., & Feng, C. (1972). A chronometric study of mental paper-folding. *Cognitive Psychology*, 3, 228-243.

211. Shepard, R., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701-703.
212. Shiffrin, R. M., & Dumais, S. T. (1981). The development of automation. In J. R. Anderson (Ed.), *Cognitive skills and their acquisition* (pp. 111-140). Hillsdale, N.J: Erlbaum.
213. Shiffrin, R. M., & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing : II. Perceptual learning, automatic attending, and a general theory. *Psychological Review*, 84, 127-190.
214. Shinoda, H., Hayhoe, M. M., & Shrivastava, A. (2001). What controls attention in natural environments? *Vision Res*, 41(25-26), 3535-3545.
215. Simons, D. J. (1996). In sight, out of mind : when object representations fail. *Psychological Science*, 7(5), 301-305.
216. Simons, D. J., Chabris, C. F., Schnur, T., & Levin, D. T. (2002). Evidence for preserved representations in change blindness. *Consciousness and Cognition*, 11, 78-97.
217. Simons, D. J., & Levin, D. T. (1998). Failure to detect changes to people during a real-world interaction. *Psychonomic Bulletin & Review*, 5(4), 644-649.
218. Smirnov, A. A. (1966). La mémoire et l'activité. In E. d. Progrès (Ed.), *Recherches Psychologiques en URSS* (pp. 47-89). Moscou.
219. Smith, K., & Hancock, P. A. (1995). Situation Awareness is adaptative, externally directed consciousness. *Human Factors*, 37(1), 137-148.
220. Smyser, T., Lee, J. D., Hoffman, J., & Betts, R. (2003). *Do you see that ? A study of change blindness*. Paper presented at the Second International Dribing Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, Utha, USA.
221. Somberg, B. L., & Salthouse, T. A. (1982). Divided attention abilities in young and old adults. *Journal of Experimental Psychology : human perception and performance*, 8(651-663).
222. Sommer, S., Rothermel, S., & Verwey, W. (2002). *Driver Situation Awareness Under Normal Driving Conditions : effects of situation complexity and driving task* (additionnal WP5 pilot). Dortmund: Institut für Arbeitsphysiologie an der Univivertät Dortmund.
223. Spérandio, J. C. (1975). Complément à l'étude de la mémoire opérationnelle : deux expériences sur les contrôleurs de navigation aérienne. *Le Travail humain*, 38(1), 41-62.
224. Spérandio, J. C. (1981). *L'Image Opérative*, Université Paris I (Panthéon-Sorbonne).
225. Spérandio, J. C. (1984). *L'ergonomie du travail mental*. Paris.
226. Sperber, D., & Wilson, D. (1989). *La pertinence* (A. G. e. D. Sperver, Trans.). Paris: Edition de Minuit.
227. Sperber, D., & Wilson, D. (1995). *Relevance, Communication and Cognition*. Oxford, UK: Blackwell.
228. Streff, F., & Spradlin, H. (2000). *Driver Distraction, Aggression, and Fatigue : A synthesis of the Literature and Guidelines for Michigan Planing* (No. UMTRI-2000-10). Lansing: University of Michigan, Transportation Research Institute.
229. Stutts, J. C., Reinfurt, D. W., Staplin, L., & Rogdman, E. A. (2001). *The role of driver distraction in traffic crash*. Washington: AAA Foundation for Traffic Safety.
230. Summala, H., Nieminen, T., & Punto, M. (1996). Maintaining lane position with peripheral vision during in-vehicle tasks. *Human Factors*, 38, 442-451.
231. Treat, J. R., Tumbas, N. S., McDonald, S. T., Shinar, D., Hume, R. D., Mayer, R. E., et al. (1979). *Tri-level study on the causes of traffic accidents : final report* (No. Volumes I and II.US.DOT HS-805-086).
232. Treisman, A. (1960). Contextual cues in selective listening. *Quaterly Journal of Experimental Psychology*, 12, 242-248.
233. Triggs, T. J. (1994). *Human performance and driving : the role of simulation in improving young driver safety*. Paper presented at the 12th Triennial Congress of the International Ergonomics Association, Toronto.
234. Uhlarik, J., & Comeford, D. A. (2002). *A review of situation awareness literature relevant to pilot surveillance functions* (No. DOT/FAA/AM-02/3): Office of Aerospace Medicine, Washington.
235. Underwood, G., Chapman, P., Bowden, K., & Crundall, D. (2002). Visual search while driving : skill

- and awareness during inspection of the scene. *Transportation Research Part F*, 5, 87-97.
236. US Air Force 57th Fighter Weapons Wing. (1986). *Intraflight Command, Control, and Communications Symposium Final Report*: Nellis Air Force Base, NV : Author.
 237. Van Elslande, P. (1992). Les erreurs d'interprétations en conduite automobile : mauvaise catégorisation ou activation erronée de schémas? *Intellectica*, 3(15), 125-149.
 238. Van Elslande, P. (1997). *Dynamique des connaissances, catégorisation et attentes dans une conduite humaine située : L'exemple des "erreurs accidentelles" en conduite automobile*. Unpublished Thèse Doctorat, Université René Descartes - Paris V, Paris.
 239. Van Elslande, P. (2002). *L' "erreur humaine" dans l'accident de la route, Son analyse à des fins de recherche et d'application*. Unpublished manuscript, Intervention au DESS d'Ergonomie Cognitive, Université de Provence.
 240. Van Elslande, P. (2003). Les erreurs des conducteurs âgés: Elderly drivers errors. *Recherche - Transports - Sécurité*, 81, 190-202.
 241. Velichkovsky, B. M., Dornhoefer, S. M., Kopf, M., Helmert, J., & Joos, M. (2002). Change detection and occlusion modes in road-traffic scenarios. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 5(2), 99-109.
 242. Vergnaud, G. (1985). Concepts et schèmes dans une théorie opératoire de la représentation. *Psychologie Française*, 30(3/4), 245-252.
 243. Vermersch, P. (1981). *Image opérative ou représentation fonctionnelle? A propos de quelques difficultés sémantiques*. Paper presented at the L'Image Opérative, Université Paris I (Panthéon-Sorbonne).
 244. Wallis, G., & Bulthoff, H. (2000). What's scene and not seen : influences of movement and task upon what we see. *Visual Cognition*, 7(1-3), 175-190.
 245. Wang, J. S., Knippling, R. R., & Goodman, M. J. (1996). *The role of driver inattention in crashes : new statistics from the 1995 crashworthiness data system*. Paper presented at the 40th Annual Proceedings of the Association for the Advancement of Automotive Medicine.
 246. Weill-Fassina, A. (1981). *Image opérative ou représentation fonctionnelle? Intérêt pour la conception et l'utilisation d'intermédiaire graphiques*. Paper presented at the L'Image Opérative, Université Paris I (Panthéon-Sorbonne).
 247. Weill-Fassina, A. (1993). Dynamique des représentations et gestion des actions. In A. Weill-Fassina, P. Rabardel & D. Dubois (Eds.), *Représentations pour l'action* (pp. 237-245). Toulouse: Octarès.
 248. Weill-Fassina, A., Rabardel, P., & Dubois, D. (1993). *Représentations pour l'action*. Toulouse.
 249. Wickens, C. D. (1984a). *Engineering psychology and human performance*. Columbus, OH: Merrill.
 250. Wickens, C. D. (1984b). Processing resources in attention. In R. Parasuraman & D. R. Davies (Eds.), *Varieties of attention* (pp. 63-102). New York: Academic Press.
 251. Wickens, C. D. (1992). *Engineering psychology and human performance*. New-York: HarperCollins.
 252. Wickens, C. D., Gordon, S. E., & Liu, Y. (1998). *An introduction to Human Factors Engineering*. New York: Addison-Wesley.
 253. Wiknam, A. S., Nieminen, T., & Summala, H. (1998). Driving experience and time-sharing during in-car tasks on roads of different widths. *Ergonomics*, 41, 358-372.
 254. Woo, T., & Lin, J. (2001). Influence of mobile phone use while driving : the experience in Taiwan. *IATSS Research*, 25(2).
 255. Wood, D. D. (1988). Coping with complexity : the psychology of human behaviour in complex systems. In L. P. Goodstein, H. B. Andersen & S. E. Olsen (Eds.), *Tasks, errors and mental models* (pp. 128-148). London, New York and Philadelphia: Taylors & Francis.
 256. Woodman, G. F., Vecera, S. P., & Luck, S. J. (2003). Perceptual organization influences visual working memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 10(1), 80-87.
 257. Zintchenko, P. (1939). Le problème de la mémorisation spontanée. *Carnets Scientifiques de l'Institut Pédagogique des langues étrangères de Kharkov*, 1.
 258. Zintchenko, P. (1945). La mémorisation spontanée. *Pédagogie Soviétique*, 9.
 259. Zintchenko, P. (1966). Quelques problèmes de psychologie de la mémoire. In E. d. Progrès (Ed.), *Recherches Psychologiques en URSS* (pp. 7-46). Moscou.

Publications

Article, rapport,

1. Bailly, B., Bellet, T., & Goupil, C. (2003). Drivers' mental representations : experimental study and training perspectives. In L. Dorn (Ed.), *Driver Behaviour and Training* (pp. 359-369). Stratford-upon-Avon, England: Ashgate.
2. Gabaude, C., Pauzie, A., Claudel, F., & Bailly, B. (2003). *Diagnostic et suivi des capacités visuo-attentionnelles des conducteurs âgés : développement d'un programme de prévention* (No. Convention Fondation MAIF/INRETS Rapport Final). Bron: INRETS-LESCOT.
3. Bailly, B., Bellet, T. (*accepted*), *A multimedia tool to analyze drivers' situation awareness: ICARE, WorkShop on Modelling Driver Behaviour in Automotive Environments*, Mai 2005, ISPRA

Présentation Poster

1. Bailly, B., Bellet, T. (*accepted*), *A multimedia tool to analyze drivers' situation awareness: ICARE, WorkShop on Modelling Driver Behaviour in Automotive Environments*, Mai 2005, ISPRA
2. Bailly, B., Bellet, T., (2003), *Outil interactif de sensibilisation aux risques routiers : ICARE*, 11ème Carrefour de la Fondation Rhône-Alpes Futur, Lauréate catégorie « technologie de l'information », Lyon
3. Bailly, B., Bellet, T., (2002), *Effet de l'expérience et des ressources cognitives disponibles sur les représentations mentales des conducteurs automobiles*, Journée du RISC, Paris

Plaquette de vulgarisation scientifique

1. Bailly, B., Bellet, T., (2003), *La conscience de la situation*, Bron : INRETS-LESCOT

Index des Auteurs

A

Abric, J. C., 47, 269

Adams, M. J., Tenney, Y. J., & Pew, R., 10, 25-26, 269, 288

Alm, H., & Nilsson, L., 77-78, 269

Anokhin, P. K., 29, 269

B

Baddeley, A., 43, 44, 45, 269, 300, 301, 302, 308

Baddeley, A. D., & Hitch, G., 43, 269

Bartlett, F. C., 17, 269, 306, 308

Bastien, C., 82, 109, 269

Batchelder, S., Rizzo, M., Vanderleest, R., & Vecera, S. P., 107, 269

Bedny, G. Z., & Karwowski, W., 28, 269

Bedny, G. Z., Karwowski, W., & Jeng, O. J., 28, 269

Bedny, G. Z., Seglin, M. H., & Meister, D., 29, 286

Bedny, G., & Meister, D., 5, 28, 30, 269

Bellet, T., 65, 66, 67, 83, 113, 286, 302, 288, 296, 312

Bellet, T., & Tattegrain-Veste, H., 67, 286

Bisseret, A., 5, 40, 43, 44, 45, 52, 109, 286

Bisseret, A., Sebillotte, S., & Falzon, P., 109, 286

Blandford, A., & William Wong, B. L., 9, 286

Bolstad, C. A., 5, 69, 93, 100, 101, 102, 103, 286, 288, 292

Bolstad, C. A., & Hess, T. M., 69, 100, 286

Broadbent, D. E., 72, 286, 288

Brookhuis, K. A., De Vries, G., & De Waard, D., 77, 286

Brown, I. D., Tickner, A. H., & Simmonds, D. C., 77, 286

Bruner, J. S., 14, 51, 64, 286, 287

C

Caird, J. K., Edward, C. J., Creaser, J. I., & Horrey, W. J., 107, 287

Carreras, O., 60, 287

Casson, R. W., 19, 287

Cazamian, P., 36, 39, 287

Cellier, J. M., 60, 287

Cerella, J., 95, 287

Chan, H. S., & Courtney, A. J., 89, 287

Chanquoy, L., & Alamargot, D., 45, 287

Chapman, J. R., & Underwood, G., 88, 287

Chapman, P. R., Underwood, G., & Roberts, K., 250, 287

Chapon, A., 76, 287

Chapon, A., Bruyas, M. P., Lelekov-Boissard, T., Letisserand, D., Deleurence, P., Chanut, O., et al., 71, 287

