



CAHIERS

D'ÉTUDES

Cahier d'Etude n° 56
Juin 1982

**L'EXPLORATION VISUELLE DU CONDUCTEUR :
ROLE DE L'APPRENTISSAGE ET DE L'EXPÉRIENCE**

CDAT
15062

L'ORGANISME NATIONAL DE SÉCURITÉ ROUTIÈRE
*est une association ayant pour objet de procéder aux études
et recherches de toutes natures sur les accidents de la circulation
routière et sur les mesures destinées à accroître la sécurité
de cette circulation, ainsi que de promouvoir toutes activités
ayant le même objet. Les Ministères intéressés à la sécurité
routière sont représentés dans son Conseil d'Administration.*

Président : E. BIDEAU

Directeur : J. Moreau de St Martin

*Les bulletins peuvent être reproduits librement sous réserve que l'origine :
«Cahiers d'Études de l'Organisme National de Sécurité Routière»
soit mentionnée.*

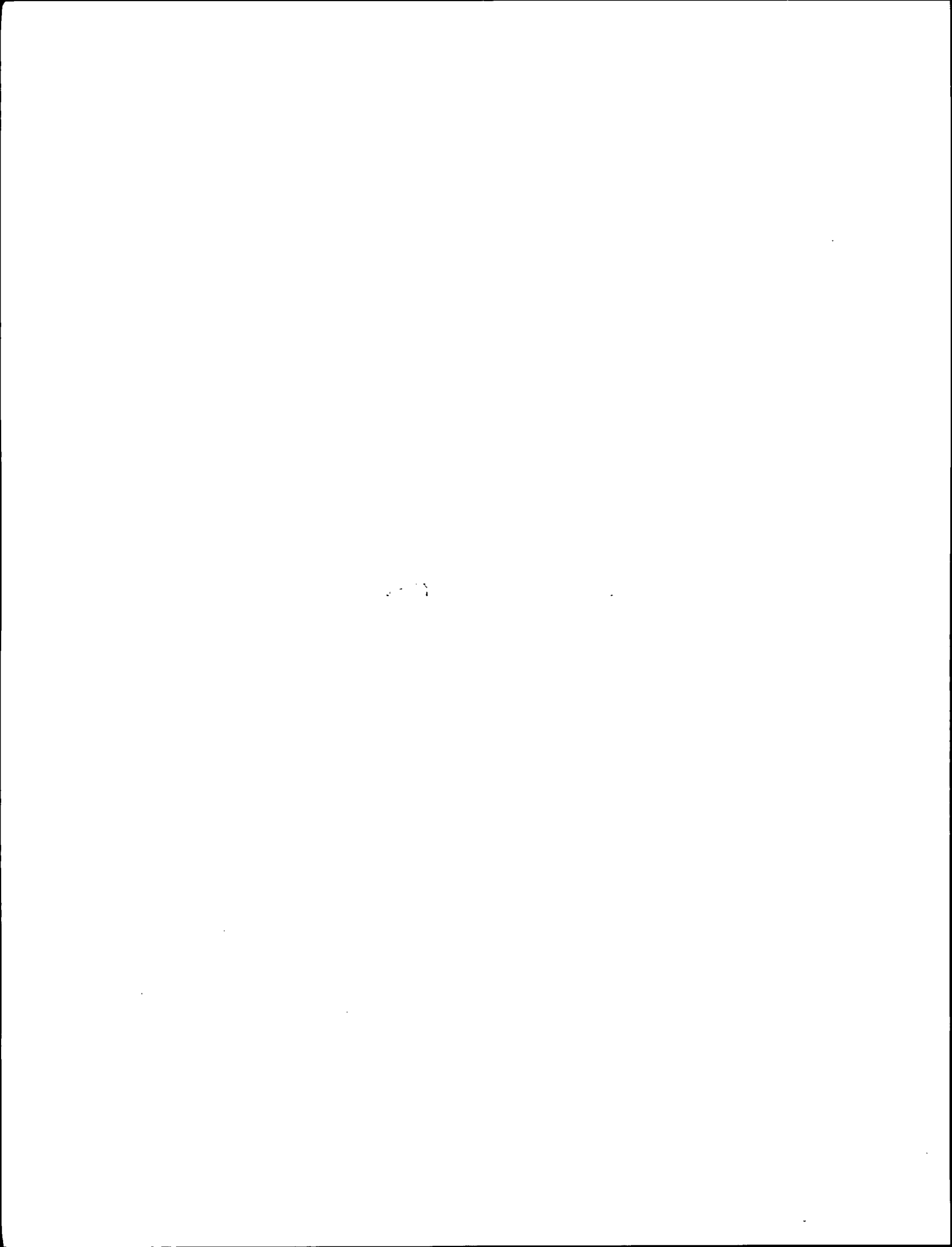
Siège social et Administration .

2, avenue du Général-Malleret - Joinville, 94114 Arcueil Cédex.

L'EXPLORATION VISUELLE DU CONDUCTEUR : ROLE DE L'APPRENTISSAGE ET DE L'EXPÉRIENCE

*Michel NEBOIT **
Docteur en Psychologie
Chargé d'Etude
à l'ONSER

** Les différentes recherches présentées dans ce cahier d'études ont fait l'objet de contrats DRCR/ONSER de 1975 à 1980.
Elles ont bénéficié des conseils scientifiques de Mr le Professeur Jacques LEPLAT et de Mr le Professeur Agrégé Michel POTTIER.
Elles ont pu être réalisées grâce à la collaboration constante d'O. LAYA et avec le concours ponctuel de M. GAUJE, C. FERROT,
A. POTTIER, J.J. SOUBERCAZE.*



**L'EXPLORATION VISUELLE DU CONDUCTEUR :
ROLE DE L'APPRENTISSAGE ET DE L'EXPERIENCE**

	Pages
RESUME	1
INTRODUCTION	2
CHAPITRE I : LA PERCEPTION VISUELLE DANS LA CONDUITE AUTOMOBILE : POSITION DU PROBLEME ET CHOIX METHODOLOGIQUES	4
INTRODUCTION	5
I – LES ACTIVITES PERCEPTIVES DANS LA CONDUITE AUTOMOBILE	5
II – INTERET DE L'ANALYSE DE L'EXPLORATION VISUELLE POUR L'ETUDE DES ACTIVITES PERCEPTIVES DU CONDUCTEUR	7
III – L'EVOLUTION DE L'EXPLORATION VISUELLE DU CONDUCTEUR AVEC L'APPRENTISSAGE ET L'EXPERIENCE : RESULTATS ANTERIEURS	9

	Pages
CHAPITRE II : EVOLUTION DE LA PRISE D'INFORMATION VISUELLE AVEC L'EXPERIENCE DU CONDUCTEUR , OBSERVATIONS PRELIMINAIRES	12
INTRODUCTION	12
I – CHANGEMENTS DANS LES CONTROLES VISUELS : OBSERVATIONS EN SITUATION REELLE	12
A. PROCEDURE GENERALE D'OBSERVATION	15
1. Tâche effectuée	15
2. Sujets	15
3. Méthode d'observation	15
4. Définition des « contrôles visuels »	15
B. RESULTATS	17
C. DISCUSSION	18
II – ANALYSE DU RAPPEL D'INFORMATIONS EN SITUATION DE VISION TACHISTOSCOPIQUE : COMPARAISON DEBUTANTS/EXPERIMENTES	19
A. PROCEDURE UTILISEE	20
1. Matériel de simulation	20
2. Tâche demandée au sujet	20
3. Sujets	20
4. Méthode de questionnement	21
5. Hypothèses	21
6. Méthode générale d'analyse des réponses	21
B. RESULTATS	22
1. Résultats globaux par grandes classes d'items	22
2. Analyse de quelques items	22
C. DISCUSSION	24
CONCLUSION	25

	Pages
CHAPITRE III : EFFETS DE L'EXERCICE ET DE L'EXPERIENCE SUR L'EXPLOITATION VISUELLE DANS UNE TACHE DE CONTROLE DE VEHICULE SUR UNE TRAJECTOIRE RECTILIGNE	26
INTRODUCTION	27
I – PROTOCOLE EXPERIMENTAL	29
1. Tâche effectuée par les sujets	29
2. Sujets	30
3. Paramètres enregistrés	30
4. Plan général de l'expérience	30
5. Hypothèse	31
II – RESULTATS	32
1. Evolution du contrôle de trajectoire	32
2. Evolution des stratégies visuelles	34
DISCUSSION ET CONCLUSION	37
CHAPITRE IV : MODIFICATIONS DES STRATEGIES D'EXPLORATION AVEC L'EXPERIENCE DANS UNE SITUATION DE DEPASSEMENT SIMULE	40
INTRODUCTION	41
I – PROTOCOLE EXPERIMENTAL	42
1. Tâche étudiée	42
2. Variables expérimentales	42
a) Contrainte temporelle	42
b) Niveaux d'expérience de la conduite	43
c) Exercices	43
d) Variables dépendantes	43
3. Résumé du protocole expérimental	43

II – RESULTATS	44
1. Analyse qualitative des effets de l'expérience sur les patterns d'exploration	44
a) Analyse globale	44
b) Analyse par source d'information	45
2. Analyse globale du rôle de l'expérience sur les paramètres de la fixation	46
3. Analyse statistique de l'évolution des paramètres de l'exploration visuelle sous les différents facteurs du plan	48
a) Analyses globales (toutes sources d'information confondues)	48
b) Analyse par source d'information	49
 DISCUSSION ET CONCLUSION	 51
 CONCLUSION GENERALE	 53
1. Résumé des résultats	54
2. Prolongements théoriques	55
3. Portée pratique : conséquences pour la pédagogie de la conduite	56
 BIBLIOGRAPHIE	 58
 ANNEXES	
ANNEXE I : Technique d'enregistrement des mouvements oculaires. .	65
ANNEXE II : Technique de l'enregistrement des mouvements du volant.	68

RÉSUMÉ

La connaissance des stratégies de recherche de l'information visuelle par le conducteur et de leur évolution au fur et à mesure de l'expérience de la conduite, sont fondamentales si on veut comprendre les problèmes rencontrés par les conducteurs débutants et proposer des méthodes pédagogiques scientifiquement fondées.

Après avoir défini la place des activités perceptives dans la conduite automobile on présente les options méthodologiques qui ont été faites dans l'étude de l'exploration visuelle et de son évolution avec l'apprentissage. Après une analyse bibliographique, les résultats obtenus à l'ONSER dans ce domaine sont analysés.

En conclusion sont présentées les voies d'application pédagogiques ainsi que des considérations méthodologiques et théoriques plus générales.

ABSTRACT

To understand the different problems met by the novice driver and to propose pedagogical aids based on scientific results, it is necessary to analyse visual search and information processing of the driver and especially their development with learning and experience.

After a definition of the role of perceptual activities in driving, methodological choice is presented to analyse visual search in a diachronic point of view. After a review of the literature on this topic, results obtained in ONSER are presented.

As a conclusion, methodological, theoretical considerations and pedagogical applications are presented.

NB : Une consultation rapide de ce document est possible en faisant une lecture des passages en gros caractères et en laissant de côté les passages en caractères plus fins.

INTRODUCTION

Pendant longtemps, la formation à la conduite automobile s'est réduite à l'apprentissage des opérations sensori-motrices de base nécessaires au contrôle du véhicule, et à l'apprentissage de « règles du jeu » sous la forme du code de la route. De plus, l'expérience courante montre que si les ajustements et coordinations sensori-motrices qui sont à la base du contrôle du véhicule dans des situations simples sont appris relativement vite et relativement facilement par la majorité des jeunes débutants, la double contrainte de contrôle de l'« outil de déplacement » que représente le véhicule, et de surveillance active des événements routiers, amène l'apprenti conducteur à ne réaliser une véritable adaptation à des conditions de circulation complexes qu'après plusieurs milliers de kilomètres. C'est donc dans une double perspective de compréhension de ces mécanismes d'adaptation et de leur évolution avec l'apprentissage et l'expérience, d'une part, et de proposition d'actions didactiques permettant de parfaire cette adaptation d'autre part, que ce travail se situe.

A partir d'une conception assez générale de la nature de la tâche de conduite en tant que déplacement au moyen d'un outil, nous avons cherché à situer plus précisément la place des activités perceptives, et leur rôle dans la conduite automobile, ce qui nous a amené à choisir des méthodes d'analyse des activités perceptives compatibles avec les exigences mêmes de la tâche et avec son caractère d'ajustement continu. La première partie de ce travail présente donc une analyse de la nature, de la place et du rôle des activités perceptives dans la conduite automobile, ainsi que les raisons des choix méthodologiques qui nous ont orienté plus spécifiquement vers l'analyse de l'exploration visuelle (chapitre premier).

Des analyses de l'exploration visuelle ont déjà été menées dans le domaine de la conduite automobile et les résultats en sont exposés par ailleurs (Cahier d'étude : VISION, EXPLORATION VISUELLE ET SECURITE ROUTIERE - M. NEBOIT, 1981). Ces résultats font ressortir l'importance de cette activité dans la tâche ainsi que les nombreux facteurs susceptibles d'avoir un effet sur la prise d'information en général et sur l'exploration visuelle en particulier. On se limitera donc ici aux résultats acquis concernant l'apprentissage.