Charness, N., 96, 287

Charness, N., & Bieman-Copeland, S., 96, 287

Chase, W. G., & Simon, H. A., 84, 288

Cooper, P. J., & Zheng, Y., 77, 288

Cowan, N., 14, 44, 288, 302, 304

Crane, P. M., 4, 9, 24, 288

Crundall, D., & Underwood, G., 89, 151, 152, 288

D

De Graef, P., 91, 288

Decortis, F., & Cacciabue, C., 60, 288

Denis, M. ., 5, 48, 50, 51, 288

Deutsch, J. A., & Deutsch, D., 72, 288

Dominguez, C., Vidulich, M., Vogel, E., & McMillan, G. 53-55, 288

Dreyfus, H. L., & Dreyfus, S. E., 85, 288

E

Eby, D., Trombley, D. A., Molnar, L. J., & Shope, J. T., 93, 288

Enard, C., 110, 288

Endsley, M. R., I, 4, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 29, 30, 44, 53, 55, 59, 69, 104, 151, 286, 289, 291, 288, 292, 304

Endsley, M. R., & Jones, D. G., 10, 289

Endsley, M. R., & Rodgers, M. D., 21, 289

Endsley, M. R., & Smith, R. P., 21, 289

Endsley, M. R., & Smolensky, M. W., 9, 289

Endsley, M. R., Bolté, B., & Jones, D. G., 10, 289

Ericsson, K. A., & Kintsch, W., 44, 289

Erikson, B., & Höberg, U., 88, 289

F

Fairclough, S. H., Ashby, M. C., Ross, T., & Parkes, A. M., 78, 289

Ferrandez, F., Brenac, T., Girard, Y., Lechner, D., Jourdan, J. L., Michel, J. E., et al., 97, 289

Feyereisen, P., & Van der Linden, M., 95, 289

Fieux, C., 130, 290

Fortin, C., & Rousseau, R., 50, 73, 290

Fracker, M. L., 15, 290

Frederico, P. A., 4, 9, 24, 290

Frensch, P. A., & Sternberg, R. J., 85, 290

G

Gabaude, C., 94, 134, 155, 162, 178, 179, 290, 302

Gabaude, C., Pauzie, A., Claudel, F., & Bailly, B., 178, 290, 302

Gibson, J., Orasanu, J., Villeda, E., & Nygren, T. E., 79, 290

Gineste, M.-D., & Indurkha, B., 54, 290

Gugerty, L. J., 21, 27, 69, 78, 290, 296

H

Hakamies-Blomqvist, L., 164, 290

Hancock, P. A., Lesch, M., & Simmons, L., 77, 290

Harbluk, J. L., & Noy, I. Y., 77, 291

Hasher, L., & Zacks, R. T., 163, 291

Helanders, M., & Söderberg, S., 88, 291

Hoc, J. M., & Amalberti, R., 61, 291

Holland, C. A., 17, 97, 100, 291, 296

Holland, J. H., Holyoak, K. F., Nisbett, R. E., & Thagard, P. R., 17, 291

Huvey, B., 276, 291

J

Jones, D. G., & Endsley, M. R., 16, 17, 21, 23, 291, 288

Jones, R. A., 10, 14, 16, 17, 21, 22, 23, 289, 291, 288

K

Kahneman, D., 71, 73, 291

Kahneman, D., & Treisman, A., 71, 291

Kok, A., 94, 291

Kosslyn, S. M., 49, 50, 51, 291, 288

Kosslyn, S. M., Ball, T., & Reiser, B. J., 49, 291

Kuuti., 28, 291

L

Lacotte, B., 193, 291

Lamble, D., Kauranen, T., Laakso, M., & Summala, H., 77, 292

Le Ny, J.-F., 47, 292

Lee, M. B., Suh, K. S., & Whang, J., 9, 292

Lemercier, C., Ansiau, D., El Massioui, F., & Marquié, J.-C., 94, 292

Leontiev, K., Lerner, A., & Ochanine, D. A., 33, 292

Leplat, J., 85, 292

Lerner, N., 95, 292

Lesch, M. F., & Hancock, P. A., 78, 292

Lesgold, A. M., Feltovitch, P. J., Glaser, R., & Wang, Y., 83, 292

Lestina, D. C., & Miller, T. R., 89, 292

Levin, D. T., & Varakin, D. A., 107, 292

Linard, M., 28, 292

Linard, M., Bélisle, C., & Zeiliger, R., 28, 292

Logan, G. D., 18, 19, 85, 151, 293

Lumoa, J., 88, 293

M

Malaterre, G., 61, 293

Martin, R., 52, 293

Matthews, M. L., Bryant, D. J., Webb, R. D. G., & Harbluk, J. L., 69, 77, 293

Mayer, R. E., 17, 293, 299

McGowan, A., & Bandury, S., 69, 293

McKnight, A. J., & McKnight, A. S., 78, 293

Miller, G. A., 36, 89, 292, 293

Minsky, M., 17, 293, 306, 307, 308, 309

Miura, T., 88, 89, 293

Mogford, R. H., 17, 293

Morrow, D., Leirer, V., Altieri, P., & Fitzsimmons, C., 96, 293

Mourant, R. R., & Rockwell, T. H., 88, 89, 152, 154, 293

Myles-Worsley, M., Johnston, W. A., & Simons, M. A., 83, 294

N

Näätänen, R., 71, 73, 75, 294

Neboit, M., 59, 62, 63, 64, 89, 90, 91, 152, 154, 294, 288

Neissen, C., & Eyferth, K., 9, 294

Neisser, U., 4, 23, 25, 26, 294, 288

Norman, D. A., 13, 54, 294, 297, 300, 306

O

Ochanine, D. A., I, 5, 30, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 51, 52, 84, 292, 294

Ochanine, D. A., & Chebek, L., 34, 37, 294

Ochanine, D. A., & Koslov, V., 34, 35, 36, 294

Ochanine, D. A., & Morossanova, V., 35, 294

Ochanine, D. A., & Zaltzman, A., 36., 294

Ochanine, D. A., Krémen, M., & Koulakov, V., 35; 294

Ochanine, D. A., Quaas, W., & Zaltzman, A., 35, 294

Owsley, C., Ball, K., & Keeton, D. M., 102, 295

P

Pachiaudi, G., Morgillo, F., Deleurence, P., & Guilhon, V., 77, 295

Paivio, A., 48, 50, 51, 295

Parkes, A. M., & Hooijmeijer, V., 69, 77-81, 151, 295

Parkes, A. M., Fairclough, S. H., & Ashby, M. C., 80, 295

Pashler, H., 105, 295

Piaget, J., & Inhelder, B., 40, 48, 295

Plude, D. J., Schwarz, L. K., & Murphy, L. J., 100, 295

Posner, M. I., & Snyder, C. R. R., 75, 94, 295

Pottier, A., 90, 295

Pushkin, V. N., 29, 295

Pylyshyn, Z. W., 50, 51, 296

R

Rabbitt, P. M. A., 94, 163, 296

Rakauskas, M., Gugerty, L., & Ward, N, 78, 296

Rasmussen, J., 86, 87, 296, 310

Raufaste, E., 82, 83, 86, 296

Reason, J., 19, 21, 82, 86, 296, 310, 311

Recarte, M. A., & Nunes, L. M., 77, 296

Reed, M. P., & Green, P. A., 77, 78, 296

Reed, S. K., 71, 77, 78, 296, 288

Regan, M. A., Triggs, T. J., & Godley, S. T., 255, 258, 296

Regan, M. A., Triggs, T. J., Mitsopoulos, E., Duncan, C. C., Godley, S. T., , et al., 258, 259, 296

Rensink, R. A., O'Regan, J. K., & Clark, J. J., 105, 296

Reynolds, H. N., 89, 297

Richard, J.-F., 43, 44, 47, 52, 85, 94, 297, 300, 302

Robinson, G. H., Erickson, D. J., Thurston, G. L., & Clark, R. L., 88, 297

Rouse, W. B., & Morris, N. M., 15, 297

Rumelhart, D. E., 297, 306, 327

Rumelhart, D. E., & Norman, D. A., 297, 306, 327

S

Salthouse, T. A., 95, 96, 102, 163, 297, 299

Salthouse, T. A., & Babcock, R. L., 95, 297

Salthouse, T. A., & Coon, V. E., 102, 297

Salthouse, T. A., & Meinz, E. J., 95, 297

Salthouse, T. A., & Somberg, B. L., 163, 297

Salthouse, T. A., Rogan, J. D., & Prill, K. A., 95, 163, 297

Sanford, A. J., & Garrod, S. C., 26, 297

Sarter, N. B., & Woods, D. D., 9, 26, 298

Schank, R. C., & Abelson, R. P., 17, 298

Schneider, W., & Shiffrin, R. M., 19, 298

Schneider, W., Dumais, S. T., & Shiffrin, R. M., 75-76, 298

Sébillotte, S., 110, 298

Shepard, R., & Feng, C., 50, 298

Shepard, R., & Metzler, J., 49, 298

Shiffrin, R. M., & Dumais, S. T., 85, 298

Shiffrin, R. M., & Schneider, W., 85, 151, 298

Shinoda, H., Hayhoe, M. M., & Shrivastava, A., 63, 152, 153, 298

Simons, D. J., 83, 105, 106, 294, 298

Simons, D. J., & Levin, D. T., 105, 298

Simons, D. J., Chabris, C. F., Schnur, T., & Levin, D. T., 106, 298

Smirnov, A. A., I, 5, 40, 295, 298

Smith, K., & Hancock, P. A., 24, 298

Smyser, T., Lee, J. D., Hoffman, J., & Betts, R., 107, 299

Somberg, B. L., & Salthouse, T. A., 95, 299

Sommer, S., Rothermel, S., & Verwey, W., 69, 299

Spérandio, J. C., 5, 33, 34, 35, 38, 45, 46, 110, 151, 286, 299

Sperber, D., & Wilson, D., 83, 299

Streff, F., & Spradlin, H., 70, 299

Stutts, J. C., Reinfurt, D. W., Staplin, L., & Rogdman, E. A., 70, 299

Summala, H., Nieminen, T., & Punto, M., 89, 299

T

Treat, J. R., Tumbas, N. S., McDonald, S. T., Shinar, D., Hume, R. D., Mayer, R. E., et al., 70, 299

Treisman, A., 71, 72, 291, 299

Triggs, T. J., 255, 258, 296, 299

U

Uhlarik, J., & Comeford, D. A., 24, 299

Underwood, G., Chapman, P., Bowden, K., & Crundall, D., 90, 251, 300

US Air Force 57th Fighter Weapons Wing., 9, 300

V

Van Elslande, P., 59, 61, 64, 65, 97, 99, 100, 109, 300, 288

Velichkovsky, B. M., Dornhoefer, S. M., Kopf, M., Helmert, J., & Joos, M., 107, 300

Vergnaud, G., 40, 300

W

Wallis, G., & Bulthoff, H., 105, 300

Wang, J. S., Knipling, R. R., & Goodman, M. J., 70, 300

Weill-Fassina, A., 37, 52, 300

Weill-Fassina, A., Rabardel, P., & Dubois, D., 52, 300

Wickens, C. D., 13, 15, 24, 73, 74, 301

Wickens, C. D., Gordon, S. E., & Liu, Y., 24, 301

Wiknam, A. S., Nieminen, T., & Summala, H., 78, 301

Woo, T., & Lin, J., 78, 301

Wood, D. D., 60, 301

Woodman, G. F., Vecera, S. P., & Luck, S. J., 106, 301

Z

Zintchenko, P., 5, 40, 41, 42, 43, 44, 301

Index des Matières

Age (effet de l') : 93-104, 155-180

Anticiaption : 13, 17, 24, 37, 61-62,

Architecture Cognitive : 66

Automatisme, automatisation : 75-77, 85

Attention : 13, 71-79

- Attention Active et attention passive : 70-71

- Partage de Ressources Attentionnelles : 73-74
- Ressources cognitives : 73

♦ Effet du manque de : 77-81, 138-142, 145-155, 158-165, 166-172, 174-177

Catégorisation : 16, 20, 104, 124-125,

Cécité au changement : 105-110

Conduite automobile : 59-69

Conscience de la Situation

- (Théorie de la) 11-34
- Erreur de : 22-26
- et ressources cognitives du conducteur 79-81
- et expérience de conduite 90-92
- et conducteur âgé 100-104

Contrôle cognitif : 60-61, 85-88

Connaissances, schémas : 15-20, 20, 47, 53, 66, 82-83, 88, 96, 106, 327

COSMODRIVE : 66-69

Cycle perception-Action : 25-27

Déformation fonctionnelle : 37-38

Expérience (effet de l') : 81-92, 92-104, 142-153

- Expérience de conduite : 88-92

Environnement dynamique : 60-62

Formation à la conduite

- Outil pour 253-265
- Perspectives pour la 272-278

ICARE : 195-255

- Présentation 195-205
- Résultats : 205-255
- Feed-back visuel : 233-246
- Perspectives : 276-285

Image mentale : 48-51

Image opérative : 33-40

- Caractéristiques de l' :37-38

Mémoire :

- Mémoire de travail 16, 64-65
- Mémoire opérationnelle 40-46
- Mémoire à long terme 17, 52-53
- Mémoire de travail à long terme : 44-45

Modélisation du conducteur : 66-69

OSCAR :

- Présentation : 126-132
- Expérimentation & résultats :135-195

Perception :

- et conscience de la situation : 15
- et conduite automobile : 62-69
- Stratégies visuelles :87-89

Prise de décision :

Représentation mentale :

- Représentation pour l'action : 51-52
- Image opérative : 33-40
- Méthodologie d'analyse : 105-110