Nous avons cherché, par des analyses de l'évolution des stratégies d'exploration visuelle du conducteur, à mettre en évidence des changements dans la prise d'information visuelle des conducteurs avec l'apprentissage.

Les premières observations menées dans le cadre de l'ONSER ont été faites dans le contexte d'apprentissage réels, en auto-école, et ont permis, malgré leurs imperfections méthodologiques, de préciser la nature et l'orientation générale des transformations de la prise d'information avec l'expérience (chapitre II).

Ces observations préliminaires nous ont amenés à analyser plus finement les stratégies d'exploration visuelle en gardant une perspective diachronique longitudinale et dans des situations permettant mieux le contrôle expérimental.

Deux expériences en « situations contrôlées » de conduite automobile ont donc été réalisées pour préciser certains des résultats issus des observations et sont présentées dans les chapitres III et IV.

La première a consisté à « isoler » la « sous-tâche » de contrôle de trajectoire afin d'analyser les changements, avec l'apprentissage et avec l'expérience, de l'exploration visuelle et afin de vérifier en particulier l'hypothèse d'une extension du champ spatio-temporel d'exploration témoignant de l'apparition de mécanismes d'anticipation (chapitre III). Les résultats font apparaître, de plus, des changements probables au niveau même de l'utilisation de la vision périphérique dans la gestion du déplacement. Enfin, on a cherché à décrire les changements de l'exploration dans une tâche combinant le contrôle de trajectoire, et le contrôle d'« événements » routiers, en proposant aux sujets d'effectuer un dépassement simulé (chapitre IV). Il s'agissait de confirmer partiellement certaines données concernant, en particulier, la diminution globale de l'activité d'exploration avec l'expérience, celle-ci pouvant s'expliquer par l'augmentation de la sélectivité de la prise d'information, la recherche des traits pertinents et l'abandon des éléments redondants. De plus, on a analysé les changements au niveau de l'utilisation de l'appareil visuel en fonction des sources d'information avec l'expérience pour vérifier si les modes de consultation des différentes sources d'informations changeaient avec l'apprentissage, non seulement en termes de sélection différente des sources d'informations, mais aussi en termes de traitement différentiel lié à la nature de l'information prélevée.

Les résultats montrent que la transformation des stratégies d'exploration visuelle avec l'apprentissage serait le résultat d'un changement dans la représentation que l'opérateur se fait de l'environnement, mais aussi d'une évolution dans l'utilisation différentielle des propriétés de l'appareil visuel pour la recherche et le traitement des informations. L'ensemble de nos données nous amène, en conclusion, à poser quelques problèmes méthodologiques et théoriques et à proposer un cadre pour la pédagogie des activités perceptives dans l'enseignement de la conduite.

CHAPITRE I

LA PERCEPTION VISUELLE DANS LA CONDUITE AUTOMOBILE : POSITION DU PROBLEME ET CHOIX METHODOLOGIQUES

INTRODUCTION

- I – LES ACTIVITES PERCEPTIVES DANS LA CONDUITE AUTOMOBILE.**
- II – INTERET DE L'ANALYSE DE L'EXPLORATION VISUELLE POUR L'ETUDE
DES ACTIVITES PERCEPTIVES DU CONDUCTEUR.**
- III – L'EVOLUTION DE L'EXPLORATION VISUELLE DU CONDUCTEUR AVEC L'APPREN-
TISSAGE ET L'EXPERIENCE : RESULTATS ANTERIEURS.**

CONCLUSION

INTRODUCTION

Conduire un véhicule c'est effectuer un déplacement dans un environnement en évolution constante. Ce déplacement est orienté vers des buts, soumis à différentes règles (explicites ou implicites), et s'effectue par l'intermédiaire d'un « outil » (le véhicule). A chaque instant, l'opérateur doit tenir compte des événements rencontrés ou probables dans le contrôle de ce déplacement. Nous tenterons donc, dans la première partie de ce chapitre, de définir la place des activités perceptives dans la conduite automobile, ce qui permettra de préciser l'orientation méthodologique générale de ce travail, discutée dans la partie II, ainsi que le choix de la méthode d'analyse des stratégies visuelles utilisée. Dans la troisième partie seront présentées les recherches déjà réalisées dans le domaine de l'évolution de l'activité visuelle ainsi que les raisons des orientations prises dans les recherches spécifiques de l'ONSER sur ce point.

I – LES ACTIVITES PERCEPTIVES DANS LA CONDUITE AUTOMOBILE.

On peut considérer la conduite automobile comme une tâche de locomotion au moyen d'un outil, comme le proposent GIBSON et CROOKS (1938).

En effet, la conduite automobile consiste à effectuer un déplacement dans un champ spatial. Ce déplacement est orienté vers un but, une destination. C'est donc une activité finalisée. La tâche consiste à éviter les obstacles réels ou potentiels qui pourraient entraver ce déplacement, et mener à une collision. L'activité de base est donc la recherche et la réalisation d'une trajectoire, celle-ci étant définie par le choix d'une vitesse et d'une position sur la chaussée.

Ces différentes caractéristiques, selon GIBSON et CROOKS, se retrouvent dans toutes les activités de locomotion. De plus, la conduite automobile présente la particularité d'être une locomotion au moyen d'un outil de déplacement : le véhicule.

En termes de système homme-machine, on peut donc concevoir la conduite automobile comme impliquant une interaction entre le conducteur et son propre véhicule, et entre l'ensemble conducteur-véhicule et l'environnement routier. La réalisation de la tâche exige donc, à la fois :

- le contrôle et la maîtrise du véhicule, outil de déplacement ;
- un ajustement continu, une adaptation de la trajectoire à l'environnement.

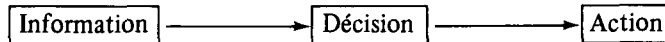
La maîtrise du véhicule est soumise aux contraintes dynamiques du système véhicule-route.

L'ajustement de la trajectoire à l'environnement est soumis aux règles formelles du code de la route, et à un ensemble de règles non formalisées (règles implicites au sens de MONSEUR et coll, 1969) construites « sur le terrain » et conciliant les exigences de rapidité et de sécurité du déplacement.

Pour réaliser cet ajustement continu, le conducteur doit, comme tout organisme susceptible d'adaptation, « interpréter l'ensemble des informations dont il dispose actuellement afin de prévoir quelle va être l'évolution de la situation présente dans le cas où il n'interviendrait pas, afin d'anticiper comment elle changerait, s'il entreprenait l'une ou l'autre forme d'action, et afin d'estimer quelles conséquences de telles évolutions auraient pour lui » (VURPILLOT, 1972, page 5).

Le conducteur doit donc, à chaque instant, prendre des décisions concernant sa trajectoire, en fonction de l'état des paramètres de la situation actuelle, mais aussi en fonction de l'état futur du système qu'il régule. Sa décision s'actualise sous forme d'actions (freiner, tourner à droite, accélérer, émettre un signal, etc.).

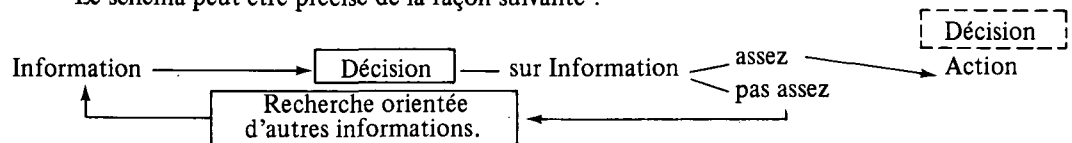
Une conception classique du processus a été souvent représentée par le schéma suivant :



Un stimulus arrivant sur le système récepteur (œil) du conducteur va amener une décision se traduisant en une action. Par exemple le conducteur voit un stop, décide de s'arrêter et freine.

Ce schéma simpliste n'a de réalité que si la classe « action » représente un répertoire d'actions limitées, en relation bi-univoque avec les classes d'information possibles. Mais si l'incertitude est nulle (ou l'information maximale) la classe décision est un ensemble vide.

Le schéma peut être précisé de la façon suivante :



Dans ce cas s'ajoute un processus de recherche d'information en cas d'incertitude, mais du même coup l'ambiguïté du concept décision surgit puisque l'activité décisionnelle apparaît au niveau du traitement de l'information et au niveau de l'action. Il paraît donc préférable d'appeler décision l'ensemble des mécanismes de « tri » se traduisant par un choix final (actions de tous ordres : prise d'information, ou freinage par exemple). Nous appellerons donc décision, l'ensemble du processus de sélection et de choix (défini par les critères de choix par exemple) et non l'acte final que nous ne considérerons que comme le produit de « sortie » du processus décisionnel.

On considérera donc la décision comme l'ensemble des mécanismes de prélèvement d'information, associés aux mécanismes de prévision (liés aux hypothèses du sujet). Les deux sous-systèmes ne pouvant être étudiés fonctionnellement que dans leurs relations.

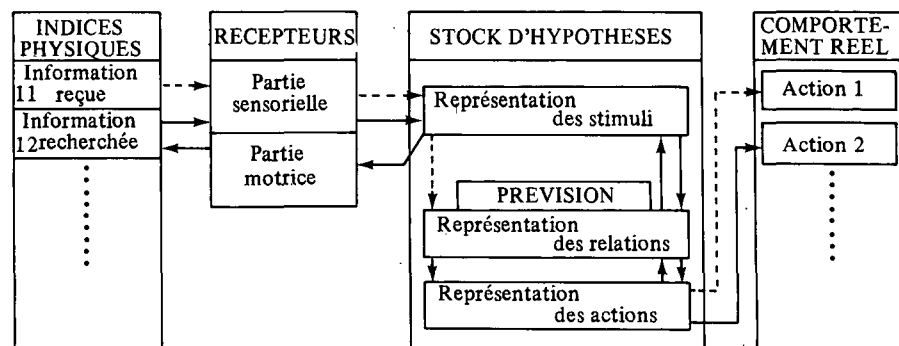
Le prélèvement d'information peut alors être de deux types :

- *Information non recherchée* (sans recherche active de la part du conducteur), c'est par exemple le cas de stimulus à caractéristiques physiques déterminées et très stimulantes. Dans ce cas l'information est intégrée comme nouvel indice restructurant les hypothèses, donc, finalement, la prévision du sujet.

- *Information recherchée* qui est une information attendue par l'opérateur puisque sa recherche même est liée au fonctionnement du stock d'hypothèses du conducteur et à leur traduction en activités de prévision, qui s'actualisent sous la forme d'une orientation des récepteurs visuels.

On voit donc, dans cette conception que la définition des catégories d'information passe par leur statut au niveau du traitement dont elles font l'objet. Les hypothèses de l'opérateur doivent donc former partie intégrante d'un système explicatif analysant son système de recherche d'information.

Le schéma succinct suivant pourrait en rendre compte :



Si ce modèle simplifié a un sens au niveau fonctionnel, cela implique l'analyse conjointe des activités perceptives, des hypothèses et de l'action finale du conducteur.

D'autre part, et c'est le point qui nous importe ici, l'expérience de la conduite va se traduire hypothétiquement par des différences au niveau des représentations. Par exemple, pour une situation donnée, le stock d'hypothèses sera plus faible ou moins opérationnalisable (manque de représentation des relations stimulus-action par exemple) ce qui se traduira théoriquement par une organisation différente de la prise d'information.

Dans ce cas, l'état du système véhicule-environnement à l'instant t est fourni au conducteur par l'ensemble des informations captées ou recherchées jusqu'à l'instant t .

L'état futur du système est anticipé par la confrontation des matériaux informatifs recueillis et du stock de connaissances préalablement acquis au cours de l'expérience.

Dans une perspective d'analyse du travail, la prise d'information, et tout spécialement la prise d'information visuelle a donc un double statut. Elle est une des manifestations observables des hypothèses du conducteur, mais aussi, elle motive, et peut donc permettre d'expliquer, dans une certaine mesure, telle ou telle action finale.

Ce double statut de la prise d'information visuelle, à savoir, manifestation des hypothèses et des anticipations du sujet, et point de départ de ses actions sur l'environnement, en font une activité dont l'analyse est cruciale pour la compréhension de l'ensemble de l'activité du conducteur. De plus, la tâche de conduite se présente comme une tâche complexe et très peu structurée (SAAD' 1975). Elle peut être considérée comme complexe en raison de l'ajustement continu qu'elle exige, mais aussi en raison de la multiplicité des tâches mises en jeu et par la difficulté de leur coordination.

Elle est « peu structurée au sens où ni le Code de la Route ni la formation ne définissent clairement, pour l'opérateur, les modalités de cet ajustement », (SAAD, op. cit.), ce qui la différencie nettement des tâches de pilotage d'aéronefs ou de certaines tâches de contrôle de processus, par exemple.

Enfin, elle est également peu structurée au sens où l'ensemble des situations que rencontre le conducteur, peut être considéré comme infini, dans la mesure où aucune situation ne peut être strictement semblable à une autre. Il faut également préciser que les informations utilisées par le conducteur sont, pour la plus grande part, des informations implicites, les informations explicites données par la signalisation n'ayant le plus souvent que valeur d'indication ou d'obligation et une fonction de régulation sociale souvent ambiguë. Ceci a une conséquence importante, c'est que le conducteur doit, au cours de l'acquisition de son expérience, construire lui-même les invariants qui lui permettront de s'ajuster à des classes de situations ; cette élaboration progressive d'une catégorisation lui permettant d'agir dans des situations devenues alors « régulières » et non plus « aléatoires » au sens de VERGNAUD (1964). Cette dernière remarque justifie déjà, à elle seule, nous semble-t-il, le recours à une analyse diachronique, c'est-à-dire à une analyse des transformations, de l'évolution des activités perceptives sous l'effet de l'apprentissage et de l'expérience.

II – INTERET DE L'ANALYSE DE L'EXPLORATION VISUELLE POUR L'ETUDE DES ACTIVITES PERCEPTIVES DU CONDUCTEUR

S'agissant d'une tâche à dominante perceptive, on peut penser que « la structuration de la tâche consistera, pour l'opérateur, à identifier les sources privilégiées d'information, et à organiser dans l'espace et dans le temps la consultation de ces sources d'information ; en un mot, à mettre au point des stratégies de prélèvement et de traitement de l'information » (SAAD, op. cit.).

De plus, la prise de connaissance de l'environnement n'est pas réalisée de manière exhaustive et passive sous forme de la seule réception par l'organisme des stimulations qui se présentent à lui. Il y a en réalité, constamment, sélection et transformation de l'information.

Or, le recueil de l'information est fait, de façon sélective, par l'intermédiaire de l'activité d'exploration qui, selon PIAGET (1961, page 175) est « la plus simple et la plus générale des activités perceptives ». Cette « activité exploratoire qui dirige les mouvements du regard et le choix des pauses ou concentrations » (PIAGET 1961, page 176) nous paraît pouvoir rendre compte à la fois des caractéristiques de la perception et de son rôle dans le processus particulier d'adaptation qu'est la conduite automobile.

Enfin, si on considère, avec LEVY-SCHOEN (1972) que, « les mécanismes de prévision, d'orientation sélective de l'attention, de structuration du champ visuel en éléments significatifs reliés entre eux, sont à la base de l'organisation de l'exploration oculaire », on peut faire l'hypothèse que l'activité d'exploration visuelle sera un indicateur irremplaçable de ces mécanismes.

Ces différentes raisons ont amené à étudier les activités perceptives du conducteur, et en particulier, l'exploration visuelle en tant qu'activité de recueil et de traitement de l'information.

De plus, puisque la perception ne dépend pas seulement du champ actuel de stimulations, mais aussi de l'expérience du sujet percevant, et en particulier des acquisitions spécifiques concernant une tâche donnée, on a également choisi de mener cette analyse de façon diachronique, c'est-à-dire en étudiant les transformations, l'évolution de l'exploration visuelle avec l'apprentissage et avec l'expérience du conducteur.

L'exploration visuelle* peut être décrite comme une séquence de pauses oculaires ou *fixations* et de déplacements, ou *saccades*. Les fixations ont des durées qui peuvent varier de 100 ms (millisecondes) à 1000 ms (voir 2000 ms) et la durée des saccades va de 10 à 70 ms, les saccades occupant de 5 % à 10 % du temps global d'exploration. On considère généralement que des fixations d'une durée inférieure à 200 ms ne permettent pas de traiter de l'information. Il faut cependant préciser qu'il existe des possibilités d'identification de signal pour des durées de fixation allant de 100 ms à 200 ms, ou même pour des durées inférieures (couleurs par exemple).

En plus des saccades et des fixations, existent des sortes de vibrations de l'œil, appelées *micronystagmus* qui sont des déplacements très rapides et de très faible amplitude et qui sont nécessaires à la sensation visuelle. L'œil est enfin capable d'effectuer des poursuites de cible, c'est-à-dire de suivre, de façon non saccadée, un objet mobile.

Afin d'enregistrer les déplacements du regard dans un champ visuel animé, comme c'est le cas dans la majorité des situations de travail, MACKWORTH (1958) propose le système suivant : une caméra montée sur la tête du sujet recueille l'image du champ visuel en même temps qu'un montage optique projette sur la cornée d'un des yeux un rayon lumineux. Les deux signaux sont superposés et enregistrés sur bande vidéo (ou sur films), la direction du regard étant matérialisée par un point lumineux se déplaçant sur l'image du champ de travail.

Dans la mesure où nous nous intéressons essentiellement aux éléments, objets de fixation oculaires, et aux paramètres de la fixation (nombre, durée), et non à la vitesse ou à la durée de la saccade, un oculomètre simple suffisait. Par contre, des qualités de maniabilité, d'acceptation par le sujet en situation de conduite, mais aussi de précision minimale étaient exigées. Enfin, il était nécessaire d'avoir un enregistrement direct de la position de l'œil superposée à l'image du champ de travail. Ces différentes contraintes nous ont amenés à utiliser, pour l'analyse directe de l'exploration visuelle, le NAC EYE MARK RECORDER, décrit sommairement en annexe I et présenté plus en détail par ailleurs*.

* Cf. L'ENREGISTREMENT ET L'ANALYSE DE LA DIRECTION DU REGARD DU CONDUCTEUR. M. NEBOIT et O. LAYA, Cahier d'étude de l'ONSER (à paraître).

La conduite automobile sollicite de façon importante les activités perceptives du conducteur et plus spécialement la perception visuelle. Puisque l'opérateur structure la tâche en identifiant les sources privilégiées d'information et en organisant dans l'espace et dans le temps la consultation des sources d'information, il est du plus haut intérêt d'analyser les stratégies d'exploration visuelle pour comprendre les mécanismes mis en jeu. De plus, cette activité évoluant avec le niveau de « qualification » de l'opérateur en général et avec le niveau d'expérience du conducteur, une perspective diachronique, c'est-à-dire cherchant à analyser une évolution, permettra tout d'abord de façon générale, d'expliquer au moins partiellement le « comportement visuel » du conducteur expérimenté. Mais surtout, une meilleure connaissance de ces processus doit permettre, comme le souligne le rapport OCDE (1981) sur les Principes Directeurs de la Formation du Conducteur, de fonder scientifiquement une nouvelle pédagogie de la conduite.

Les résultats antérieurs, les observations sur le terrain et les expériences qui seront présentées maintenant illustrent cette approche.

III – EVOLUTION DE L'EXPLORATION VISUELLE DU CONDUCTEUR AVEC L'APPRENTISSAGE : RESULTATS ANTERIEURS.

Avant d'aborder les études menées à l'ONSER sur ce thème, on verra brièvement les résultats déjà acquis dans ce domaine, ce qui permettra de justifier les orientations des études présentées par la suite.

Dans le cas de l'apprentissage de la conduite automobile, comme dans tous les cas d'apprentissage chez l'adulte, on se trouve devant l'alternative suivante : ou bien le sujet va mettre en œuvre des processus de recherche d'information et de traitement déjà acquis antérieurement et parfaitement adaptés, et dans ce cas on ne devrait pas observer de changement de ses stratégies de recherche et de traitement ; ou bien au contraire, devant une situation totalement, ou même partiellement nouvelle pour lui, l'opérateur devra au moins adapter à cette nouvelle tâche des procédures déjà acquises, voire mettre en jeu des stratégies complètement nouvelles, ce dont devraient alors témoigner des évolutions au cours de l'apprentissage.

Chez l'adulte, on n'évoquera pas, à proprement parler, un apprentissage de la recherche et du traitement de l'information, mais au moins un apprentissage de l'analyse et du traitement des informations au sens large (indices, traits pertinents, etc.) spécifiques de la tâche en question. Cet apprentissage pourrait d'ailleurs passer par l'acquisition progressive de classes d'indices et des significations correspondantes dans le contexte même de la tâche mise en œuvre.

On peut faire l'hypothèse que le conducteur débutant, placé devant une situation en partie nouvelle pour lui, ne va pas d'emblée mettre en jeu des processus de recueil et de traitement de l'information complètement adaptés, et que ces mécanismes vont se développer, s'affiner, tout au long des premiers kilomètres. Il est même probable que l'apprentissage du traitement des informations spécifiques de la situation de conduite demande plusieurs mois de pratique alors que le contrôle élémentaire du véhicule est appris très rapidement (au cours des premières heures de conduite).

Récemment un certain nombre de chercheurs ont étudié le développement de l'activité de recherche visuelle chez le conducteur, en analysant l'évolution de l'exploration visuelle au fur et à mesure de l'apprentissage et/ou en comparant des conducteurs débutants et des conducteurs expérimentés.

L'étude la plus ancienne (ZELL, 1969) avait pour but de savoir de quelle nature sont les changements des stratégies d'exploration visuelle chez les conducteurs débutants et à partir de quel niveau d'expérience on peut considérer que les débutants ont des stratégies d'exploration semblables à celles des expérimentés.

Quatre sujets débutants ont effectué des parcours dans diverses conditions de trafic, à un mois d'intervalle, pendant quatre mois. De plus deux conducteurs expérimentés (plus de 20 ans de conduite) ont effectué les mêmes parcours dans les mêmes conditions de trafic. Dans tous les cas les mouvements oculaires étaient enregistrés.

Les résultats montrent que les patterns de mouvements oculaires des débutants changent de façon substantielle durant les premiers mois de leur expérience de conducteur : les premiers parcours se caractérisent par un nombre important de grands mouvements de tête et par des saccades oculaires de grande amplitude. Un grand nombre de fixations ont lieu, juste devant le véhicule, et ces fixations diminuent en fréquence pendant les premiers mois de conduite. Les fixations, plus dispersées au début, tendent à se concentrer sur certaines zones privilégiées, en particulier autour du « point d'expansion » défini par GIBSON (1966).

Les conducteurs expérimentés recherchent, de façon privilégiée, l'information à une distance d'autant plus grande que leur vitesse est élevée, et se donnent ainsi une « marge de sécurité » de l'ordre de trois secondes. Ce fait n'apparaît pas chez les débutants qui, au contraire, fixent la route à une distance donnée, quelle que soit la vitesse. Ce résultat, confirmé par toutes les études, montrerait que ce n'est que progressivement que l'apprenti-conducteur intègre la variable temporelle dans sa gestion du déplacement car ZELL ne trouve pas de différence quant aux durées moyennes de fixations, que ce soit au cours de l'apprentissage chez les débutants, ou dans la comparaison débutants/expérimentés. L'auteur conclut que les durées de fixation (ainsi que les taux de fixation) sont des caractéristiques individuelles stables et dépendent plus de facteurs physiologiques que de l'apprentissage. Il est probable que ce résultat soit dû au fait que l'auteur a regroupé tous les objets fixés. En effet, on peut penser que le regroupement des fixations oculaires et le calcul d'une moyenne de durée des fixations sur des objets très différents, va amener des histogrammes typiques des fixations oculaires du sujet humain. Par contre, des analyses par objet ou par catégories d'objets peuvent faire apparaître des durées différentes selon les objets fixés.

Essayant d'analyser séparément les objets fixés, dans une tâche de contrôle de trajectoire en ligne droite, MOURANT et ROCKWELL (1972) montrent que le temps de fixation sur les bordures de chaussées, en pourcentage du temps global est très faible chez les expérimentés (moins de 5 %) alors que chez les débutants ce pourcentage est plus élevé (plus de 35 %). Par contre, le point d'expansion est fixé pendant 95 % du temps chez les expérimentés et pendant 65 % du temps chez les débutants.

Quant aux durées de fixations moyennes dans cette expérience, elles sont très élevées chez l'expérimenté pour les fixations au point d'expansion (de l'ordre de deux secondes) alors que les débutants ont des durées de fixations plus courtes (300 ms) pour ce même « indice ».

La présence de nombreuses fixations sur les bordures de voie, chez le débutant, est le plus souvent interprétée comme une impossibilité d'utiliser la vision périphérique pour ce contrôle de position.

Pour analyser les effets de l'entraînement sur les patterns de mouvements oculaires et sur les erreurs de conduite, ALLEN et coll. (1978) comparent 15 sujets possédant leur permis et 15 apprentis conducteurs, sur des films présentant des situations dangereuses, sur simulateur. Sont enregistrés les mouvements oculaires, les actions de contrôle sur les commandes, les erreurs de conduite (définies comme l'absence d'actions d'évitement jugées nécessaires par un groupe d'experts). Le nombre d'actions de contrôle est légèrement supérieur chez les expérimentés mais la différence n'est pas significative. Une description globale des mouvements des yeux, en termes d'amplitude des saccades et en termes de fréquence de fixation ne fait pas apparaître de différence significative bien que les expérimentés présentent toujours plus de fixations que les débutants. Par contre la répétition du film (6 fois) amène dans les deux cas une diminution importante de la fréquence de fixation. De la même façon que chez ZELL, on peut penser que l'analyse globale des mouvements des yeux est en partie responsable de l'absence des différences avec l'expérience et avec l'entraînement.

Il est en effet probable que les stratégies de prise d'information évoluent dans la sélection des différents indices, mais que cette évolution ne soit pas visible au niveau des paramètres globaux de la fixation, ceux-ci restant dans des limites physiologiques connues.

Par contre, l'analyse des différents paramètres de la fixation et la distinction des objets fixés, donc les relations à des tâches perceptives différentes, nous paraît une voie plus prometteuse et plus représentative de l'activité perceptivo-cognitive sous jacente à l'activité oculaire.