Théorie de l'activité : 27-28

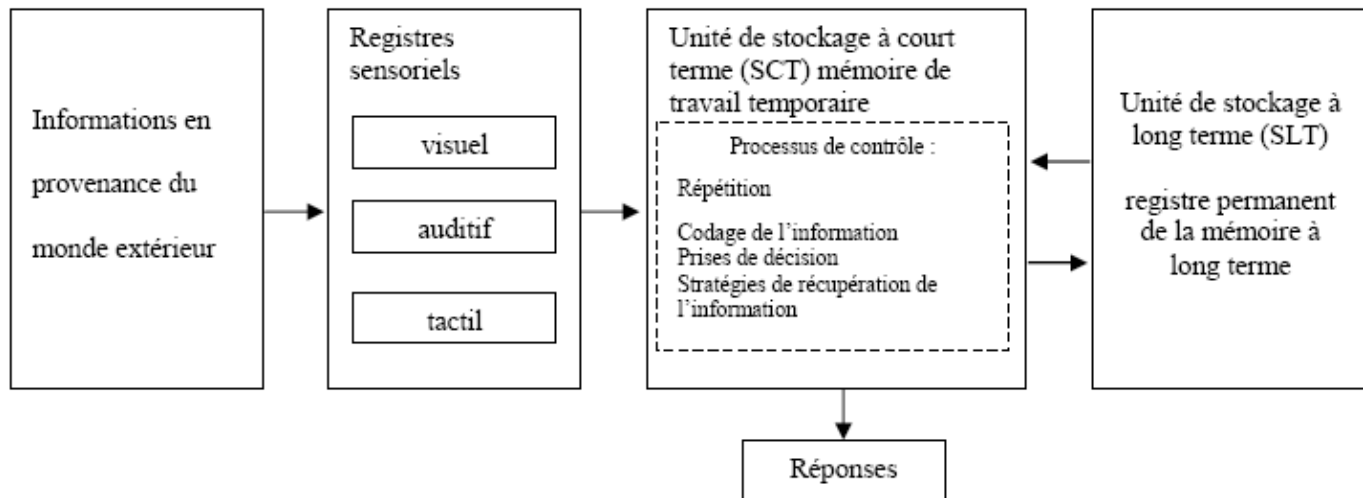
Annexes

Annexe 1 : Modélisations de la Mémoire De Travail

Dès la fin des années 60, l'accord était établi pour admettre deux unités mnésiques distinctes par leur capacité de temps de stockage : une mémoire à court terme et une à long terme. Les modèles le plus caractéristique et le plus influent est le modèle modal de Atkinson et Shiffrin (1968). L'évidence de la mémoire de travail telle que nous la considérons aujourd'hui n'a pas été une chose évidente, mais le modèle modal a permis d'ouvrir des voies amener à cette notion.

Deux registres de mémoire: le modèle modal

Le Modèle Modal - Atkinson et Shiffrin 1968



Les auteurs postulent que les informations extérieures sont tout d'abord traitées en parallèle par un ensemble de processeurs sensoriels. Ces processeurs transmettent l'information à un registre à court terme de capacité limitée (5 +/-2 items), ce transfert est synonyme de "porter attention à", seul les éléments auquel le sujet porte attention sont transférés dans le registre à court terme.. Atkinson et Shiffrin suggèrent l'idée que la sélection des informations qui entrent dans le registre à court terme ne peut être envisagée sans que soient mises en rapport les caractéristiques des informations du registre sensoriel et des caractéristiques permanentes, stockées dans le registre à long terme, *on trouve ici l'idée d'une sorte d'appariement entre stimulations et informations stockées en mémoire permanente* (Gaonac'h & Larigauderie 2000 p46). Par ailleurs, ils soulignent le fait que les informations ne soient pas nécessairement codées dans le registre à court terme sous la même modalité que la présente la stimulation. Une information visuelle pourrait être recodée, dans le registre à court terme, sous forme auditive. Cette indépendance entre modalité de stockage à court terme et modalité de la stimulation, est présentée comme un argument pour l'hypothèse d'une recherche dans le registre à long terme lors du codage d'un stimulus dans le registre à court terme. Enfin, le registre à court terme a une capacité limitée. A partir d'une certaine limite il est saturé, toute information nouvelle chasse alors une information précédemment stockée. De plus, le séjour des informations y est transitoire (30 secondes selon les auteurs) l'activité de répétition mentale permet au sujet de maintenir des informations.

A leur tour, ces informations sont transmises au registre à long terme.. Les propriétés sensorielles et sémantiques des informations sont prises en compte. Ce registre est organisé au cours des apprentissages du sujet, cette organisation joue un grand rôle dans la récupération des informations stockées. La récupération des informations du registre permanent n'est pas directe. *Elle n'est possible que par l'interaction entre des indices issus de l'environnement cognitif du sujet, et un plan de récupération fixé en mémoire, issu du traitement effectué au cours de l'apprentissage* (Gaonac'h & Larigauderie 2000, p48). Enfin les informations permanentes peuvent être utilisées pour le traitement de nouvelles informations provenant au système. Le contenu du stock permanent n'est accessible que par le registre à court terme.

Le registre à long terme effectue également d'autres fonctions appelées processus de contrôle par les auteurs. En effet, Atkinson et Shiffrin mentionnent que l'essentiel qui relève du transfert des informations d'une composante à une autre est sous le contrôle du sujet.

Le succès de ce modèle demeure sans doute dans sa clarté et sa simplicité. Cependant, il a été attaqué par de fortes critiques. La plus vive porte sur l'exclusivité de la perspective bottom-up comme si les informations rentraient dans le système perceptif "d'elles-mêmes" et uniquement par cette voie. Par ailleurs, à chaque étape, les traitements ne sont accessibles que si les précédents ont été effectués, le modèle modal présente donc une vue séquentielle du traitement de l'information. Ces lacunes proviennent sans doute du caractère des expérimentations qui ont permis de mettre en place le modèle modal. Les tâches expérimentales de laboratoires ne pouvaient traduire la complexité et les surprises de la vie quotidienne. Il n'est pas difficile de

constater que malgré sa prégnance dans le champ visuel un objet peut *ne pas être vu*, et que, dans le même temps, un objet d'une intensité moindre, mais qui correspond plus aux attentes du sujet sera remarqué et intégré. En d'autres termes la prise d'information dans le champ visuel et son traitement, dépendent tout autant de processus d'intégration perceptive, dirigés par les données (bottom-up) que de recherche d'information, dirigés par les concepts (top-down). Par ailleurs, nous avons déjà tous constaté que nous sommes heureusement capable d'effectuer plusieurs tâches en même temps, le caractère sériel du modèle n'est donc pas évident. D'autre part, si Atkinson et Shiffrin voulaient décrire un modèle du traitement cognitif de l'information, force est de constater que leur mémoire à court terme est avant tout un lieu de stockage de l'information. Les seuls processus décrits ne sont eux-mêmes relatifs qu'à cette fonction : codage et récupération de l'information.

Une seconde difficulté théorique apparaît dans ce modèle. Elle porte sur la nature des relations entre le registre à court terme et le registre à long terme. Atkinson et Shiffrin laisse apparaître l'idée d'un appariement entre les informations permanentes et les stimulus, qui permette un recodage dans le registre à court terme. Cette idée n'est pas compatible avec l'exclusivité bottom-up du modèle, mais laisse entrevoir des perspectives intéressantes. Ce point est souvent négligé dans les présentations qui sont faites du modèle modal, mais il nous semble primordial dans la conception d'une mémoire de travail...

De la mémoire à court terme à la mémoire de travail

Comme pour l'organisation de la mémoire permanente, la mise en place de la métaphore computationnelle et le paradigme des systèmes de traitement de l'information (STI) a permis d'aborder la question des traitements sous un angle nouveau : s'interroger sur les capacités de traitement de la structure de stockage transitoire. La question sous-jacente, toujours en suspens à ce jour, est de savoir si l'existence d'une mémoire de travail exclu celle de la mémoire à court terme ou si les deux co-existent. Le rôle assigné à la mémoire de travail est d'assurer :

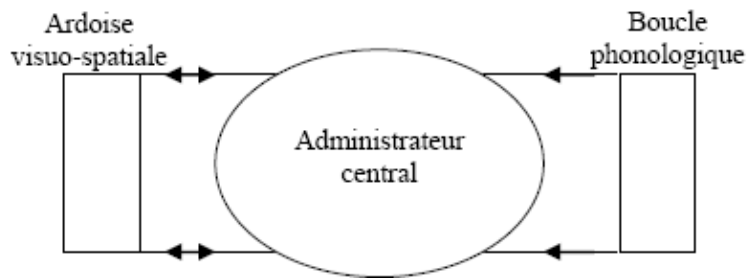
- la recherche en mémoire à long terme de connaissances, des règles d'action utilisées pour la résolution
- le stockage momentanée des informations nécessaires pour les traitements ultérieurs. (Richard 1990)

Cependant, un modèle de mémoire de travail domine les conceptions actuelles même s'il est critiqué sur de nombreux points, le modèle de Baddeley (1993).

Baddeley opte pour un modèle qui rassemble les fonctions précédemment établies de la mémoire à court dans ce qu'il appelle la mémoire de travail. Pour Alan Baddeley (1986) la mémoire de travail est définie comme *un système de maintien temporaire et de manipulation de l'information, nécessaire pour réaliser des activités cognitives complexes, telles que la compréhension, l'apprentissage, le raisonnement*. En vue de son modèle, Baddeley formule quatre hypothèses générales :

- Tout d'abord, le traitement de l'information implique une certaine forme de stockage temporaire de celle-ci, en particulier sous la forme d'une activation, limitée dans le temps, d'une partie de la mémoire à long terme.
- La mémoire de travail permet à des sources indépendantes d'information d'interagir.
- Le concept de mémoire de travail implique l'existence d'un système commun qui opère dans des tâches différentes.
- Enfin, pour qu'un tel système de stockage transitoire soit utile il faut concevoir qu'il ait une capacité limitée et qu'il puisse opérer dans une large gamme de tâches où l'on rencontre des codes de traitements et de modalités différentes. (Weil-Barais 1993 p368).

L'architecture cognitive du modèle de la mémoire de travail de Baddeley comporte trois systèmes.



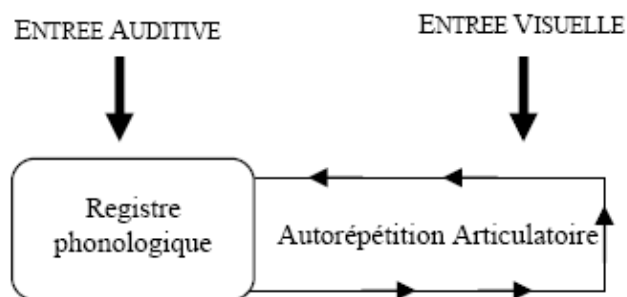
L'administrateur central est un système de contrôle de l'attention. Il contrôle les opérations de traitement en d'autres termes, il supervise et coordonne les deux systèmes esclaves : la boucle phonologique et l'ardoise visuo-spatiale. Baddeley utilise ce concept afin de désigner les caractéristiques attentionnelles de la mémoire de travail, ainsi que ses liens avec la mémoire à court terme visuelle et spatiale. L'auteur formalise l'administrateur central sur la base du modèle de contrôle attentionnel de l'action élaboré par Norman et Shallice (1986). Norman & Shallice postulent deux types de contrôle sur l'action en cours, l'un automatique, l'autre attentionnel. L'administrateur central de Baddeley aurait la fonction régulatrice du processus de contrôle attentionnel de Norman & Shallice (SAS), mais aussi une fonction de gestion des ressources de traitement. Baddeley (1996) propose quatre grandes fonctions pour l'administrateur central :

- la capacité de coordonner deux tâches,
- la capacité de prendre en compte sélectivement un stimulus en inhibant l'effet distracteur des autres
- la capacité de rompre des stratégies automatiques,
- et la capacité de récupérer et manipuler des informations en mémoire à long terme.

La boucle phonologique (figure 6) - Ce sous-système prend en compte les faits qui reconnaissent l'importance du codage du langage en mémoire à court terme. Elle est constituée de deux composantes :

- une unité de stockage phonologique (stockage passif), capable de contenir les informations provenant du langage, les informations phonologiques stockées déclinent passivement en moins de deux secondes, sa capacité est limitée.
- un processus de contrôle articulatoire, reposant sur le langage intérieur, c'est le processus d'autorépétition subvocale. Il est responsable d'une part du rafraîchissement de l'information contenue dans l'unité de stockage et d'autre part de la conversion des stimuli visuels en code phonologique donnant ainsi accès au registre phonologique pour les stimuli visuels.