Dans ce contexte, COHEN et STUDACH (1977) étudiant les mouvements des yeux de débutants et d'expérimentés dans des courbes, ont montré que, chez les expérimentés, les patterns oculomoteurs étaient comparables intra-situation (courbe à droite, courbe à gauche), mais très différents inter-situation (courbe à droite contre courbe à gauche) que ce soit sur le nombre de fixations, le temps moyen de fixations ou l'amplitude des saccades. Par contre, sur ces mêmes paramètres, il n'est pas possible de décrire, chez les débutants, une standardisation intra-situation, ni une différence inter-situation. Ce qui renforcerait l'hypothèse d'une forte structuration associée à une grande adaptabilité chez l'expérimenté.

En termes d'objet fixé, ou plutôt d'information recueillie, il faut signaler également les difficultés du conducteur débutant en ce qui concerne l'utilisation des rétroviseurs. Une analyse de ce problème (MOURANT et DONOHUE, 1977) montre que les conducteurs regardent plus souvent leurs rétroviseurs s'ils sont expérimentés, ce qui a d'ailleurs déjà été montré par des techniques simples (BLANCHARD 1978). De plus, les durées supérieures de fixation au rétroviseur sont égales pour les deux groupes (débutants, expérimentés), ce qui suggérerait, dans ce cas, que les débutants sont capables de prélever l'information dans un rétroviseur, mais qu'ils ne peuvent le faire à cause d'une trop grande charge perceptivo-globale, ou bien qu'ils ne considèrent pas cette information comme importante.

Les résultats des études de l'évolution de l'exploration visuelle avec l'expérience de la conduite automobile montrent d'abord que, au moins dans les situations étudiées, le nombre global de fixations diminue avec l'expérience. L'activité d'exploration diminuerait donc avec l'expérience.

De plus, la sélectivité, c'est-à-dire l'orientation de l'attention visuelle vers quelques sources privilégiées augmente. Enfin, le rôle de la vision périphérique serait augmenté avec l'expérience.

Ces trois points vont donc dans le sens des évolutions de l'exploration visuelle, trouvées dans d'autres tâches, avec l'exercice.

Mais la spécificité de la conduite automobile et en particulier son aspect déplacement dans un champ spatio-temporel, font apparaître un élément nouveau : à savoir la recherche anticipée d'informations dans le champ spatio-temporel dont témoigne « l'anticipation visuelle » des conducteurs expérimentés, décrite par ZELL (1979). Ceci nous paraît donc un des aspects importants qui sera analysé par la suite.

D'autre part, on remarque que les analyses des durées élémentaires de fixation sont rarement faites par « objet » ou par source d'information. Or, c'est probablement à ce niveau que l'on peut espérer voir apparaître des évolutions qui témoigneraient de l'adaptation de la stratégie d'exploration visuelle à la nature de l'information prélevée et analysée. C'est le deuxième aspect sur lequel l'accent sera mis dans les expériences qui seront présentées.

Nous chercherons donc chaque fois que possible à vérifier les lois générales de l'évolution de la saisie visuelle, et à déceler les spécificités éventuelles liées à la nature de la tâche.

Nous essaierons d'abord, par des observations sur le terrain et en laboratoire, de nous assurer du double aspect des changements de la prise d'information : changements de formes et changements de contenus (Ch. III). Puis, dans des expérimentations en situation « quasi réelle », nous chercherons à décrire les évolutions de ces paramètres de l'exploration visuelle dans des situations simplifiées mais mettant en jeu des activités isomorphes aux activités mises en jeu dans la réalité (Ch. IV et V).

CHAPITRE II

EVOLUTION DE LA PRISE D'INFORMATIONS VISUELLES AVEC L'EXPERIENCE DU CONDUCTEUR : OBSERVATIONS PRELIMINAIRES*

INTRODUCTION

I – LES CHANGEMENTS DANS LES CONTROLES VISUELS AVEC L'EXPERIENCE :
OBSERVATIONS EN SITUATION REELLE.

II – ANALYSE DU RAPPEL D'INFORMATIONS EN SITUATION DE VISION TACHISTOSCO-
PIQUE : COMPARAISON DEBUTANTS / EXPERIMENTES.

CONCLUSION

* *Ces études ont été réalisées avec l'aide de M. GAUJE et O. LAYA qui ont collaboré au recueil des données et à l'analyse des résultats.*

INTRODUCTION

S'il y a effectivement changement des activités de prise d'information visuelle, on peut caractériser ce changement par des modifications dans la forme de la saisie visuelle, et par des changements du contenu de la prise d'information.

Il aurait donc été nécessaire d'analyser conjointement ces variations, mais ceci impliquerait des dispositifs expérimentaux assez lourds, pouvant difficilement s'inscrire dans le cadre d'une observation en situation réelle d'apprentissage. C'est ce qui a amené, dans une première phase, à réaliser des observations distinctes :

- sur l'évolution des contrôles perceptifs avec l'expérience, en situation réelle de conduite,
- sur l'évolution de l'information rappelée en situation statique simulée.

Les observations qui seront présentées maintenant étaient guidées par les hypothèses suivantes : l'exploration visuelle est orientée par les anticipations et les prévisions du sujet sur l'évolution de l'environnement, donc par sa connaissance préalable, celle-ci étant d'autant plus adéquate que le conducteur est plus expérimenté.

On s'attend donc :

- à ce que les débutants explorent moins systématiquement, et de façon moins structurée (en tout cas structurée différemment) le « champ de travail »,
- à ce que les résultats de leur exploration aboutissent à des prises d'informations et à des traitements moins riches que ceux des expérimentés ; donc à ce qu'après exploration, les expérimentés soient plus capable de rappeler les informations prélevées et d'anticiper le déroulement futur des événements.

Ces observations ont été menées sur des groupes « extrêmes » quant à leur niveau d'expérience : conducteurs débutants en cours d'apprentissage, et conducteurs expérimentés. On espère ainsi caractériser les deux pôles d'un éventuel « continuum » de l'évolution de la prise d'information. Ces observations, plutôt qualitatives que quantitatives, ont permis de définir le cadre général de l'analyse de l'évolution de la prise d'information visuelle avec l'expérience, et de vérifier si les indicateurs utilisés avaient une certaine pertinence. Ces indicateurs étaient d'une part les contrôles visuels effectués par le conducteur sur son champ de travail (dans la première observation sur le terrain) et d'autre part la mémorisation à court terme de l'information (dans l'observation en situation simulée).

I – CHANGEMENTS DANS LES CONTROLES VISUELS AVEC L'EXPERIENCE : OBSERVATION EN SITUATION REELLE

Cette première analyse avait pour but de tenter une série d'observations sur des sujets en cours d'apprentissage de la conduite, et sur des conducteurs expérimentés, afin de vérifier empiriquement le bien fondé de la démarche. Partant de la conception selon laquelle le sujet effectue un contrôle de l'information, plutôt qu'il ne détecte des informations, on peut faire l'hypothèse que le conducteur, devant une situation donnée, émet des prévisions (qui dépendent de son niveau d'expérience) et cherche à confirmer (ou à infirmer) ses hypothèses.

On devrait donc pouvoir observer, en situation réelle, un changement dans les procédures de contrôles perceptifs visuels qui devrait refléter un changement dans ses prévisions, en fonction du niveau d'apprentissage.

Il reste à définir quels pourraient être ces changements, à la lumière de l'analyse de la tâche de conduite, et en tenant compte des connaissances de certaines lois de l'apprentissage.

On considère couramment (Mc RUER et col. 1977) que la conduite de véhicule consiste à :

- décider d'une trajectoire en fonction de signaux, et de signes indicateurs d'obstacles, réglementaires, réels ou potentiels,
- faire réaliser au véhicule une trajectoire définie, en contrôlant les paramètres régissant la dynamique du véhicule,
- accomplir des opérations gestuelles sur les commandes du véhicule pour réaliser la trajectoire adéquate.

On peut alors considérer la conduite comme une régulation complexe, mettant en jeu ces trois niveaux de régulation plus simples, et hiérarchisés. Au plan de la réalisation de la tâche, la réalisation concrète des séquences gestuelles sur les organes de commande assure une régulation de la trajectoire, qui elle-même permet de décider de la « bonne » trajectoire à suivre ; au plan de l'apprentissage, on peut faire l'hypothèse que l'apprentissage de la décision d'une trajectoire ne peut se faire qu'à condition que le sujet sache déjà réaliser une trajectoire ce qui n'est possible que si le sujet est capable d'accomplir les actions élémentaires sur les commandes du véhicule.

En ce qui concerne la prise d'information visuelle, on peut faire l'hypothèse de trois phases dans l'apprentissage (Mc RUER et coll. 1977).

– la première phase va consister essentiellement à apprendre à contrôler les différentes commandes du véhicule, donc à automatiser les différentes opérations élémentaires. On devrait relever dans cette première phase, des prises d'informations visuelles dont la fonction serait de repérer la position des organes de commande dans l'espace de l'habitacle ; puis ces « coups d'œil » sur les commandes disparaîtraient (ou deviendraient moins fréquents) avec l'acquisition de la connaissance de la position de ces dernières par rapport au corps propre dans l'habitacle.

– la seconde phase consisterait en l'apprentissage de la réalisation de différentes trajectoires ; les prises d'information seraient alors essentiellement dirigées vers les indices permettant de détecter des écarts de trajectoire.

– la troisième phase verra apparaître la prise en charge progressive des signaux et signes permettant de décider de la trajectoire.

On devrait donc observer, au fur et à mesure de l'apprentissage, un « élargissement » du champ spatial et temporel de la prise d'information, lié à une extension du champ temporel de prévision (NEBOIT 1974). Précisons que ces 3 phases ne sont pas indépendantes mais sont au contraire interdépendantes puisque les différents niveaux ne sont, en réalité, caractérisés que par la dominante d'un des niveaux de régulation. Néanmoins on peut faire l'hypothèse d'une hiérarchie, dans le sens d'une nécessité de l'acquisition du niveau 1 pour maîtriser le niveau 2, etc.

Le but de cette observation préliminaire était donc :

- de définir les catégories de contrôles visuels par rapport à leur statut dans les 3 niveaux de régulation présentés plus haut,
- de préparer une « grille d'observation » de ces différents contrôles visuels,
- d'analyser, en situation réelle de trafic, les changements éventuels dans l'organisation de ces contrôles, en essayant de voir, en particulier, des variations dans la fréquence des divers contrôles (donc de leur importance relative) avec l'expérience de la conduite.

A – PROCEDURE GENERALE D'OBSERVATION

1) tâche effectuée :

Les sujets devaient conduire « normalement » sur un circuit standard : parcours rural de 15 km, à trafic faible, avec des traversées de petites agglomérations. Le parcours avait une durée d'environ 25 mn et comprenait 6 lignes droites, 12 virages, et 16 intersections. Les observations ont été faites aux mêmes heures de la journée afin de contrôler le paramètre trafic.

2) sujets :

On a observé 3 sujets en cours d'apprentissage (premières heures de conduite) et 3 sujets expérimentés (ayant conduit plus de 100 000 km).

3) méthode d'observation :

Les directions du regard étaient relevées par l'intermédiaire d'un miroir grossissant, par un observateur placé derrière le conducteur. Les premiers essais ont montré qu'un observateur entraîné pouvait relever des directions du regard bien différenciées (par exemple : à droite ou à gauche à une intersection, rétroviseur intérieur ou extérieur, véhicule devant, etc).

Cette méthode rudimentaire ne permettait pas de mesurer des durées de fixation, ni de différencier des fixations nécessitant des déplacements faibles des yeux.

4) définition des « contrôles visuels » observés :

Deux solutions extrêmes étaient envisageables :

- ne relever que des observables, c'est-à-dire effectuer une description des mouvements oculaires. Mais ceci n'était ni possible (à cause de l'absence d'enregistrement), ni souhaitable, à cause des difficultés d'interprétation à cette phase de l'étude,
- faire directement des interprétations des mouvements du regard.

On a choisi une solution intermédiaire consistant à relever les directions du regard observables, et interprétables en terme de contrôle visuel, en les rapportant aux catégories de contrôle issues des hypothèses sur l'apprentissage présentées plus haut.

On a donc distingué :

- . les contrôles visuels à l'intérieur du véhicule,
- . les contrôles visuels sur la trajectoire (plus spécifiquement les anticipations visuelles en virage),
- . les contrôles sur l'environnement routier (dans lesquels on a distingué les contrôles de routine et les contrôles en « situation-problèmes »).

– les contrôles visuels à l'intérieur du véhicule :

Les « coups d'œil » sur les commandes du véhicule (commande du clignotant, levier de vitesse, pédales) ont été relevés. Ces contrôles ont un statut intéressant dans la mesure où ils peuvent témoigner, au début de l'apprentissage, de l'acquisition en cours, de la disposition spatiale des organes de commande.

La présence de ce type de contrôle témoignerait du non-achèvement de cette acquisition, inversement leur disparition indiquerait la fin de l'élaboration de la connaissance spatiale de la localisation des commandes par rapport au corps propre, et dans l'habitacle.

On a également pu facilement relever les regards au tachymètre, et on les a classé artificiellement dans la catégorie « contrôles à l'intérieur du véhicule » bien qu'ils présentent des caractéristiques différentes et jouent en particulier un rôle dans la régulation de la vitesse, en condition de vitesse limitée. Néanmoins, leur utilité dans l'apprentissage de l'appréciation de la vitesse pourrait justifier une classification différente (SAAD et MALATERRE, 1978).