Modélisation de la boucle phonologique Baddeley 1986

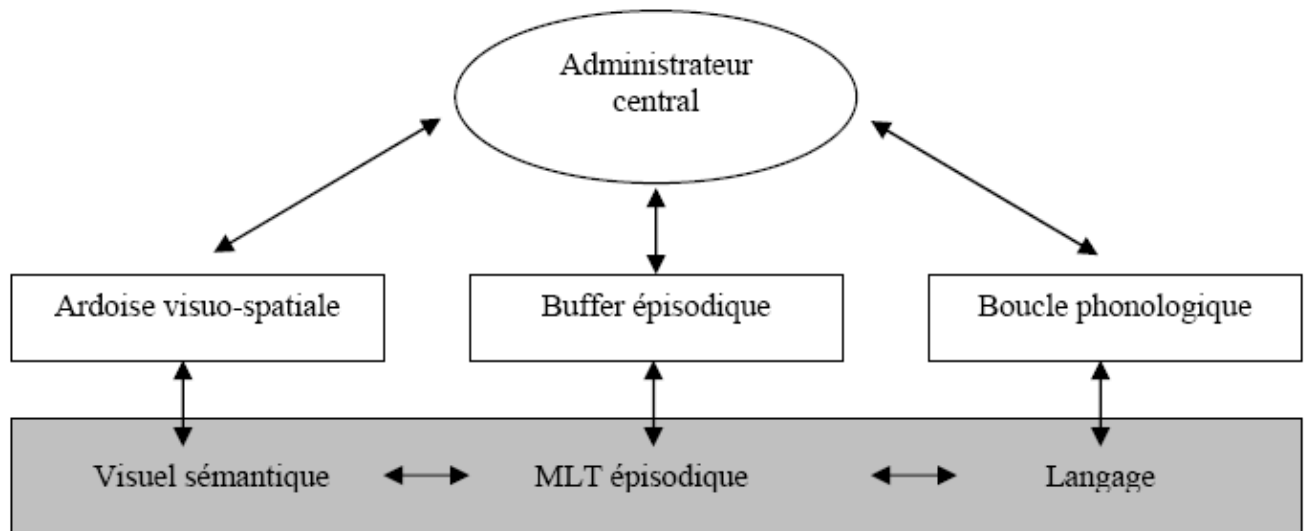


L'ardoise (ou calepin) visuo-spatiale – Moins étudié, car plus difficilement saisissable, l'ardoise visuo-spatiale serait responsable du maintien des informations spatiales ou visuelles ainsi que de la formation et la manipulation des images mentales. Baddeley fait l'hypothèse que l'ardoise visuo-spatiale est un système à

deux composantes : un registre passif de stockage et un processus de rafraîchissement. A ce jour aucune donnée expérimentale permet de décrire véritablement l'architecture fonctionnelle du calepin.

Récemment, des données obtenues par des expérimentations auprès de sujets ayant des troubles de la mémoire à court terme ont suggérées à Baddeley la nécessité d'intégrer un quatrième sous-système à son modèle. D'autre part, Le buffer épisodique apparaît dans le modèle de la mémoire de travail en 2000 il devra être capable d'intégrer les informations phonologiques et visuelles, ainsi que d'autres types d'informations.

Modèle de la Mémoire de Travail Baddeley 2000



Ce système de stockage temporaire permet de combiner des informations des différents systèmes (boucle phonologique, ardoise visuo-spatial, et mlt) en une forme de représentation temporaire. Le buffer épisodique est donc une sorte d'interface, de capacité limitée, entre les autres systèmes du modèle, comme il doit être capable de traiter des informations codées de manières différentes, l'auteur suggère qu'il emploie un code multidimensionnel commun. L'accès au buffer épisodique est assuré par l'administrateur central, ce dernier peut également influencé le contenu du buffer épisodique en créant une demande envers un certain type d'informations (perceptuelles, d'un composant de la mémoire de travail ou bien stockées en mémoire à long terme).

Malgré la dernière version, le modèle de Baddeley présente avant tout une description des systèmes constitutifs de la mémoire de travail. En effet, les mécanismes responsables du traitement de l'information sont restreints à l'autorépétition (pour la boucle articulatoire et l'ardoise visuo-spatial). Cependant, l'apport de Baddeley, par rapport au modèle modal, réside dans l'insitution de l'administrateur central chargé de la gestion des ressources cognitives. La mémoire de travail nécessite donc de l'énergie, cependant l'auteur traite peut de la répartition de ces ressources, il met simplement en place une structure en charge de leur gestion. L'intégration du buffer épisodique représente une avancée certaine dans le modèle de Baddeley, qui est cependant encore pauvre compte tenu des nombreux travaux déjà réalisés assurant l'importance des représentations mentales au cours des traitements cognitifs. D'autre part, même si l'auteur ajoute un nouvel élément, il ne fait qu'effleurer la question des processus responsables du traitement de l'information, et des manipulations des représentations mentales dont il argumente aujourd'hui le rôle dans la résolution de problème.

Les théories de l'activation

Les difficultés rencontrées par les modèles afin de définir les relations entre un registre à court terme et un registre à long terme ont trouvé une nouvelle voie de dégagement avec les modèles de la mémoire répondant à la théorie de l'activation. Après avoir aborder la notion d'activation, nous présenterons deux de ces modèles. Tout d'abord, la théorie ACT d'Anderson (1976) puis le modèle de Cowan (1988) axé sur les liens entre mémoire et attention.

La notion d'activation est issue d'une part des travaux de neuropsychologie et d'autre part de l'ensemble des travaux sur la récupération des informations en mémoire. Elle est fortement liée aux modèles d'organisation de la mémoire sémantique. La mémoire (sémantique permanente) est alors conçue comme un réseau comprenant un grand nombre d'unités élémentaires de représentations (unités lexicales et conceptuelles : connaissances au sens de Richard) massivement interconnectées. Ces unités sont appelées les nœuds du réseau. Le fonctionnement de la mémoire est donc défini en termes d'activation des structures du réseau et de diffusion de cette activation. Le modèle de Quilian (1967) permet de bien présenter la notion de diffusion de l'activation. Chaque concept est représenté dans le réseau par un nœud. Chaque nœud est caractérisé par plusieurs propriétés, qui correspondent à des types de relations et qui sont eux même des concepts. L'activation d'un nœud peut être déclenchée par la présentation du stimulus (mot) correspondant au concept représenté. La diffusion de l'activation est continue à tous les nœuds liés au nœud activé, puis à tous les nœuds liés à ceux-ci. Ici l'activation est appliquée à la mémoire permanente (spécialement sémantique) les deux modèles que nous allons présenter maintenant traitent de la mémoire de travail.

- **Modèle Adaptative control of thought (ACT) – Anderson (1976)**

Anderson considère que chaque unité cognitive est constituée d'un nœud caractérisé par des éléments. Son modèle postule l'existence d'une mémoire de travail capable d'accueillir la copie transitoire d'une unité cognitive. A partir de cette copie, l'activation est diffusée dans le réseau de la mémoire permanente de manière automatique, n'engageant pas de contrôle attentionnel. En ce qui concerne le rôle de la mémoire de travail dans les activités cognitives, l'auteur se réfère au modèle de Newell et Simon (1972). Ces derniers postulent que l'activité mentale de résolution de problème prend place dans un "espace problème". Ce concept correspond à des "états du monde" qui sont représentés dans des modèles mentaux, ainsi qu'aux actions qui appliqués à un certain état permet d'en obtenir un autre via l'exécution d'une opération. Ce modèle est appelé système de production. Un système de production est défini comme *un ensemble de règles dont l'exécution dépend de la mise en œuvre d'un processus cyclique* :

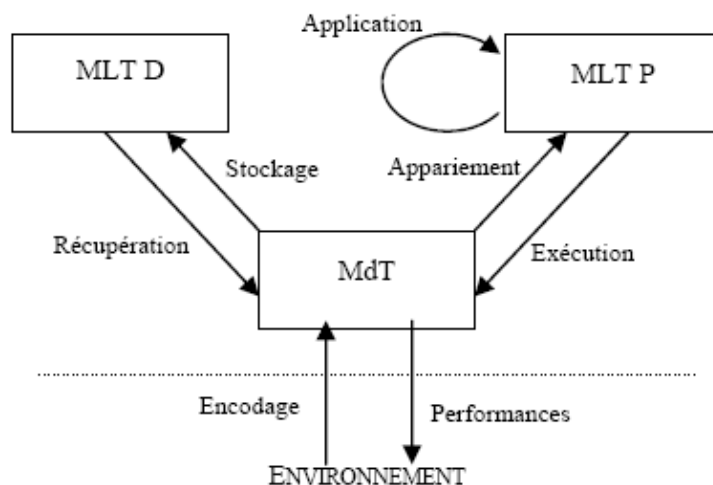
- ce processeur exploite deux structures de mémoire : une mémoire à long terme, qui contient les règles, et une mémoire de travail qui contient une représentation symbolique de l'état courant du système ;
- les règles portent sur les conditions qui doivent être remplies pour qu'une action puisse être exécutée, et sur les résultats de cette action ; une production (règle) est donc composée d'une paire "condition-action" (IF-THEN) ; elle a pour responsabilité d'initier des actions appropriées quand certaines conditions spécifiques sont remplies. (Gaonac'h et Larigauderie 2000)

Le système cognitif est donc vu par Anderson comme un ensemble de règles de production (du type "si...alors...") qui utilisent les faits contenus dans la base de données déclaratives. Deux phases constituent un cycle de production. Une phase de reconnaissance qui correspond à la recherche en mémoire à long terme des règles pouvant être appliquée selon le contenu de la mémoire de travail. Et une phase d'action qui porte sur le choix d'une règle appariée au contenu courant de la mémoire de travail puis à son exécution qui conduira à un changement d'état de ce contenu pouvant permettre l'application de nouvelles règles.

L'architecture du modèle comporte trois systèmes :

- Une mémoire à long terme déclarative (MLTD), c'est un réseau de concept interconnectés. L'information stockée n'est pas spécifique à une situation, elle est récupérable et exprimable sous forme verbale. L'activation des nœuds peut être de différents niveaux, ce dernier correspond à la probabilité du concept à être exploité par une règle de production.
- Une mémoire à long terme procédurale (MLTP) est le stock d'actions potentielles (règles de production). Les règles de production ne peuvent pas être exprimées verbalement. Leur application est automatique quand la situation adéquate se présente.
- Une mémoire de travail (MdT) qui correspond à une représentation de l'état du monde. Elle est fondée sur les informations factuelles de la mémoire déclaratives récupérées en fonction des activités mentales en cours. Cette récupération permet un appariement entre le contenu de la mémoire de travail et les conditions de mises en œuvre des productions stockées en mémoire procédurale, quand l'appariement aboutit, l'action correspondante est mise en œuvre. L'appariement permet donc de déterminer les actions pertinentes pour un état du monde donné. C'est en mémoire de travail qu'une règle (production) nouvelle peut être apprise à partir d'anciennes productions adapter à un état du monde spécifique

Architecture Générale du Modèle ACT, D'après Anderson 1983



Par ailleurs, la conception d'Anderson permet d'analyser fonctionnellement les activités mentales de résolutions de problèmes, en fonction de l'évolution des connaissances et de leur utilisation par la mémoire de travail, nous reviendrons sur ce point lorsque nous aborderons les notions d'expertise et d'habileté.

• Modèle de Cowan (1988) – Mémoire et attention

Dans le modèle de Cowan, auquel Endsley se réfère pour fonder son modèle de CS, la mémoire de travail (short term store) correspond à la partie activée de la mémoire à long terme. L'auteur distingue deux types de processus. Des processus automatiques des éléments de la mémoire à long terme qui dès lors appartiennent à la mémoire active (ie mémoire de travail) et la sélection attentionnelle de certains éléments régit par l'administrateur central. De ce fait, la mémoire de travail doit être composée de deux éléments centraux. Un processus d'activation qui fonctionne en continu, la mémoire de travail est alors défini par un niveau d'activation, et un processus de contrôle (capacité limité) qui s'exerce à la fois sur le contenu de la mémoire de travail et sur les traitements. L'architecture du modèle de Cowan comprend un processeur ou administrateur central et trois registres mnésiques:

- un registre sensoriel, les informations n'y sont stockés que quelques centièmes de millisecondes
- une mémoire à long terme

- une mémoire à court terme, elle a le statut de mémoire de travail et correspond donc aux parties actives de la mémoire à long terme, c'est pourquoi l'auteur parle de mémoire active.

Annexe 2 : La Théorie des schémas

La théorie des schémas a été introduite par Bartlett (1932). Son interprétation de la mémoire supposait que nous agissons sur le monde, que nous le reconnaissons à partir de structures déjà existantes, les schémas. L'auteur emprunte le concept à Head, neurologue, qui l'utilisait pour représenter la connaissance d'un sujet sur la localisation des membres et du corps. Bartlett généralise cette notion, un schéma est une structure organisée qui intègre les connaissances et les attentes d'un individu pour un aspect du monde. Le schéma résume ce que le sujet connaît du monde. Il a donc pour effet principal d'aider à la compréhension. Il définit le schéma comme *une organisation active de réactions passées ou d'expériences passées, que l'on doit toujours supposer à l'œuvre dans toute réponse organique bien adaptée. Ceci veut dire que, à chaque fois que le comportement se révèle ordonné et régulier, une réponse particulière n'est rendue possible que par sa relation à d'autres réponses similaires, qui ont été organisées séquentiellement, mais qui opèrent néanmoins comme une masse unitaire et non comme des éléments venant l'un après l'autre.* (Bartlett 1932) L'auteur souligne trois aspects fondamentaux des schémas :

- ce sont des structures mentales inconscientes (ils sont actifs sans retour à la conscience),
- ils sont constitués de connaissances antérieures (ce sont des masses d'expériences passées qui sont organisées)
- la mémoire à long terme est composée de structures de connaissances actives plutôt que d'images mentales.

Les schémas reconstruisent les expériences passées plutôt que ne les reproduisent. Cependant comme un schéma crée des attentes la compréhension peut être faussée. Lorsque des éléments ne sont pas en accord avec les attentes du schéma, Bartlett met en évidence que les sujets déforment le réel pour qu'il soit en accord avec leur schéma, ils manifestent *de l'effort pour trouver la signification* (Bartlett 1932).

Dans les années 70, la théorie de Bartlett a connu un regain d'intérêt. Trois auteurs reprennent cette notion. Minsky (1975) introduit la notion de frame (cadre), Schank et Abelson (1977) la notion de script et Rumelhart (1975) élargit la notion de schéma de Bartlett à la mémorisation des histoires.

Selon Rumelhart (1978) les schémas sont des structures de données destinées à représenter les concepts génériques stockés en mémoire. Les schémas seraient comme des stéréotypes de concepts. Traiter une information revient alors à trouver le schéma en mémoire le plus adéquat pour la comprendre.

En 1983, Rumelhart et Norman (Rumelhart & Norman, 1983) résument les caractéristiques des schémas :

- Ils comportent des variables. Elles ont des valeurs par défaut, et nous connaissons le domaine plausible où peuvent se situer les valeurs attribuables à chacune.
- Ils peuvent s'enchaîner les uns aux autres. Un schéma est le plus souvent constitué de plusieurs sous-schémas, eux-mêmes constitués de plusieurs sous-sous-schémas. Les systèmes de schémas proposent donc une hiérarchie de niveaux plus étendue que les systèmes à traits ou à attributs.
- Ils représentent des connaissances à tous les niveaux d'abstraction. Nous avons des schémas pour représenter tous les niveaux de notre expérience. Ceci suppose donc que la mémoire humaine contienne d'innombrables paquets de connaissances qui représentent les constituants du schéma.
- Ils représentent des connaissances plus que des définitions. Des connaissances sémantiques de type dictionnaire mais aussi épisodiques de nature plus personnelle sont intégrées dans les schémas.
- Ils sont des dispositifs actifs de reconnaissance, dont la mise en œuvre a pour but l'évaluation de leur adéquation avec les informations en cours de traitement. L'évaluation de la pertinence des variables et sous-schémas ainsi que l'interaction avec les autres schémas du système permet de rendre compte de

sa concordance avec la situation.

Schank et Minsky sont deux informaticiens qui proposent des conceptions de schémas en intelligence artificielle. De ce point de vue, représenter des connaissances consiste à trouver des structures de données appropriées au stockage et à la manipulation des informations relatives à une application.

Les scripts – Schank

Schank est informaticien, le type de schéma qu'il développe, les scripts, s'appliquent avant tout à notre connaissance concernant les activités sociales.

Un script est une structure qui décrit des séquences appropriées à un événement dans un contexte particulier. Un script est constitué de terminaisons (slots) et des conditions (exigences) à propos de ce que peuvent "charger" ces terminaisons. La structure est interconnectée et ce sont les affectations des terminaisons qui déterminent les connexions. Les scripts traitent des situations de tous les jours. Ils ne sont pas trop sujets au changement, ils ne fournissent pas un mécanisme pour traiter totalement des situations nouvelles. En effet, un script est une séquence prédéterminée, stéréotypée d'actions qui définit une situation bien connue.

Un script est écrit pour un point de vue particulier, les scripts de plusieurs perspectives sont combinées entre eux pour constituer ce qu'on peut appeler une vue d'ensemble.

Les scripts sont activés lorsque se présente une situation de ce type, où lorsqu'on s'y réfère par la pensée ou le discours. Ils permettent de faire des inférences sur des aspects de la situation qui ne seraient pas explicités. Ils guident aussi l'encodage de l'information nouvelle susceptible de venir enrichir le script de base.

Le script a rencontré un certain nombre d'oppositions quand il était considéré comme une structure rigide d'information en mémoire. Baudet (91) insiste pour mettre en avant sa flexibilité qui tient d'une part à sa familiarité pour le sujet et d'autre part au contexte dans lequel il est activé.

L'organisation hiérarchique du script renvoie à une organisation partie/tout, chacune des actions étant une partie constituante du tout. Au cours du développement ils deviennent de plus en plus complexes, s'enrichissent d'éléments nouveaux ; ils deviennent de plus en plus flexibles

Selon Schank et Abelson (1977), les scénarios ne sont que la plus simple des structures de données du type schéma : toutes les situations que nous voulons comprendre ne correspondent pas à une suite d'événements se produisant très fréquemment. Souvent les structures de données mises en œuvre pour aboutir à l'interprétation de la situation mettent en jeu des schémas plus généraux et plus abstraits.

A la fin des années 70, Schank et Abelson mettent en évidence les mêmes distorsions que Bartlett avait remarquées. Lorsque des scripts sont incorporés dans des histoires, des sujets soumis à une tâche de rappel ont tendance à rappeler des informations qui n'ont pas été explicitement exposées dans l'histoire mais qui sont compatibles avec les scripts. De plus, Bower en 1982 montre que les sujets confondent des scripts similaires (aller chez le médecin et aller chez le dentiste).

Schank revoit sa conception de remémoration. Il introduit de nouveaux concepts dans sa théorie. Les plans contiennent des motivations et des buts spécifiques. Les scènes représentent la structure générale à l'intérieure de laquelle des actions particulières sont exécutées. Elles comprennent un cadre, un but et les actions destinées à l'atteindre. Chaque scène constitue une partie d'un ou probablement plusieurs paquets d'organisation mnésiques (MOPs). Schank émet l'hypothèse que les MOPs sont eux-mêmes organisés en métaMOPs, sur la base de structure de plus haut niveau. A un niveau encore supérieur il suppose l'existence de nœuds d'organisation thématiques, les TOPs. Ils représentent les analogies, de haut niveau, entre des situations qui diffèrent dans les détails mais qui ont une structure apparentée.

Les frames - Minsky

Minsky est également informaticien, il introduit la notion de frame et l'argumente : "Il me semble que les ingrédients de la plupart des théories, en intelligence artificielle comme en psychologie, ont été dans l'ensemble à la fois trop spécialisés, locaux et non structurés pour rendre compte – que ce soit pratiquement ou phénoménologiquement- de l'efficacité de la pensée au sens commun. Les unités (chunks) du raisonnement, du langage, de la mémoire et de la perception doivent être plus larges et plus structurées, et leurs contenus factuel et procédural doivent être plus intimement connectés pour expliquer la puissance manifeste des activités mentales" (Minsky in Baddeley 1993 p362).

Les frames sont des structures de données fonctionnelles stockées en MLT qui représentent des objets typiques ou des situations stéréotypées. Différents types d'informations supplémentaires sont rattachés au frame, elles concernent son utilisation, ce qui peut être attendu suite à son utilisation, et ce qui peut être fait si ces attentes ne sont pas confirmées. Ce sont des structures de connaissances larges constituées à partir d'expériences précédentes pour comprendre de nouvelles situations et pour agir.

D'après Minsky (1988) les frames sont organisés en réseau de nœuds et de relations. Les niveaux hauts sont fixes et représentent des choses toujours vraies (un cube à 6 faces) Les niveaux bas –slot, terminaisons- ont des valeurs (attributs), ils représentent les caractéristiques de l'objet ou de la situation. Les slots ont déjà des valeurs par défaut qui peuvent être facilement remplacées par des valeurs qui représentent mieux les caractéristiques de l'objet ou de la situation (3 faces jaunes, 3 faces rouges, dimensions de l'arête...) Cependant si aucune valeur spécifique n'est attribuée aux slots se sont les valeurs par défaut qui resteront valides.

Les frames sont liés dans des systèmes de frames selon leur rapport entre eux. Pour Minsky il n'est pas question d'une hiérarchie à la racine unique comme dans les réseaux sémantiques d'organisation des connaissances. Il ne parle pas d'héritage de propriétés mais de propagation. Les frames d'un système de frames peuvent représenter un même objet, une même situation mais selon des points de vue différents. Ainsi, des frames peuvent partager des attributs, représentant des informations indépendantes d'un point de vue, ils ne seront alors pas dupliqués à l'intérieur de chacun.

Afin de sélectionner un frame caractérisant un objet ou une situation donnés, un processus d'appariement (matching) est nécessaire. Ce processus est contrôlé en partie par les buts courants et en partie par les informations rattachées au frame. Le processus d'appariement (= mise en correspondance structurelle) est composé de trois étapes :

1. Un frame est choisi sur la base d'heuristique ou de prévisions.
2. Le "matching" à proprement parler tente de mettre en correspondance les informations contenues dans le frame et celles observées dans la réalité, si besoin des valeurs spécifiques sont assignées aux attributs dont les valeurs par défaut ne sont pas valides en vue de l'objet ou de la situation donnée.
3. Dans le cas où le "matching" serait impossible (certaines conditions ne sont pas remplies, des terminaisons du frame ne correspondent pas ou plus à la réalité...) le réseau de frames actif indique un autre frame de remplacement ; les informations déjà prélevées dans la réalité lui seront directement assignées. Si aucun frame du réseau ne correspond il est possible d'en sélectionner un extérieur, s'il est attribuable au frame supérieur du frame déchu (au risque de perdre la structure entière). Si aucune structure en mémoire ne peut être appariée à la réalité un nouveau pourra être construit. L'adaptation d'un frame en mémoire ou l'élaboration d'un nouveau permet l'acquisition d'une nouvelle structure de connaissance qui sera à son tour stockée et disponible pour de futures utilisations.

Annexe 3 : L'Erreur Humaine, James Reason

Reason (1993 p31) définit l'erreur comme sens générique, qui couvre tous les cas où une séquence planifiée d'activités mentales ou physiques ne parvient pas à ses fins désirées, et quand ces échecs ne peuvent pas être attribués à l'intervention du hasard.

En vue d'établir une classification des erreurs humaines l'auteur introduit une distinction entre type d'erreur et forme d'erreur. *Alors que les types d'erreurs prennent leurs racines dans les étapes cognitives impliquées dans la conception et la mise en œuvre d'une séquence d'actions (planification, stockage, exécution), les formes d'erreurs trouvent leur origine dans les processus universels qui sélectionnent et permettent de trouver les structures de connaissances précompactées en mémoire à long terme. (Reason 1993 p12)*

Les types d'erreurs sont liés aux mécanismes cognitifs sous jacents, alors que les formes d'erreurs peuvent intervenir quelque soit le type d'activité cognitive ou le type d'erreur.

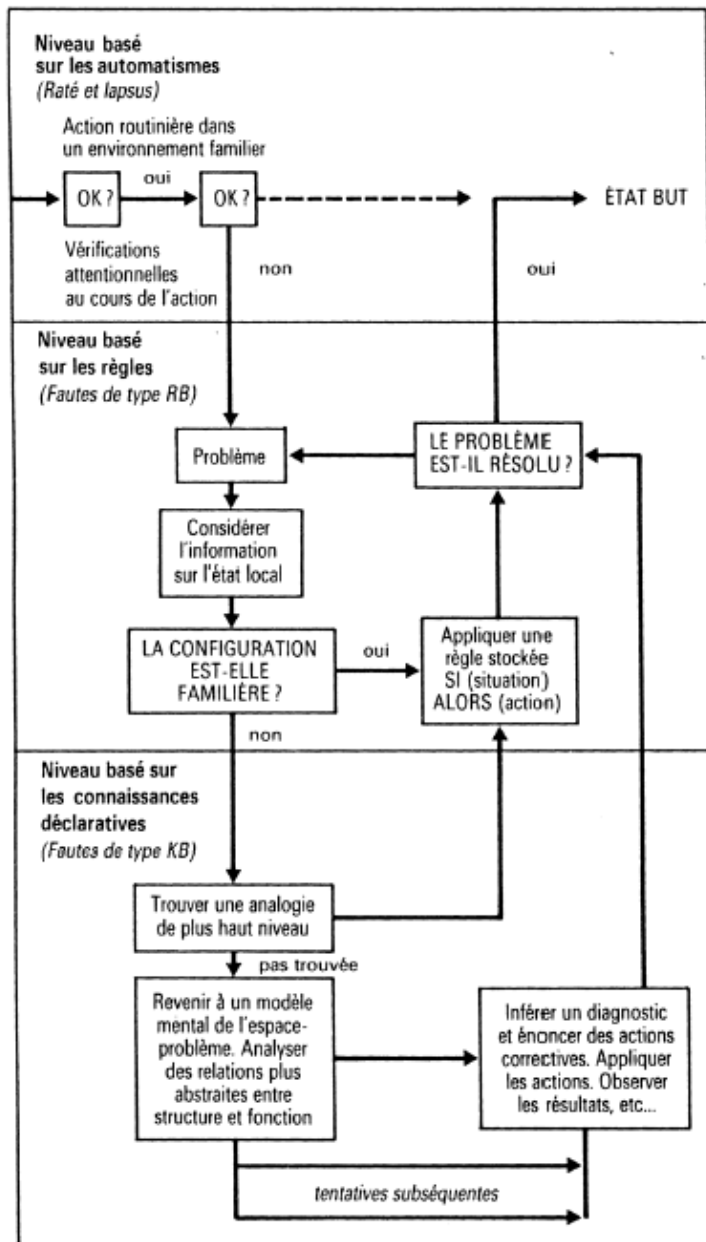
Reason distingue trois types d'erreurs, liés aux trois étapes cognitives allant de la conception à la mise en œuvre de l'action : les fautes, les lapsus et les ratés.