– *les contrôles visuels sur la trajectoire en virage :*

Des observations antérieures avaient montré qu'il était possible de relever des « balayages visuels » de toute la partie visible d'un virage, avant même que le véhicule soit entré dans la courbe.

Cette catégorie de prise d'information peut être reliée à une anticipation de la trajectoire. Sa présence, chez le débutant, peut témoigner de cette anticipation.

– *les contrôles sur l'environnement routier :*

Sous cette catégorie plus générale ont été regroupés deux types de contrôle ayant des statuts différents : les contrôles en « situation-problème », et les « contrôles de routine ».

Contrôles en « situation-problème » :

Ce type de contrôle est effectué lorsqu'un événement, signalé par divers types d'indices, revêt une certaine probabilité d'apparition. Dans ce cas, les contrôles visuels sont orientés par des hypothèses plus précises sur des événements attendus où dont il faudra tenir compte pour prendre une décision et effectuer une action donnée.

Les observables, témoignant de cette catégorie de contrôle sont :

- . des coups d'œil à droite et à gauche aux intersections,
- . des coups d'œil aux rétroviseurs, avant ou pendant un ralentissement du véhicule,
- . des contrôles aux rétroviseurs (extérieur et intérieur) à propos d'un changement de trajectoire, plus spécialement déboitement à gauche (dans le dépassement par exemple).

Ces types de contrôle devraient être d'autant plus nombreux, à situations égales, que le sujet a acquis des représentations du système routier, c'est-à-dire qu'il est plus expérimenté, puisque ce contrôle manifeste une recherche d'indices orientée par les hypothèses du sujet sur l'évolution de la situation.

Contrôles de routine :

Ils consistent moins à prélever telle information spécifique liée à une situation donnée, qu'à « explorer » systématiquement, à des intervalles de temps donnés, quelques paramètres. Il s'agit essentiellement de contrôles de routine effectués vers l'arrière du véhicule par l'intermédiaire du rétroviseur et par lequel le conducteur vérifie la présence ou l'absence d'un autre véhicule derrière lui, en l'absence de situation spécifique.

Le propre de ces contrôles de routine, par définition, est de n'être pas dirigés (ou en tout cas peu dirigés) par des hypothèses précises sur des événements particuliers. Ils auraient plutôt un statut de surveillance « diffuse ». Ils pourraient refléter la probabilité subjective liée à une densité de trafic donnée, d'avoir un véhicule derrière. On peut s'attendre, par exemple, à ce que ce contrôle de routine soit plus fréquent sur autoroute, à fort trafic, que sur une route de campagne.

A partir de l'analyse succincte de la tâche de conduite, et des hypothèses sur l'évolution de la prise d'information avec l'expérience, on s'attend à observer :

- une diminution des contrôles visuels sur les commandes du véhicule,
- une augmentation des anticipations visuelles de la trajectoire en virage,
- une augmentation des « contrôles de routine » et des contrôles « en situation-problème ».

Ces variations traduiraient une acquisition de la localisation spatiale des commandes dans l'habitable, une automatisation des régulations de trajectoire, et une augmentation progressive de la prise en charge de l'environnement le plus « éloigné » spatialement et temporellement.

B – RESULTATS :

Les relevés des différents contrôles étaient effectués sur un schéma détaillé du circuit, l'expérimentateur utilisant un code permettant de désigner chaque contrôle, et chaque situation de conduite (exemple : dépassement de cycliste, véhicule arrivant à droite, véhicule derrière, etc). Il a donc été possible de faire une description relativement fidèle des activités de contrôle visuel et de les rapporter à des grandes classes de situation de conduite, comme on le voit sur le tableau suivant (tableau II). Une rubrique « contrôles non-pertinents » a été ajoutée a posteriori, car il apparaissait qu'en situation de faible charge, les sujets (principalement les expérimentés) exploraient des aspects non directement pertinents avec la conduite (paysages, etc).

Certaines catégories de contrôles (contrôles à l'intérieur du véhicule, contrôles de routine, contrôles non-pertinents), sont présentés en nombre brut par sujet et par circuit.

Les autres contrôles (anticipations visuelles en virage, contrôles en situation-problème) ont été rapportés au nombre de situations effectivement rencontrées, ce qui a permis le calcul d'un taux de contrôle moyen par événement, dans chaque classe.

Le nombre limité de sujets, et d'observations, les différences de niveau au sein des débutants, ainsi que les différentes « techniques » d'observation rendent difficile l'interprétation des résultats et limitent considérablement la portée de ces données. On peut voir en particulier que les moyennes sont fortement influencées par des valeurs extrêmes. Néanmoins, on peut voir se dessiner des tendances qu'il sera nécessaire de préciser dans le cadre d'analyses plus systématiques.

CATEGORIES DE CONTROLES

	Intérieur du Véhicule		Anticipations Visuelles	Contrôles de Routine	Contrôles en Situations-Problèmes			Non-Pertinents
	Commandes	Tachymètre			Intersection	Ralentissem.	Déboîtem.	
Débutants S1	16	7	1,6	24	0,87	0,81	0,75	3
S2	21	7	6	10	1,53	1,3	0,5	7
S3	19	6	0,58	15	0,87	1,25	2,25	11
m	18,6	6,67	2,72	16	1,09	1,12	1,17	7
Confirmés S1	5	8	0,75	12	1,13	1,2	1,67	9
S2	2	13	1,42	44	2,27	2,6	4	15
S3	6	12	6	23	1,47	1,11	0,75	26
m	4,33	11	2,72	26,3	1,62	1,64	2,14	16,6

Tableau II : Contrôles visuels en situation réelle.
Comparaison de débutants et de conducteurs confirmés.

D'une façon générale, on peut remarquer que le nombre de contrôles évolue différemment selon la catégorie, ce qui indique déjà un changement dans l'importance des différentes sources d'information, et un changement correspondant dans la hiérarchie des contrôles.

Les contrôles sur les commandes sont globalement moins nombreux chez les confirmés que chez les débutants, ce qui va dans le sens d'un apprentissage de la position spatiale des commandes par rapport au corps propre et dans l'habitacle. Les débutants, avant de saisir une commande de clignotant, (ou même avant de freiner) effectuent un contrôle visuel, inversement la disparition de ces contrôles chez les expérimentés témoigne d'une connaissance de l'environnement proche et de la disposition des commandes dans l'habitacle.

Le nombre *des contrôles de routine* est plus important chez les expérimentés, mais ceci semble le fait d'un seul sujet (sujet confirmé S2). Ce contrôle témoignerait de l'apparition d'une activité de surveillance diffuse non spécifiquement orientée vers un type d'événement particulier, encore qu'il s'agisse ici de surveillance du trafic à l'arrière du véhicule.

Le taux de *contrôle en situation-problème* est plus élevé chez les confirmés. Cette prise en compte d'indices spécifiques des différentes situations pourrait traduire une variation de la pertinence ou de la signification d'indices, et en même temps une orientation sélective de l'attention visuelle vers des situations potentiellement génératrices de danger. On peut, en effet, faire l'hypothèse que le débutant, de par sa méconnaissance des événements possibles, ne recherche de l'information, le plus souvent, que là où existe déjà un danger réel et que par contre, l'expérimenté est capable d'une recherche d'indices dans des situations de danger potentiel, sans même que des indices de l'environnement ne lui signalent l'imminence d'un problème à résoudre. L'expérimenté aurait construit des séquences anticipatrices d'indices alors que le débutant ne pourrait fonctionner que sur des indices à « court terme ».

Les contrôles non-pertinents ne sont pas des contrôles à proprement parler, puisqu'ils n'intéressent pas, en principe, la tâche principale. Ils sont définis ici comme des prises d'information sur des éléments jugés par nous comme n'ayant pas de relation directe avec la tâche principale de conduite : par exemple regards vers des points remarquables du paysage. Le fait qu'ils soient plus nombreux chez les expérimentés que chez les débutants peut s'interpréter comme une diminution de la charge avec l'apprentissage. En effet, la diminution globale de l'activité exploratoire, mise en évidence par d'autres études, et la focalisation progressive sur les traits pertinents, avec l'expérience aurait comme conséquence la possibilité chez l'expérimenté de traiter d'autres informations. Ceci serait d'autant plus patent que la situation analysée ici, c'est-à-dire un circuit rural avec un trafic faible, induisait une faible charge pour les expérimentés.

Le nombre plus élevé de contrôles supplémentaires non-pertinents témoignerait donc, chez l'expérimenté, de l'existence d'une capacité de réserve supérieure à celle du débutant.

C – DISCUSSION

Il n'est pas question de fonder les hypothèses présentées en introduction, sur ces résultats. Néanmoins, les tendances observées sont plutôt favorables à une interprétation de l'apprentissage en terme d'expansion du champ global d'exploration.

En schématisant, les débutants se caractérisent par un taux de contrôles visuels plus important sur les commandes, et par un taux de contrôles plus faible sur les éléments de l'environnement « plus lointains ». Inversement les expérimentés se caractériseraient par une activité exploratoire plus importante sur l'environnement permettant une anticipation à plus long terme. En d'autres termes, cette expansion du champ global d'exploration serait le résultat d'une appropriation progressive de l'espace du déplacement : appropriation de l'espace immédiat par apprentissage (guidé par la vision) de la position spatiale des commandes dans l'habitacle, anticipation de la trajectoire liée aux actions sur les commandes, et prise en compte des éléments de l'environnement permettant des anticipations à plus long terme.

Mais d'autre part, les changements observés peuvent également être interpréter en terme de « charge visuelle » différente selon le niveau d'expérience. Selon cette hypothèse, la charge visuelle due au contrôle du véhicule sur sa trajectoire et se traduisant par des contrôles de l'environnement immédiat, expliquerait l'impossibilité dans laquelle se trouvent les débutants à explorer l'environnement plus éloigné.

Les débutants exploreraient peu l'environnement lointain, non pas parce qu'ils leur manque une représentation des régularités relatives aux événements routiers, mais parce que les contrôles perceptifs sur l'environnement immédiat absorberaient à eux seuls la plus grande partie de leur capacité de recherche et de traitement de l'information. Dans cette hypothèse, on considérerait que les conducteurs débutants, de par leurs apprentissages antérieurs ont déjà acquis les bases de l'activité de recherche d'information nécessaire à l'exécution de déplacements et que par conséquent la conduite d'un véhicule automobile serait une application particulière des mécanismes acquis antérieurement. Dans ce cas, des prises d'information effectuées sans contrôle réel du véhicule, sur des situations simulées, ne devraient pas faire apparaître de différences entre débutants et expérimentés.

Si des différences apparaissent, on ne peut les attribuer à la seule charge représentée par le contrôle de trajectoire.

De plus, la mémorisation de l'information, et son rappel immédiat, s'ils sont différents dans les deux groupes, serait également une preuve de l'utilisation d'informations différentes dans les deux groupes. Cette différence aurait alors une autre source que la seule charge de contrôle du véhicule. C'est ce que l'on a cherché à vérifier en situation simulée de vision tachistoscopique de situations d'intersection, présentées sur diapositives.

II – ANALYSE DU RAPPEL D'INFORMATIONS EN SITUATION DE VISION TACHISTOSCOPIQUE : COMPARAISON DEBUTANTS - EXPERIMENTES

Les observations précédentes ont fait apparaître que la nature et la hiérarchie des contrôles visuels étaient différentes selon le niveau d'expérience des conducteurs. Le faible taux de contrôle de l'environnement lointain chez les débutants peut avoir pour causes non exclusives :

- la charge due à la nécessité d'un contrôle visuel de la trajectoire,
- la méconnaissance des régularités relatives aux événements routiers.

Si la première hypothèse est seule vraie, on peut s'attendre, en éliminant un contrôle réel du véhicule, à ce que les différences entre les groupes s'atténuent ou même disparaissent.

Par contre, si même en l'absence de contrôle réel de trajectoire, les différences persistent, il faudra les attribuer également à d'autres facteurs, en particulier la non-connaissance des régularités relatives aux événements routiers. Pour vérifier cette hypothèse, il aurait été nécessaire de reprendre la même méthode d'observation sur le même circuit filmé, ce qui aurait permis d'éliminer le contrôle de trajectoire, en gardant les mêmes caractéristiques de l'environnement. Mais ceci n'a pas été possible techniquement.

De plus, il s'agissait également de vérifier si le traitement et l'utilisation des informations présentaient des caractéristiques différentes selon le niveau d'expérience.

Dans une certaine mesure, le rappel immédiat d'informations qui viennent d'être recueillies ou utilisées peut témoigner de leur utilisation pour un but donné.

On a donc créé une situation simulée en éliminant le contrôle de trajectoire (le sujet est assis à poste fixe en laboratoire) en présentant au sujet des diapositives de situations de conduite prises du volant d'un véhicule, et en demandant au sujet de rappeler les informations mémorisées. C'est l'expérience qui sera décrite maintenant.