- Les fautes apparaissent au niveau de la planification qui à travers différents processus permet d'identifier les buts à atteindre et les moyens à mettre en œuvre pour y parvenir ; deux types de fautes peuvent être distingués selon qu'elles traduisent
 - ◆ une défaillance d'expertise un plan préétabli ou une solution à un problème sont appliqués de façon inappropriée ;
 - ◆ un manque d'expertise le sujet ne dispose pas d'une routine appropriée toute prête et doit développer un plan d'action à partir de principes de base en se basant sur des connaissances, pertinentes ou non, qu'il possède.
- Les lapsus apparaissent au moment du stockage des plans avant leur mise en œuvre.
- Les ratés ont lieu au moment l'exécution des plans mémorisés. Dans les actes humains, il y a souvent des moments de distractions, dont nous pouvons prendre conscience quand nous remarquons que nos actions s'écartent de leur dérouls désiré. Pour que ces ratés puissent apparaître, il faut que deux conditions soient remplies : l'exécution quasi automatique de la tâche dans un contexte familier et une "capture" attentionnelle marquée par quelque chose d'autre que ce qui est en cours. (Reason 1993 p30)

Ces trois types d'erreurs sont également à rapprocher de la classification de Rasmussen des activités humaines en "automatismes-règles-connaissances". C'est à partir de ce modèle que Reason distingue trois types d'erreurs et propose un modèle afin d'identifier leurs origines

Le Modèle générique de l'erreur (*Generic Error-Modelling System figure 10*) permet d'identifier trois grands types d'erreurs : les ratés et les lapsus qui mettent en cause des automatismes, les fautes basées sur les règles qui traduisent des incidents dans l'application des règles d'actions et les fautes basées sur les connaissances déclaratives qui relèvent donc d'une inexactitude dans des connaissances plus profondes.

Grandes lignes génériques de la dynamique du système générique de modélisation de l'erreur



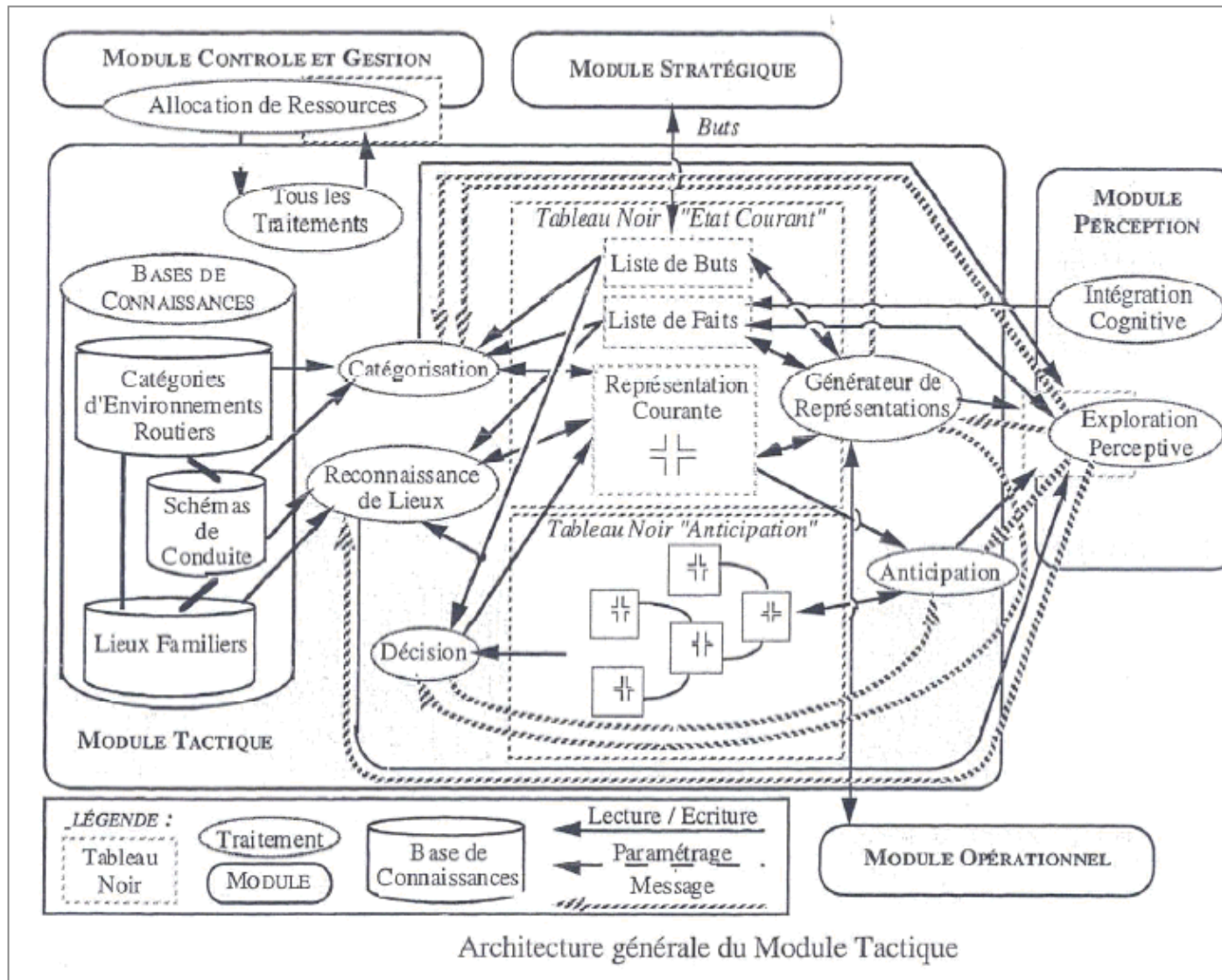
Passage d'un niveau à l'autre

- *Des automatismes aux règles* : détection d'une déviation par rapport aux conditions d'exécutions prévues dans la planification, si déviation mineure retour rapide à SB, problème difficile : maintien au niveau des règles
- *Des règles aux connaissances déclaratives* : prise de conscience par le sujet qu'aucune des règles de son répertoire n'est adéquate pour résoudre le problème Des connaissances déclaratives aux automatismes : découverte d'une solution adéquate pour résoudre le problème exécution

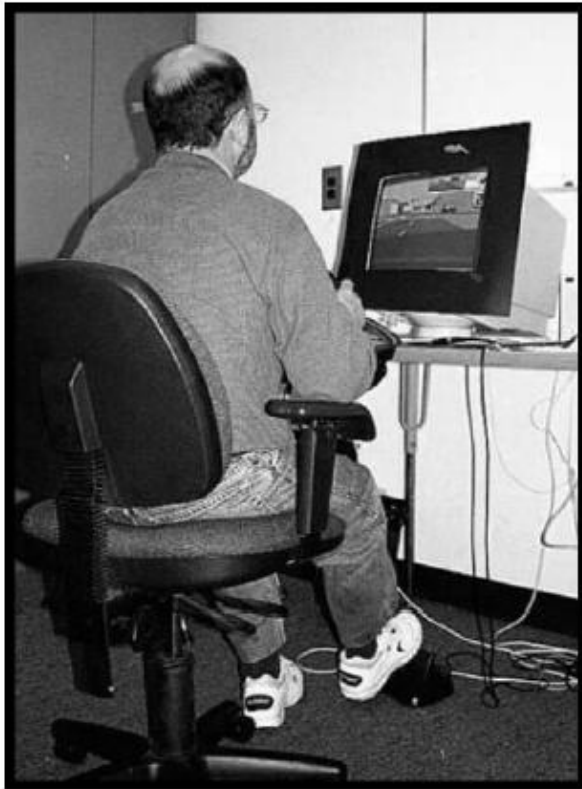
Reason (1993 p93) précise que *on ne peut différencier les trois types d'erreurs de base selon une variété de dimensions liées aux tâches, aux représentations et aux traitements. Ainsi une distinction cruciale est à faire en fonction du mode de contrôle qui est impliqué dans une tâche. C'est ainsi que ce distinguent d'une part, les erreurs survenant sous un mode de contrôle implicite, elles correspondent aux ratés et au lapsus, les erreurs survenant explicitement. La prise de conscience de l'existence d'un problème est une condition de définition des fautes de types rule et knowledge (Reason 1993). D'autre part, les ratés et les fautes basées sur*

les règles partagent un mode de contrôle proactif, alors que lors de fautes basées sur les connaissances déclaratives le contrôle est essentiellement rétroactif.

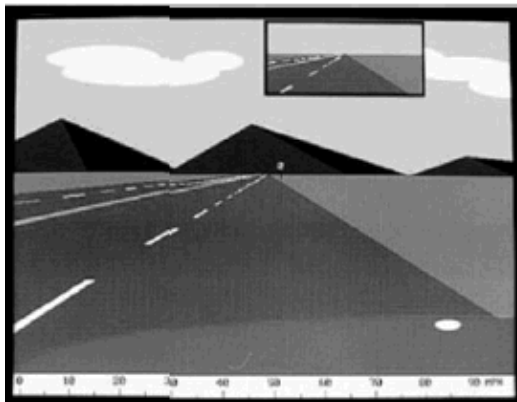
Annexe 4 : Architecture du Module Tactique de Comsodrive (Bellet 2003)



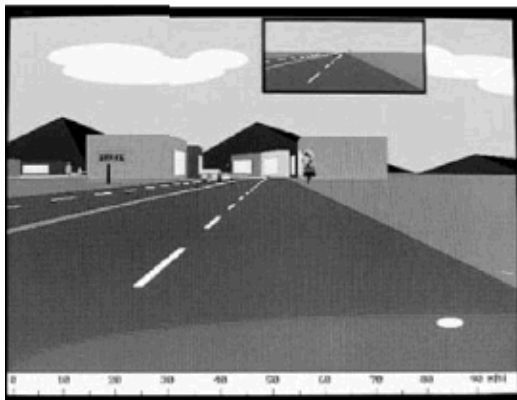
Annexe 5 : Protocole Expérimental de C. Bolsatd (2001)