A – PROCEDURE UTILISEE

1. Le matériel de « simulation » consistait en un stock de 40 diapositives représentant toutes des arrivées à une intersection, et prises de la place du conducteur. Elles ont été choisies (dans un stock pré-existant et non réalisées pour l'expérience), de façon à couvrir le maximum de situations quant aux variables : trafic, signalisation, nature de la route :

- petites routes de campagne, sans signalisation, peu de trafic 5
- routes de campagne, moyenne importance, avec signalisation, peu de trafic, grande visibilité 10
- petites agglomérations, peu de trafic 10
- agglomérations (centres), trafic important 10
- routes à « grande vitesse » ou autoroutes 5
dont voies d'accès (3).

D'autre part, on a fait en sorte que toutes les signalisations d'intersection (sauf le panneau voie prioritaire) soient représentées : croix de Saint-André, flèche barrée, balises, stop, feux, agents. De façon générale, les diapositives étaient toutes nettes et l'éclairage à peu près équivalent. Quatre diapositives supplémentaires ont servi d'entraînement.

Le tachistoscope a été utilisé pour imposer une contrainte de temps d'exploration aux sujets. Après quelques essais empiriques sur quelques sujets on a choisi le temps d'exposition de 1,5 seconde, qui apparaissait comme une valeur assez courte pour être une contrainte pour les sujets, assez longue pour permettre quelques fixations. Sur le plan de la simulation le tachistoscope permet donc d'introduire une contrainte temporelle, qui est une des exigences de la tâche de conduite automobile.

2. La tâche demandée au sujet : le sujet est assis en position de conduite sur un siège de voiture. Il voit la diapositive sous un angle qui respecte au mieux la vision qu'il aurait de la route au volant d'un véhicule.

Consigne : « Vous allez voir pendant un temps très court, une diapositive prise du volant d'un véhicule. A chaque photo, vous arrivez à une intersection où vous devez continuer tout droit. Quand la diapositive sera passée, vous devez me dire aussitôt, sans faire de phrase tout ce que vous avez vu (le genre de route sur laquelle vous êtes, les autres routes, la signalisation, les autres usagers : véhicules, motocyclistes, cyclistes, piétons). Je ne vous dirai jamais si vos réponses sont exactes ou non mais je vous poserai éventuellement quelques questions ».

Le sujet voit d'abord quatre diapositives d'entraînement, puis, à la suite, les 40 diapositives. L'ensemble de l'épreuve dure de 45 minutes à une heure. Au milieu de l'expérience on propose une courte pause au sujet si celui-ci le désire.

3. Les sujets : la variable qui nous intéresse était le niveau d'expérience. C'est elle qui a déterminé le choix de deux groupes de sujets.

Groupe « débutants » : 14 sujets, n'ayant pas le permis de conduire, en formation à l'armée, venant juste d'apprendre le Code de la route relatif aux intersections sur des livrets d'apprentissage programmé. Tous ont conduit pendant deux ans au moins un deux roues.

Groupe « conducteurs confirmés » : 10 sujets ayant le permis depuis un an et ayant parcouru de 20 000 à 30 000 km au moins. Dans ce groupe deux sujets peuvent être qualifiés « d'expérimentés » (plus de 200 000 km), mais leurs résultats ont été traités dans le groupe.

Tous les sujets ont une vision normale, ne sont donc pas porteur de verres correcteurs. D'autre part, ils ont tous satisfait aux critères des tests de sélection des conducteurs de l'armée.

4. **Méthode de questionnement** : on a choisi de questionner de la façon suivante : après la réponse spontanée du sujet si toutes les classes d'items précisées dans la consigne sont représentées par au moins un élément de la classe dans la réponse du sujet, aucune question n'est posée. Par contre, si dans la réponse du sujet une des classes n'est pas représentée, on rappelle cette classe au sujet, que l'item soit présent ou absent sur la diapositive.

Par exemple, si le sujet ne parle pas de signalisation, on lui demande : « avez-vous vu une signalisation » quel que soit le contenu objectif de la diapositive. Ces questions sont appelées les questions systématiques. Elles sont finalement comparables aux techniques de reconnaissance avec cette différence que l'item lui-même n'est pas cité mais seulement la classe à laquelle il appartient.

De plus, certaines questions sont posées, qui sont relatives à une situation. Elles sont plus destinées à faire apparaître de façon sous-jacente la prise en compte d'un indice spécifique. Par exemple, dans la diapositive n° 15, on a demandé systématiquement à tous les sujets : « Est-ce que le conducteur du véhicule de droite vous a vu ? ». A partir de cette question, des réponses du sujet et d'éventuelles questions complémentaires, on a pu en déduire si le sujet avait effectivement vu que le conducteur du véhicule de droite tournait la tête de l'autre côté.

Ces questions sont des questions spécifiques destinées à vérifier la prise en compte d'un indice spécifique dans une situation donnée. La réponse spontanée des sujets, les questions posées, les réponses après question, sont enregistrées à la main dans leur quasi-intégralité.

Les problèmes méthodologiques posés par la méthode de questionnement ne seront pas évoqués ici (cf. NEBOIT 1980).

5. **Hypothèses** : Comme cela a déjà été précisé plus haut, les observations précédentes nous amènent à faire provisoirement l'hypothèse que la charge imposée par la nécessité d'une prise en compte par la vision, de la maîtrise du véhicule n'explique pas, à elle seule, les différences entre débutants et expérimentés. On s'attend donc à ce que, en situation simulée, si les débutants explorent moins systématiquement l'environnement routier, les résultats de leur exploration aboutissent à des traitements moins riches que ceux des expérimentés.

On prévoit, en particulier, qu'après présentation tachistoscopique des diapositives représentant la situation routière, les expérimentés soient plus capables de rappeler des informations prélevées et que leurs scores de rappel, globalement par catégorie, soient plus élevés que ceux des débutants.

6. **Méthode générale d'analyse des réponses** : A partir des protocoles de réponses des sujets, on a dressé, par diapositive, la liste des items effectivement rappelés.

Ceci n'était pas la démarche prévue initialement. Il avait, en effet, été envisagé de faire, par diapositive, un listing théorique et une classification, puis de rapporter les réponses des sujets à cette classification théorique. Mais la constitution de cette liste théorique était orientée nécessairement vers une classification qui pouvait ne pas être pertinente au regard des activités de traitement et de rappel que manifestaient les sujets. Cette classification utilisait les classes habituelles : signalisation verticale, signalisation au sol, interdiction - obligations - indications, etc., or cette classification n'est pas nécessairement pertinente au regard de l'activité du sujet. Il a donc paru plus intéressant de ne prendre en compte que les réponses effectives des sujets. La grille d'analyse, par diapositive, était donc constituée de l'ensemble des rappels présents au moins une fois dans l'ensemble des protocoles. Le but majeur de cette observation étant la comparaison débutants-confirmés, l'analyse des seules différences, et l'émission d'hypothèse sur la raison de ces différences est apparue comme suffisante, et de plus seule réalisable dans le contexte concret de l'étude.

Définition de l'« item rappelé »

Un item est considéré comme rappelé (restitué verbalement) :

- s'il est effectivement rappelé ou décrit par le sujet,
- si on peut penser, avec certaines précautions, que l'ensemble de sa description contient de façon sous-jacente l'item en question. Par exemple, si le sujet, devant une diapositive présentant un stop dit : « d'après le panneau, je dois laisser passer tous les autres véhicules, et marquer un temps d'arrêt », on considérera que l'item « stop » est sous-jacent dans sa réponse. D'autre part, l'item peut être soit rappelé spontanément dans le discours du sujet juste après le passage de la diapositive, soit après des questions telles qu'elles ont été définies plus haut. On a donc distingué le pourcentage rappelé spontanément du pourcentage rappelé après question.

B – RESULTATS

On ne présentera ici qu'une partie des résultats, à savoir :

- les résultats globaux par grandes classes d'items,
- une analyse de quelques items paraissant discriminant des deux groupes de sujets.

1. Résultats globaux par grandes classes d'items.

Trois classes d'items ont été déterminées à priori, d'un point de vue « d'expert », pour chaque diapositive.

Items « importants » : on a appelé item « important » tout item :

- dont la prise en compte par le conducteur est nécessaire pour résoudre le problème le plus urgent (dans le temps) apparaissant sur la diapositive ;
- dont la « non-perception » (ou la non restitution) implique une action différente de la réponse jugée bonne et/ou une action à niveau d'incertitude trop élevé. Ceci d'un point de vue subjectif d'expert.

Items « lointains » : dans cette classe entre tout item :

- dont la prise en compte a été jugée comme nécessaire pour avoir une connaissance de l'état du système futur après la résolution du premier problème.

Items « annexes » : cette classe représente les items :

- qui n'ont pas toujours de relation directe avec la conduite en tant que telle (maisons, immeubles) ;
- qui ne présentent aucun degré d'urgence mais peuvent servir au deuxième degré (panneaux indicateurs de direction).

Ces trois classes sont exclusives l'une de l'autre.

On a regroupé, par classe d'item et par groupe, pour l'ensemble des diapositives, tous les items, et construit les histogrammes comparatifs des deux groupes, par classe, (figure 1).

La moyenne portée sur les histogrammes représente le pourcentage moyen par indice, pour l'ensemble des sujets, par groupe.

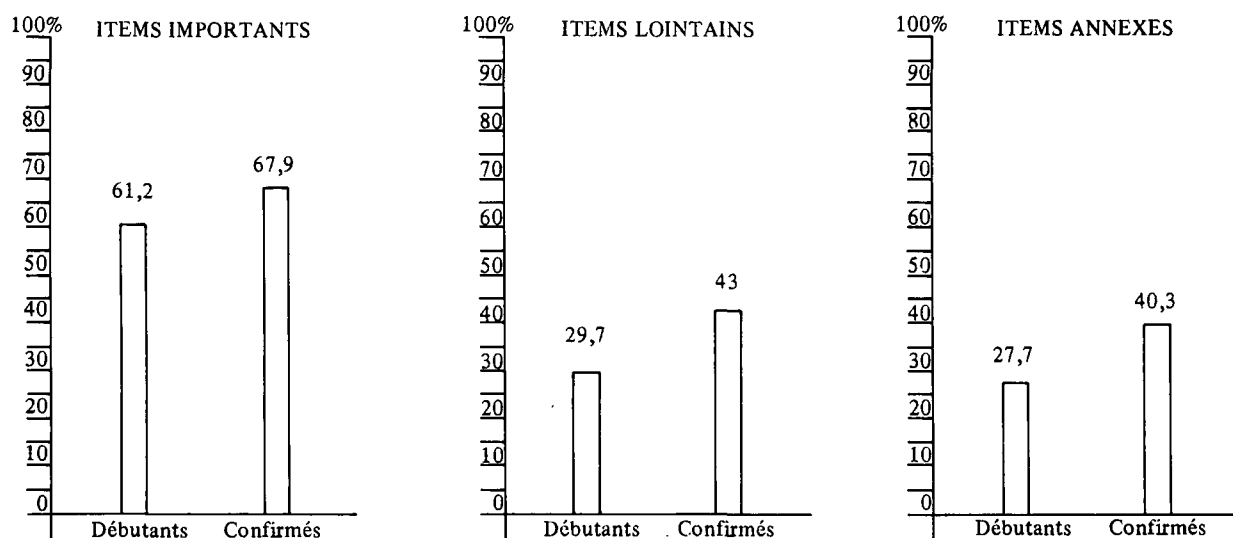


Figure 1 : Pourcentage de restitution dans les trois grandes catégories d'items.

Les items « importants » ont un taux de rappel relativement élevé, pour les deux groupes avec une différence en faveur du groupe confirmé. Ce résultat global semblerait montrer que les items qualifiés à priori « d'importants » avaient bien ce statut pour les sujets, si on compare aux taux de restitution des deux autres classes.

Les items « lointains » par hypothèse doivent témoigner d'une anticipation. Un taux élevé de restitution de ces items devrait témoigner de la possibilité pour le sujet d'anticiper ce qu'il est susceptible de rencontrer dans un avenir proche. Le graphique montre que de façon générale ces items ont été restitués avec une fréquence moindre que les items « importants », et ceci dans les deux groupes. Néanmoins, la différence entre les deux groupes est plus importante que pour les items « importants ». Ceci va dans le sens de l'hypothèse d'un prélèvement d'information, permettant l'anticipation, plus important chez les sujets confirmés que chez les sujets débutants.

Les items « annexes » ont été de façon générale plus souvent rappelés. Là encore, la différence entre les groupes apparaît assez nettement et irait dans le sens d'un traitement différent chez les deux groupes de sujets.

2. Analyse de quelques items : Certains items sont apparus comme différenciant assez nettement les deux groupes. On a analysé, toujours par le calcul de pourcentages moyens par item et par groupe les items suivants :

– item « piétons importants » : ce sont les piétons qui sur les diapositives étaient proches de la voiture et le plus souvent « en attente » de traverser sur le trottoir (figure 2.A).

– item « piétons annexes » : piétons non inclus dans la classe précédente, pouvant éventuellement avoir un effet sur le comportement futur (figure 2.B).

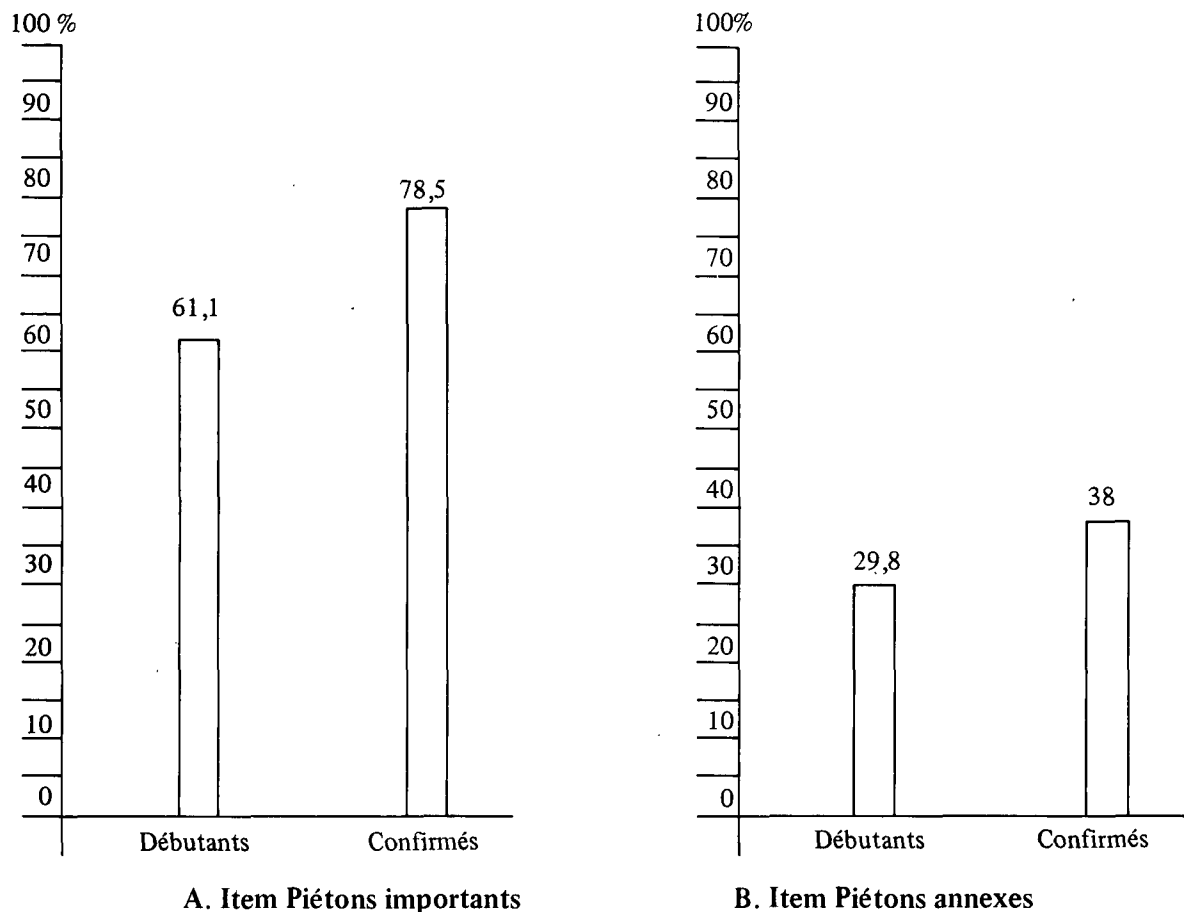


Figure 2 : Pourcentage de rappel des items « piétons » pour les deux groupes.

De façon globale, il est apparu que l'item « piétons » était restitué à des taux élevés par le groupe confirmé. D'autre part, la classe « piétons importants » apparaît comme très discriminante des deux groupes (61 % contre 78 %). Enfin cette classe « piétons importants » paraît être intéressante en tant que « piéton » et non en tant que « qu'item important ». En effet, le taux de restitution de l'item « piéton important » chez les confirmés, est plus élevé (presque 80 %), que le taux de la classe des « items importants » (moins de 70 %), alors que chez les débutants les deux taux (piétons importants et « items importants ») sont sensiblement égaux (60 %).

Ces résultats, mêmes grossiers, paraissent donc montrer que l'item « piétons » occupe une place importante dans la hiérarchie des items prélevés et restitués. Ce dernier résultat tendrait à montrer que les débutants utilisent une hiérarchie des items assez proche de celle des expérimentés, au moins en ce qui concerne l'item « piétons ».

C – DISCUSSION

Cette observation montre d'abord que, même lorsque la tâche de maîtrise du véhicule est éliminée (par les conditions d'exécution de la tâche simulée) les débutants ont une performance de rappel d'information plus pauvre que les expérimentés.

Les différences dans le rappel d'items d'information témoignent d'une différence au niveau de la recherche et du traitement de l'information liée au niveau d'expérience de la conduite.

De plus, ces changements paraissent liés à une hiérarchisation différente des éléments d'information selon les groupes. On peut néanmoins se demander si des facteurs liés aux qualités physiques des stimulus peuvent jouer un rôle dans le rappel des items d'information, par rapport à leur importance supposée dans la tâche. Sur ce point, MACKIE et OLDER (1964) ont montré sur un groupe de conducteurs expérimentés, dont la tâche consistait à rappeler des indices prélevés d'une part en situation réelle de conduite et d'autre part sur films, que la taille apparente des items et leur excentricité par rapport au centre du champ visuel, n'ont qu'un effet mineur par rapport à l'importance déclarée des items, sur la fréquence de rappel. Donc le taux de rappel reflèterait bien l'ordre d'importance des items, pour le sujet, dans la tâche. Des différences de fréquence de rappel plus faible chez les débutants pourraient être l'indicateur d'une hiérarchie différente des items chez celui-ci.

Les mêmes auteurs précisent qu'une comparaison situation réelle-film, présente des hiérarchies identiques des items rappelés dans les deux situations, ce qui valide partiellement la méthode de simulation employée ici, et les résultats de cette observation.

Ces résultats montrent donc, malgré les limites méthodologiques évidentes, que les items utilisés ne sont pas les mêmes dans les deux groupes, et que leur importance est différente selon l'expérience de la tâche particulière étudiée ici. Les différences entre les groupes pourraient s'expliquer par des représentations différentes des événements et donc par une orientation différente de l'attention visuelle.

CONCLUSION DES OBSERVATIONS PRELIMINAIRES

Ces deux observations, malgré le manque de finesse des méthodes employées montrent que l'expérience a un effet sur l'activité de prise d'information à deux niveaux : au niveau de la forme de l'exploration et au niveau du contenu de cette exploration.

La nature des contrôles visuels effectués par le débutant serait plutôt d'ordre instrumental ; la prise d'information visuelle sert avant tout au début de l'apprentissage, à repérer et à vérifier la position des commandes dans l'habitacle, et à gérer la trajectoire du véhicule. Elle n'est encore utilisée que partiellement pour rechercher et analyser l'information qui permettra une décision sur la trajectoire. De plus, l'absence de contrôle de trajectoire (en situation simulée) ne rend pas la prise d'information plus efficace puisque les débutants ont, globalement, un score de rappel plus faible que les conducteurs confirmés. Ceci tendrait à montrer qu'en plus de la charge due au contrôle visuel de la trajectoire chez le débutant, la méconnaissance des régularités de l'environnement et de la signification des indices, ne permet pas de structurer la prise d'information d'une façon adéquate et économique.

L'apprenti-conducteur aurait donc à apprendre à contrôler les déplacements de son véhicule dans un espace, sur une trajectoire donnée, mais aussi à apprendre à rechercher dans l'environnement les indices pertinents au choix d'une trajectoire déterminée. De plus, il aurait à apprendre à gérer simultanément ces deux activités, et en particulier à organiser son exploration visuelle en fonction de ces différentes contraintes.

Il semble donc nécessaire de chercher à décrire plus finement l'évolution de l'exploration visuelle pour analyser les changements pouvant permettre d'expliquer partiellement les différences globales dues à l'expérience, qui sont apparues au cours de ces observations.

Ces différentes raisons ont amené à préciser l'analyse des activités perceptives dans leur évolution avec l'apprentissage en utilisant les techniques d'enregistrement des mouvements oculaires dans des situations contrôlées. Ce sont ces résultats qui font l'objet de la suite du présent rapport.

CHAPITRE III

EFFET DE L'EXERCICE ET DE L'EXPERIENCE SUR L'EXPLORATION VISUELLE DANS UNE TACHE DE CONTROLE DE VEHICULE SUR UNE TRAJECTOIRE RECTILIGNE*

INTRODUCTION

I – PROTOCOLE EXPERIMENTAL

II – RESULTATS

DISCUSSION ET CONCLUSION

** Etude réalisée avec l'aide de C. PERROT et J.J. SOUBERCAZE pour la partie technique et avec l'assistance de O. LAYA pour le recueil et l'analyse des données*

INTRODUCTION

Dans l'ensemble des activités mises en jeu dans la conduite d'un véhicule, on peut considérer la gestion du déplacement du véhicule sur une trajectoire simple, comme une activité élémentaire, ou plutôt comme une des activités de base. De plus, au niveau de l'apprentissage, la maîtrise du véhicule sur une trajectoire définie, bien qu'elle soit acquise relativement rapidement, pose des problèmes dès qu'il s'agit, pour l'apprenti conducteur, d'intégrer ce contrôle à l'analyse de situations complexes.

Son étude, sur le plan perceptif et moteur est donc susceptible d'apporter des réponses dans le domaine de la pédagogie de la conduite, mais aussi d'apporter des éléments de réponse aux questions plus générales que pose la locomotion, c'est-à-dire la gestion d'un déplacement dans un espace tridimensionnel. Les différents courants d'étude de la régulation du déplacement de véhicules (automobiles, aéronefs, ou vaisseaux spatiaux) peuvent être regroupés en deux grandes catégories :

- les théories du contrôle manuel, utilisant la modélisation mathématique des servo-mécanismes ;
- les théories de la locomotion, mettant l'accent sur le contenu perceptif de la gestion du déplacement.

Les théories du contrôle manuel, appliquées au déplacement de véhicules, distinguent trois niveaux hiérarchisés de régulation du déplacement (Mc RUER, ALLEN, WEIR et KLEIN, 1977) :

- un premier niveau : appelé « navigation » consistant à sélectionner la route, ou l'itinéraire ;
- un deuxième niveau : appelé « guidance » regroupant les tâches de choix (décision) d'une trajectoire prévue dans une situation donnée (dépassement, par exemple) en fonction des contraintes de la situation (trafic, profil de la route, etc).
- un troisième niveau : appelé « contrôle », ou réalisation de la trajectoire, par action sur les commandes (volant, accélérateur, freins) pour assurer la précision de la trajectoire souhaitée.

Selon les auteurs, ces différents niveaux sont emboîtés (le niveau 1 incluant le niveau 2, le niveau 2 comprenant le niveau 3) mais peuvent fonctionner séparément (de façon séquentielle) ou simultanément. Mais dès que le véhicule est en déplacement effectif, le contrôle de trajectoire est nécessairement mis en jeu.

Le contrôle de trajectoire, et plus particulièrement le contrôle directionnel est décrit comme le processus de régulation le plus simple. Par contrôle directionnel, les auteurs entendent les corrections sur la commande de position latérale (volant) :

- de l'écart latéral par rapport à la trajectoire suivie (ou erreur de positionnement latéral) ;
- de l'écart angulaire par rapport à la « cible » (ou erreur de direction par rapport au but).

La démarche consiste à décrire le système comme un servo-mécanisme, le modèle le plus simple consistant à considérer l'opérateur comme un élément du système asservi (fig. 10).

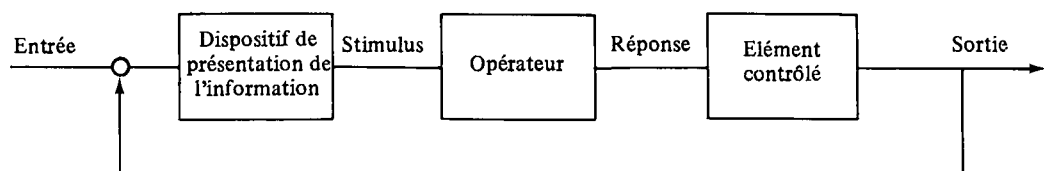


Figure 10 : Bloc diagramme du système de contrôle manuel (d'après Mc RUER et coll. 1959)

Cette démarche consiste moins à décrire les activités, ou les fonctions en jeu dans le contrôle, qu'à déterminer mathématiquement les lois régissant les interactions des divers éléments. Par exemple, la dynamique du véhicule peut être décrite par des équations différentielles de mouvement.

Le conducteur lui-même est décrit par une fonction mathématique reliant les caractéristiques physiques du système d'entrée, et les caractéristiques de sortie. Les auteurs précisent d'ailleurs que la réponse du conducteur n'implique pas la perception directe de la position latérale, ni de l'écart angulaire par exemple. Par contre, le modèle proposé est destiné à décrire les changements constatés à la sortie du système, en fonction des variables d'entrée. Cette modélisation n'est donc pas, à proprement parler, une description, ni un modèle de l'opérateur, mais une mise en relation entre les entrées objectives dans le système et les réponses du système. Le problème n'est donc pas résolu de savoir quels sont les mécanismes perceptifs qui vont permettre à l'ensemble du système de fonctionner.