Installation du Simulateur



Scénario, niveau de complexité bas



Scénario, niveau de complexité moyen

Annexe 6: Images Finales Originales et Modifiées OSCAR & ICARE



Film A, Scène Originale n°1



Film A, Scène Modifiée n°1



Film A, Scène Originale n°2



Film A, Scène Modifiée n°2



Film A, Scène Originale n°3



Film A, Scène Modifiée n°3



Film A, Scène Originale n°4



Film A, Scène Modifiée n°4



Film A, Scène Originale n°5



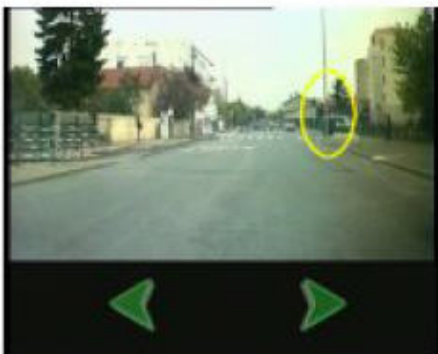
Film A, Scène Modifiée n°5



Film A, Scène Originale n°6



Film A, Scène Modifiée n°6



Film A, Scène Originale n°7



Film A, Scène Modifiée n°7



Film A, Scène Originale n°8



Film A, Scène Modifiée n°8



Film A, Scène Originale n°9



Film A, Scène Modifiée n°9



Film A, Scène Originale n°10



Film A, Scène Modifiée n°10



Film A, Scène Originale n°11



Film A, Scène Modifiée n°11



Film A, Scène Originale n°12



Film A, Scène Modifiée n°12



Film A, Scène Originale n°13



Film A, Scène Modifiée n°13



Film A, Scène Originale n°14



Film A, Scène Modifiée n°14



Film A, Scène Originale n°15



Film A, Scène Modifiée n°15



Film A, Scène Originale n°16



Film A, Scène Modifiée n°16



Film A, Scène Originale n°17



Film A, Scène Modifiée n°17



Film A, Scène Originale n°18



Film A, Scène Modifiée n°18



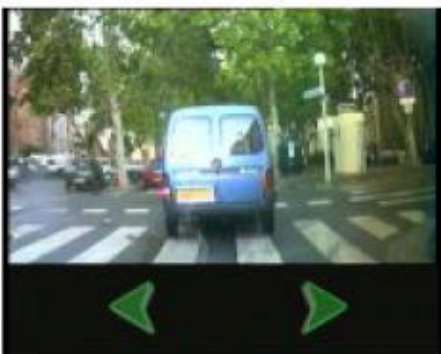
Film A, Scène Originale n°19



Film A, Scène Modifiée n°19



Film A, Scène Originale n°20



Film A, Scène Modifiée n°20



Film B, Scène Originale n°21



Film B, Scène Modifiée n°21



Film B, Scène Originale n°22



Film B, Scène Modifiée n°22



Film B, Scène Originale n°23



Film B, Scène Modifiée n°23



Film B, Scène Originale n°24



Film B, Scène Modifiée n°24



Film B, Scène Originale n°25



Film B, Scène Modifiée n°25



Film B, Scène Originale n°26



Film B, Scène Modifiée n°26



Film B, Scène Originale n°27



Film B, Scène Modifiée n°27



Film B, Scène Originale n°28



Film B, Scène Modifiée n°28



Film B, Scène Originale n°29



Film B, Scène Modifiée n°29



Film B, Scène Originale n°30



Film B, Scène Modifiée n°30



Film B, Scène Originale n°31



Film B, Scène Modifiée n°31



Film B, Scène Originale n°32



Film B, Scène Modifiée n°32



Film B, Scène Originale n°33



Film B, Scène Modifiée n°33



Film B, Scène Originale n°34



Film B, Scène Modifiée n°34



Film B, Scène Originale n°35



Film B, Scène Modifiée n°35



Film B, Scène Originale n°36



Film B, Scène Modifiée n°36



Film B, Scène Originale n°37



Film B, Scène Modifiée n°37



Film B, Scène Originale n°38



Film B, Scène Modifiée n°38



Film B, Scène Originale n°39



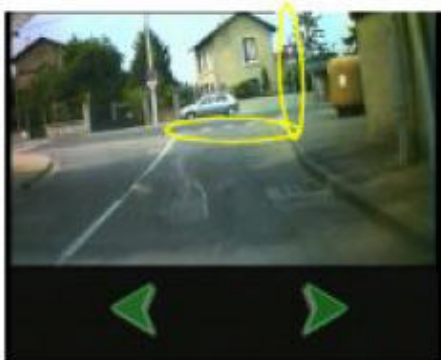
Film B, Scène Modifiée n°39



Film B, Scène Originale n°40



Film B, Scène Modifiée n°40



Film A, Pré-test Original n°1



Film B, Scène Modifiée n°1



Film A, Pré-test Original n°2



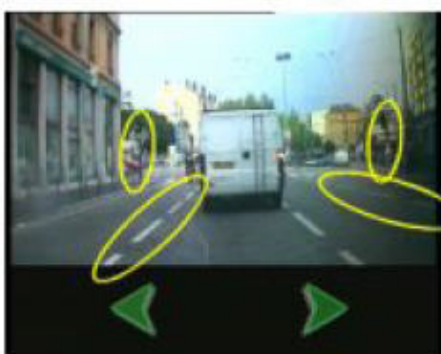
Film B, Scène Modifiée n°2



Film A, Pré-test Original n°3



Film A, Pré-test Modifié n°3



Film A, Pré-test Original n°4



Film A, Pré-test Modifié n°4



Film B, Pré-test Original n°5



Film B, Pré-test Modifié n°5



Film B, Pré-test Original n°6



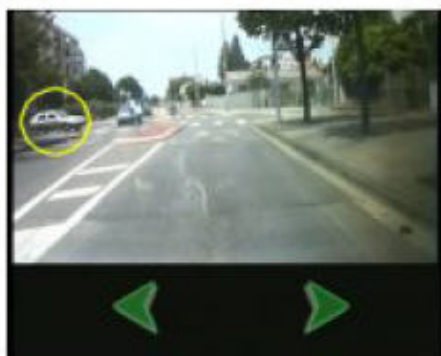
Film B, Pré-test Modifié n°6



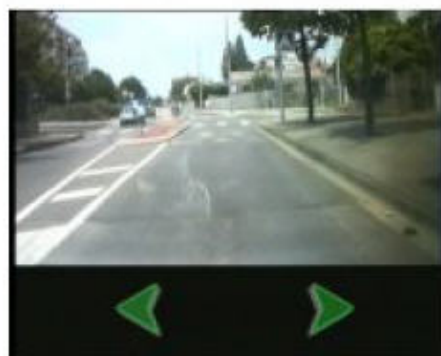
Film B, Pré-test Original n°7



Film B, Pré-test Modifié n°7



Film B, Pré-test Original n°8

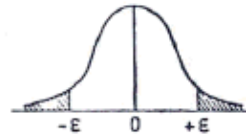


Film B, Pré-test Modifié n°8

Annexe 7 : Table de L'écart-réduit

Table de l'écart-réduit (loi normale) (*).

La table donne la probabilité α pour que l'écart-réduit égale ou dépasse, en valeur absolue, une valeur donnée ϵ , c'est-à-dire la probabilité extérieure à l'intervalle $(-\epsilon, +\epsilon)$.



α	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,00	∞	2,576	2,326	2,170	2,054	1,960	1,881	1,812	1,751	1,695
0,10	1,645	1,598	1,555	1,514	1,476	1,440	1,405	1,372	1,341	1,311
0,20	1,282	1,254	1,227	1,200	1,175	1,150	1,126	1,103	1,080	1,058
0,30	1,036	1,015	0,994	0,974	0,954	0,935	0,915	0,896	0,878	0,860
0,40	0,842	0,824	0,806	0,789	0,772	0,755	0,739	0,722	0,706	0,690
0,50	0,674	0,659	0,643	0,628	0,613	0,598	0,583	0,568	0,553	0,539
0,60	0,524	0,510	0,496	0,482	0,468	0,454	0,440	0,426	0,412	0,399
0,70	0,385	0,372	0,358	0,345	0,332	0,319	0,305	0,292	0,279	0,266
0,80	0,253	0,240	0,228	0,215	0,202	0,189	0,176	0,164	0,151	0,138
0,90	0,126	0,113	0,100	0,088	0,075	0,063	0,050	0,038	0,025	0,013

La probabilité α s'obtient par addition des nombres inscrits en marge.

Exemple : pour $\epsilon = 1,960$ la probabilité est $\alpha = 0,00 + 0,05 = 0,05$.

Table pour les petites valeurs de la probabilité.

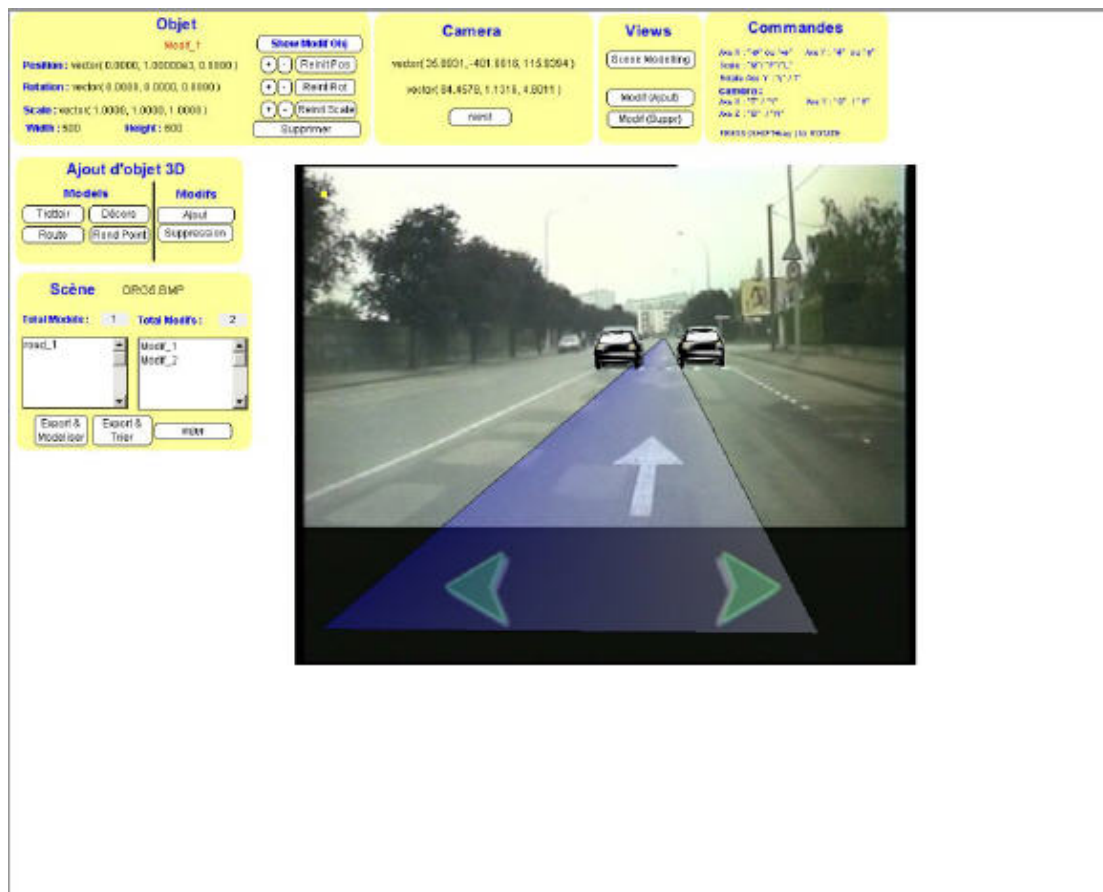
α	0,001	0,000 1	0,000 01	0,000 001	0,000 000 1	0,000 000 01	0,000 000 001
ϵ	3,29053	3,89059	4,41717	4,89164	5,32672	5,73073	6,10941

(*) D'après Fisher et Yates, Statistical tables for biological, agricultural, and medical research (Oliver and Boyd, Edinburgh) avec l'aimable autorisation des auteurs et des éditeurs.

Annexe 8 : Capture d'écran ICARE : Accueil



Annexe 9 : Capture d cran ICARE : Modeleur de scènes et trieur de scènes



Annexe 10 : Capture d'écran ICARE : Questionnaire sujet

Questionnaire sujet ICARE n° : 230

Prénom :

Date de naissance :

Vous avez obtenu le permis de conduire ...

☒ permis B en ☐ pas encore (en cours)

☐ avec conduite accompagnée

Vous possédez un véhicule personnel...

☐ Depuis l'obtention de votre permis ☐ depuis ☐ Pas de véhicule personnel

Êtes-vous un professionnel de la route ?

☐ non ☐ oui

Ces deux dernières années, combien avez parcouru de kilomètre par an ?

☒ moins de 5 000 km/an ☐ 5-10 000km/an ☐ 10-15 000 km/an ☐ 15-20 000 km/an ☐ plus de 20 000km/an

Vous conduisez...

☐ tous les jours ☐ 2-3 fois par semaine ☐ quelques fois par mois ☐ très occasionnellement

Vous conduisez fréquemment ...

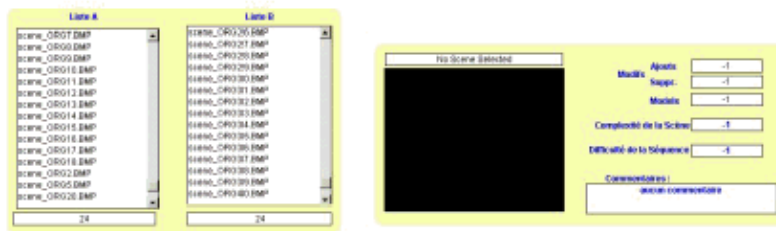
☐ Sur nationales ou départementales ☐ Sur autoroutes (ou périphériques) ☐ En ville

Vos déplacements principaux sont ...

☐ Trajets quotidiens familiaux (domicile-travail, écoles, courses...) ☐ Loisirs, Week-end, Vacances

Annexe 11 : Capture d'écran ICARE : Interface OSCAR

- Etape 1 : lancement du test. Choix de l'ordre de déroulement des deux modules A et B



- Etape 2 : affichage de la consigne du 1er module : simple tâche

Consigne 1 :

Des séquences vidéos de scènes routières vont vous être présentées.

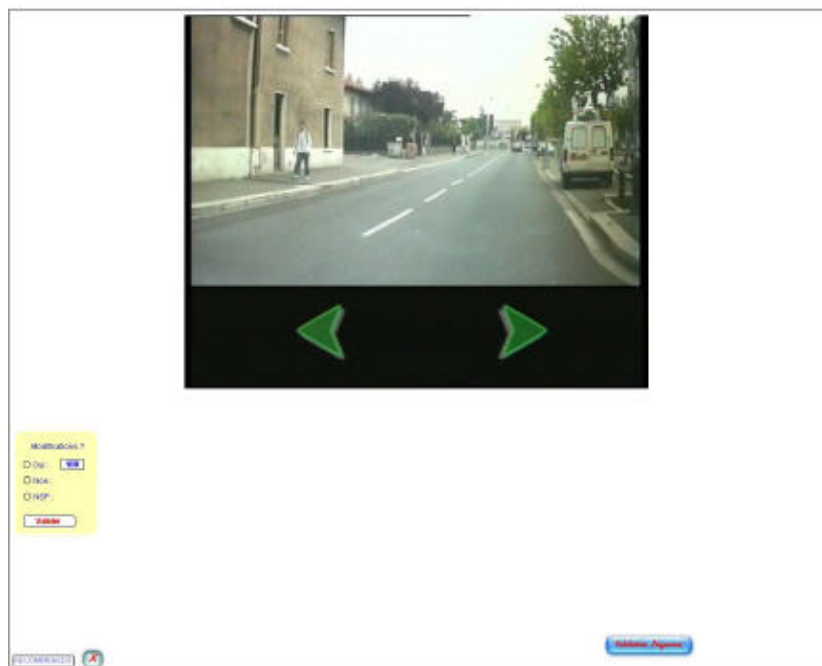
A la fin de chacune, l'image s'arrêtera sur la scène finale de la séquence.

Nous avons pu apporter des modifications sur cette scène (supprimer, ajouter ou modifier des éléments).

A vous de les rectifier.

- Etape 3 : saisie d'une réponse sujet

- ◆ Etape 3.1 : la scène est-elle modifiée ?



• Etape 3.2 :

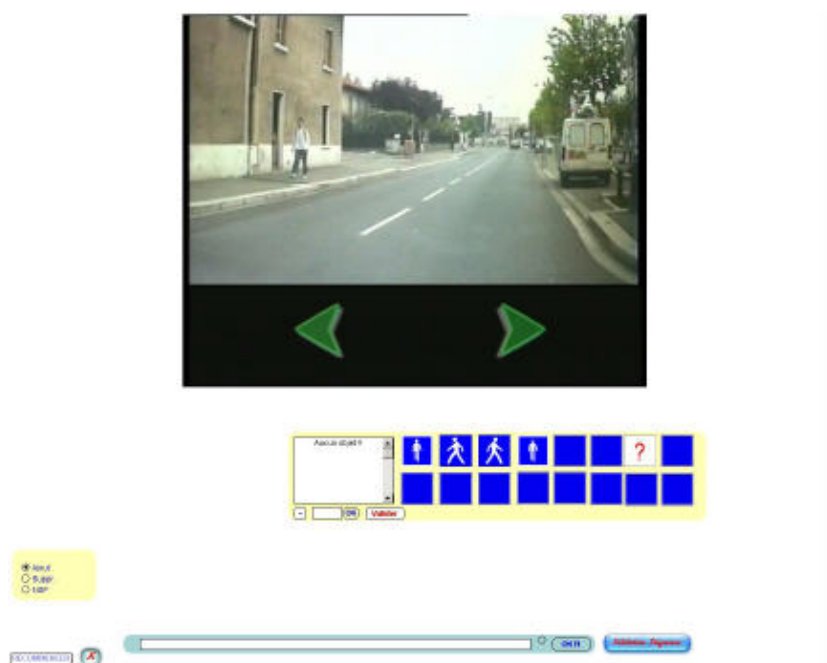
- ◆ Choix du type de changement (ajout, suppression ou nsp)
- ◆ Choix de la nature de l'élément à ajouter



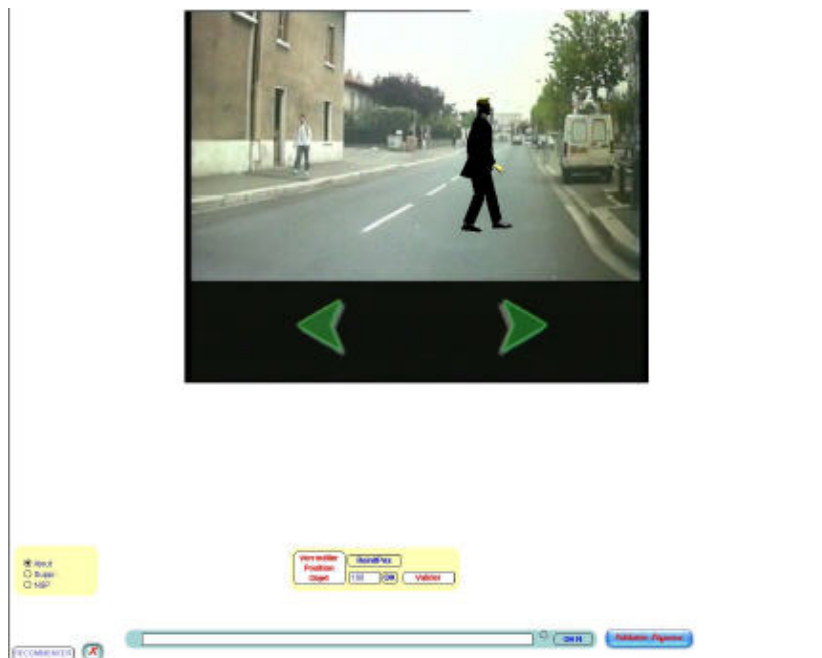
• Etape 3.3 : Choix de l'objet dans la catégorie « événement »



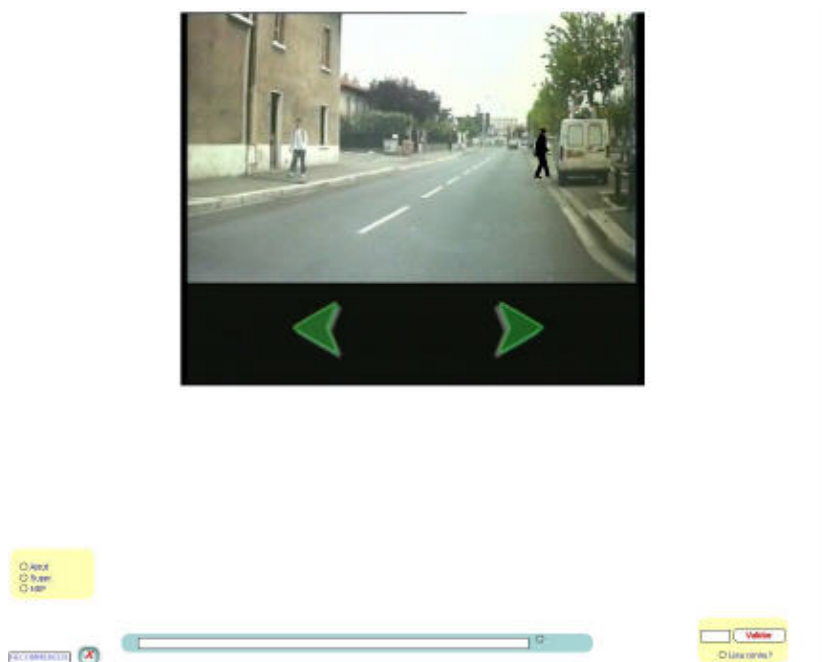
- Etape 3.4 : Choix du dernier niveau de caractéristique de l'objet à insérer dans la scène (ici orientation du piéton)



- Etape 3.5 : Positionnement de l'objet choisi dans la scène



- Etape 4 : validation de la réponse et de la séquence



Annexe 12: Capture d'écran ICARE : Feed-back visuel

- Etape 1 : Saisie du numéro du sujet

Numéro sujet ICARE:34

Prénom:JC

Âge: 35 ans (1968)

Permis B: oui

Si permis B = NON Auto-école:---- depuis: ---- mois

Si permis B = oui

Année permis B: 1986(18ans)

Permis B obtenu avec conduite accompagnée:non

Véhicule personnel depuis: 18 ans

Professionnel de la route: non

km/an:15000

fréquence de conduite (si -5000km/an) :----

infrastructure: urbain, autoroute, nationale

trajets: pro, familiaux, loisirs

Annexe 14 : Extrait de Fichier Perf ICARE, sujet 24

```

24 ST scene_ORG105 100 100 0 OUI 1 NC R1 NA 0 ajout 0 Evénement 0 100 pieton 0 100 Pieton_3 0
100 26.4475 100 NoComment [ 330.0000 , 2243.8191 , 0.0000 ]
24 ST scene_ORG105 100 100 0 OUI 1 NC PMV1 Modif_1 -1 ajout -1 Evénement -1 000 pieton -1
000 Pieton_3 -1 000 23.5593 000
24 ST scene_ORG106 100 100 0 NON 1 NC
24 ST scene_ORG107 100 100 0 NON 1 NC
24 ST scene_ORG108 100 100 0 OUI 1 NC R1 NA 0 ajout 0 Evénement 0 100 voiture 0 100 Voiture_4
0 100 43.8026 100 NoComment [ -1230.0000 , 3990.5640 , 85.1566 ]
24 ST scene_ORG108 100 100 0 OUI 1 NC PMV1 Modif_2 -1 ajout -1 Evénement -1 000 voiture -1
000 Voiture_4 -1 000 35.1470 000
24 ST scene_ORG21 100 100 0 OUI 1 NC R1 NA 1 ajout 0 Signalisation 0 100 Marquage 0 100
marquage_7_cedezlepassage 0 100 4.0776 100 NoComment [ -11.7428 , 9.5131 , 0.0000 ]
24 ST scene_ORG21 100 100 0 OUI 1 NC R2 NA 0 ajout 0 Evénement 0 100 voiture 0 100 Voiture_4
0 100 12.0607 100 NoComment [ -429.2933 , 807.8229 , 85.1566 ]
24 ST scene_ORG22 100 100 0 OUI 1 NC R1 NA 0 ajout 0 Signalisation 0 100 Marquage 0 100
marquage_6_stop 0 100 18.2993 100 NoComment [ 510.0000 , 1435.4102 , 0.0000 ]
24 ST scene_ORG22 100 100 0 OUI 1 NC PMV1 Modif_2 -1 ajout -1 Signalisation -1 000 Marquage
-1 000 marquage_7_cedezlepassage -1 000 17.5952 000
24 ST scene_ORG23 100 100 0 OUI 1 NC R1 NA 0 suppr 0 Evénement 0 100 voiture 0 100 Voiture_4
0 100 25.7574 100 NoComment [ -990.0000 , 2223.7666 , 66.7707 ]
24 ST scene_ORG23 100 100 0 OUI 1 NC PMV1 Modif_3 -1 suppr -1 Evénement -1 000 voiture -1
000 Voiture_4 -1 000 28.5198 000
24 ST scene_ORG24 100 100 0 OUI 1 NC R1 Modif_4 4 ajout 1 Evénement 1 100 pieton 1 100
Pieton_1 0 100 15.8897 50 NoComment [ 150.0000 , 1193.8191 , 0.0000 ]
24 ST scene_ORG25 100 100 0 NON 0 NC PMV1 Modif_2 -1 suppr -1 Signalisation -1 000 Marquage
-1 000 marquage_7_cedezlepassage -1 000 31.9704 000
24 ST scene_ORG26 100 100 0 OUI 1 NC R1 Modif_7 6 ajout 1 Signalisation 1 100 feu 1 100
feu_1_vert 1 100 20.6173 100 NoComment [ 480.0000 , 1675.3000 , 120.0000 ]
24 ST scene_ORG26 100 100 0 OUI 1 NC PMV1 Modif_4 -1 suppr -1 Signalisation -1 000 feu -1
000 feu_3_rouge -1 000 29.5143 000
24 ST scene_ORG26 100 100 0 OUI 1 NC PMV2 Modif_6 -1 ajout -1 Signalisation -1 000 feu -1 000
feu_1_vert -1 000 29.5143 000
24 ST scene_ORG27 100 100 0 NON 0 NC PMV1 Modif_2 -1 ajout -1 Evénement -1 000 voiture -1
000 Voiture_1 -1 000 51.0394 000
24 ST scene_ORG28 100 100 0 NON 0 NC PMV1 Modif_1 -1 ajout -1 Signalisation -1 000 Panneaux
-1 000 Panneaux_11_sensinterdit -1 000 38.7872 000
24 ST scene_ORG29 100 100 0 OUI 1 NC R1 NA 0 ajout 0 Signalisation 0 100 Marquage 0 100
marquage_6_stop 0 100 19.8771 100 NoComment [ 540.0000 , 1615.4102 , 0.0000 ]
24 ST scene_ORG29 100 100 0 OUI 1 NC PMV1 Modif_4 -1 ajout -1 Signalisation -1 000 Marquage
-1 000 marquage_7_cedezlepassage -1 000 17.3230 000
24 ST scene_ORG29 100 100 0 OUI 1 NC PMV2 Modif_3 -1 ajout -1 Signalisation -1 000 Panneaux -
1 000 Panneaux_2_CedezlePassage -1 000 24.1230 000

```

Annexe 15 : Capture d'écran du logiciel CD-DRIVE : Correction du module 'Hazard detection

- : Élément détecté par l'utilisateur et juste
- : Élément détecté par l'utilisateur mais faux
- : Élément non détecté par l'utilisateur



Ici l'utilisateur a détecté suffisamment d'éléments pour passer à la séquence suivante



Ici, il n'a détecté aucun des éléments il est obligé de revoir la vidéo, avant de passer à la séquence suivante.

Note1. Les auteurs font référence à la notion de reflet, récurrente dans les textes soviétiques, elle provient de la théorie du reflet, doctrine marxiste considérant la pensée et la conscience comme issues d'une représentation du monde extérieur. Cette idée est fondamentale dans la théorie de l'activité où les processus psychiques exécutent une fonction réfléchissante.

Note2. La méthode d'analyse élaborée pour cette EDA consiste à partir des données recueillies in situ ex post facto (immédiatement après l'occurrence de l'accident), à établir un découpage séquentiel des événements qui ont précédé le choc. Ce cadre analytique repose globalement sur l'idée qu'il existe une situation de rupture (dite « situation d'accident ») faisant basculer d'une « situation de conduite » (normale) à une

« situation d'urgence » où une action doit être entreprise pour revenir à une situation normale. L'analyse proprement dite consistera à faire superposer une logique causale à une logique spatio-temporelle (Van Elslande, 1992, p 6)

Note3. Les sinistres ayant été retenus dans la base sont : responsabilité civile, responsabilité civile matérielle, responsabilité civile corporelle, recours, indemnisation des dommages corporels, dommage au véhicule. Les dossiers pour lesquels une dépense de plus de 60 000Frs est enregistrée ont été retirés de la base afin de ne pas avoir à évoquer des circonstances douloureuses aux sujets.

Note4. La thèse de Arnaud Koustanäi (INRETS-MA) récemment achevée porte sur cette question.