C'est pour résoudre cette question que certains auteurs ont proposé des analyses de la tâche de contrôle d'un véhicule sur une trajectoire, en cherchant à analyser les éléments du champ visuel pouvant servir d'indices de déplacement dans le cadre d'une théorie générale de la locomotion.

Pour GIBSON (1968), la composante visuelle de la perception du déplacement dans un environnement stable est liée à la « perspective de déplacement » qui est définie par les changements de parallaxe associés au déplacement, et aux mouvements différentiels des stimulus proximaux. Autrement dit, pendant la locomotion, le champ visuel semble être en expansion radiale à partir d'un point situé dans l'axe du déplacement.

L'hypothèse centrale de GIBSON est que le « pattern de flux » sert globalement de stimulus pour le contrôle du déplacement par rapport aux objets constituant l'environnement.

En termes de « sensation visuelle », on peut distinguer deux caractéristiques du flux optique, l'un étant le gradient de flux, et servant d'indice de distance, ou de vitesse, l'autre, le pattern de direction du flux servant d'indice de direction du déplacement.

En particulier, « le foyer d'expansion », c'est-à-dire le point origine de cette expansion radiale indiquerait la direction du déplacement réel du véhicule et servirait à maintenir une direction donnée (FRY 1968).

Par « comparaison » avec la trajectoire à suivre, le conducteur aurait ainsi le moyen de détecter les écarts entre direction réelle du véhicule (indiquée par le point d'expansion) et la trajectoire souhaitée. Dans le cas d'une trajectoire rectiligne, matérialisée par les berges de la route, la non-coïncidence des flux optiques et des tracés de bord de voie, donc la non-coïncidence du point d'expansion et du point de fuite de la route amènerait une correction de la trajectoire.

Pour GORDON (1966a) ce contrôle directionnel peut être effectué sans qu'il y ait appréciation de la direction du déplacement, le contrôle latéral de la position du véhicule sur sa voie serait suffisant, puisqu'il assurerait a fortiori le contrôle directionnel. Ce contrôle serait assuré, par la détection du déplacement latéral des berges de la voie. L'auteur (GORDON, 1966b) cherche à vérifier cette hypothèse en imposant à un sujet une vision tubulaire. Il constate qu'effectivement la majorité des prises d'information sont faites sur les berges de la voie.

Il apparaît actuellement difficile de définir la valeur des différentes hypothèses cherchant à expliquer la prise d'information dans une tâche de contrôle de trajectoire rectiligne. Mais il est probable que la diversité même des indices possibles, leur redondance, en particulier chez le conducteur expérimenté, rend difficile l'interprétation d'expériences cherchant à isoler telle ou telle variable perceptive du contrôle.

Nous nous sommes un peu étendus sur les différentes conceptions du contrôle du déplacement du véhicule pour être mieux en mesure de situer nos résultats sur l'évolution de ce contrôle avec l'apprentissage.

Plusieurs résultats ont montré que le contrôle de la trajectoire devient de plus en plus précis avec l'apprentissage. On observe, en effet, une diminution des amplitudes des actions de correction sur le volant (NEBOIT M. 1971, GREENSHIELD 1966), qui peut s'expliquer par une anticipation plus grande, et en particulier par la transformation des contrôles perceptifs, qui, extéroceptifs au début, deviennent progressivement proprioceptifs (LEPLAT, 1963).

De plus, de nombreux auteurs ont montré que plus les conducteurs sont débutants plus ils « regardent » la portion de route proche de leur véhicule (ZELL, 1969, MOURANT et ROCKWELL, 1972), comme l'indiquent les résultats présentés au chapitre III.

Aucune étude n'a été faite pour analyser l'éventuelle relation, au cours de l'apprentissage entre les corrections sur le volant et des stratégies exploratoires visuelles afin de voir si les grandes amplitudes des corrections du débutant sont le résultat d'une exploration inadéquate (trop « proches » donc ne permettant pas l'anticipation) ; ou si, au contraire, la gestion de la trajectoire par des contrôles exteroceptifs empêche une exploration visuelle permettant une anticipation.

L'expérience qui sera présentée maintenant avait pour but de tenter une description corrélative de l'évolution, au cours de l'apprentissage, des trois indicateurs comportementaux suivants :

- précision de la trajectoire,
- actions de correction sur le volant,
- exploration visuelle.

Cette description a été faite pour 3 niveaux d'apprentissage au cours d'un enseignement de la conduite, par stage. De plus un groupe de conducteurs expérimentés a servi de groupe de référence.

I – PROTOCOLE EXPERIMENTAL

1. Tâche effectuée par les sujets

Les sujets devaient contrôler un véhicule (R 12) sur une trajectoire de 200 mètres en ligne droite matérialisée par deux bandes blanches distantes de 1,70 m, sur lesquelles sont disposées, tous les 10 m, des balises pouvant être renversées par les roues du véhicule (fig. 11).

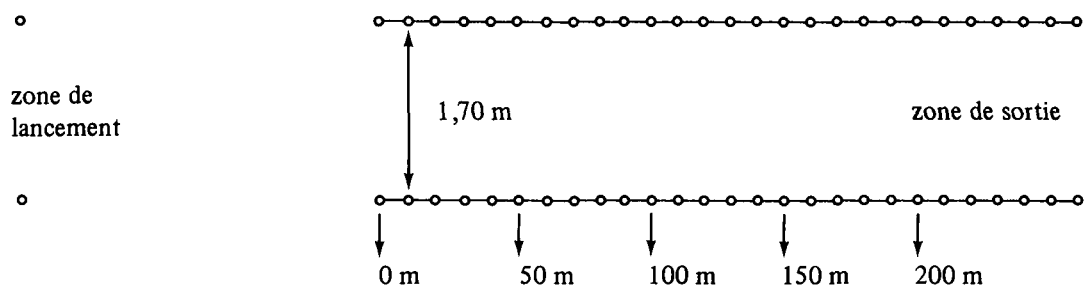


Figure 11 : Plan du couloir ligne droite

La vitesse (30 km/h) était imposée et régulée par l'expérimentateur (en place avant droite) disposant de double-commande.

2. Les sujets

Les sujets débutants (N = 6) étaient des élèves-conducteurs suivant un stage de formation. Ces sujets ont passé l'épreuve à trois niveaux de leur apprentissage :

Niveau 1 : à l'arrivée dans le centre, avant toute manipulation du véhicule,

Niveau 2 : après l'apprentissage des manœuvres sur piste (3ème jour du stage),

Niveau 3 : après l'entraînement sur route (en agglomération et hors agglomération) juste avant de passer l'épreuve du permis pratique (6ème jour du stage).

Les sujets expérimentés (N = 6) étaient les instructeurs du centre, et avaient parcouru plus de 100 000 km.

3. Les paramètres enregistrés

On a enregistré les paramètres suivants :

– *mouvements des yeux* enregistrés sur films 16 mm, à la cadence de 10 images/seconde grâce au NAC EYE MARKER, et permettant l'enregistrement simultané des mouvements des yeux et du champ de travail (voir annexe I),

– *mouvements de correction sur le volant* : dans une zone de $\pm 10^\circ$ de part et d'autre de la position centrale du volant, cette marge étant considérée comme suffisante pour enregistrer les amplitudes attendues (voir annexe II).

– *nombre de cônes touchés* : sur les bandes blanches latérales matérialisant la trajectoire, étaient disposés des cônes tous les cinq mètres. On a donc pu noter le nombre de cônes touchés.

Ces différents paramètres objectivent des variables dépendantes dont on étudiera les variations en fonction de l'expérience et de l'apprentissage (variables indépendantes).

4. Plan général de l'expérience (tableau IV)

	DEBUTANTS n = 6			EXPERIMENTES n = 6
	niveau 1	niveau 2	niveau 3	
1er passage				
2ème passage				

Tableau IV : Plan de l'expérience « contrôle de trajectoire rectiligne »

Chaque sujet a effectué deux passages (1er passage, 2ème passage).

5. Hypothèses

Les hypothèses sont les suivantes :

- H 1 : La trajectoire est d'autant mieux contrôlée que l'expérience est importante (Exp. > Déb.) et que l'apprentissage antérieur est important ($N1 < N2 < N3$). Ceci devait se traduire par une diminution du nombre de cônes touchés avec l'apprentissage.
- H 2 : Les résultats concernant les mouvements du volant, déjà connus, devaient être retrouvés c'est-à-dire : augmentation du nombre, diminution des amplitudes, diminution de la variabilité des amplitudes des mouvements de volant avec l'expérience.
- H 3 : Nombre de mouvements de volant en corrélation inverse avec le nombre de cônes touchés.
- H 4 : Diminution de l'activité exploratoire au fur et à mesure de l'apprentissage.
- H 5 : Corrélativement avec H 4, augmentation de la distance de fixation du regard, qui traduirait l'augmentation des possibilités d'anticipation avec l'expérience.

II – RESULTATS

1. Evolution du contrôle de la trajectoire.

Les résultats seront présentés par paramètre analysé et sont résumés sur la figure 12 qui suit.

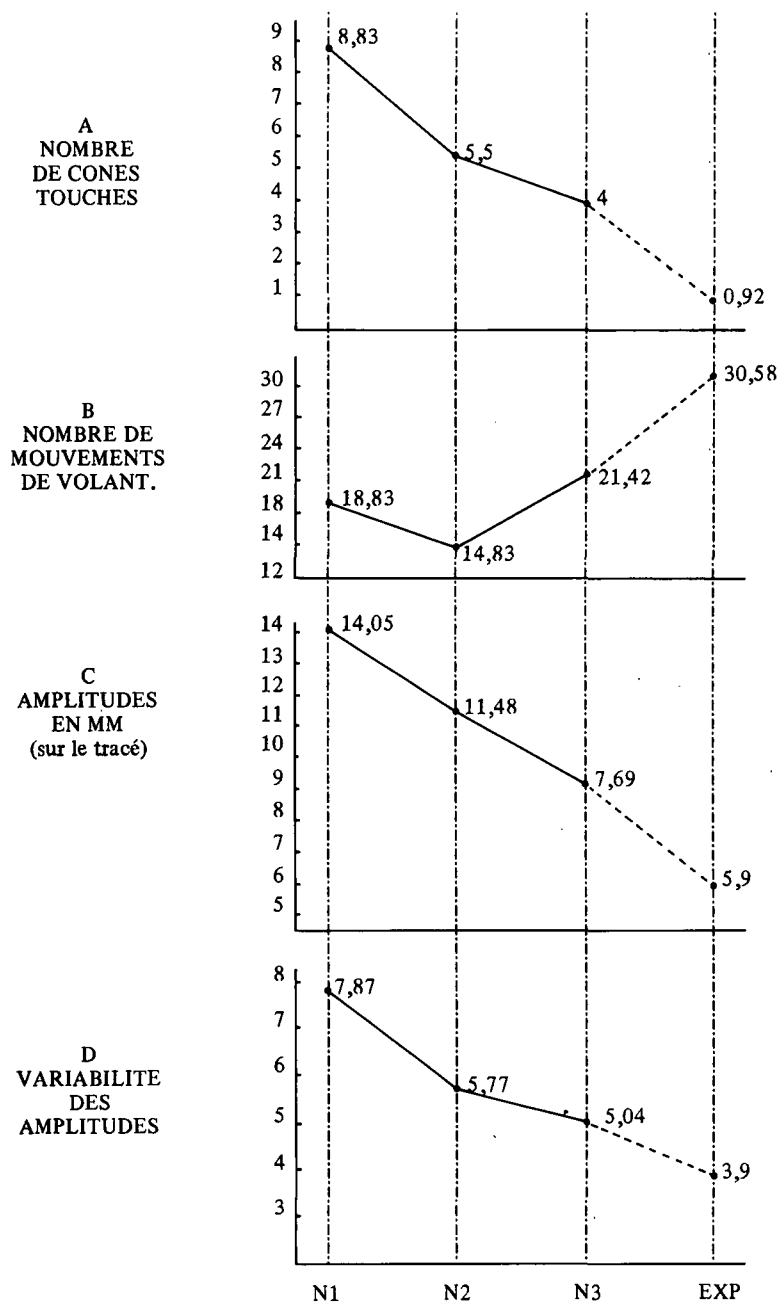


Figure 12 : Evolution des paramètres du contrôle de la trajectoire avec l'expérience.

– *Nombre de cônes renversés :*

On voit sur le graphique 12A l'évolution du nombre de cônes renversés (en ordonnée) en fonction de l'expérience (niveaux N1, N2, N3 et expérimentés).

On peut noter :

- . que les expérimentés ne renversent pratiquement pas de cônes,
- . que la différence entre les niveaux d'apprentissage, si elle apparaît au niveau du graphique, n'est pas fortement marquée puisqu'on n'observe pas d'effet significatif du facteur niveau.

Par contre les différences entre les sujets sont très marquées, ce qui a pu, étant donné le faible nombre de sujets, masquer des différences dues à l'apprentissage.

Ce critère apparaît donc comme un critère grossier différenciant les débutants par rapport à des expérimentés, mais ne différenciant pas, en tout cas dans cette analyse, les niveaux d'apprentissage.

– *Nombre de mouvements du volant :*

Sur le graphique 12B on voit que cet indicateur discrimine les débutants des expérimentés mais sa variation n'est pas nette avec l'apprentissage.

Des différences apparaissent néanmoins entre niveaux mais la variation n'est pas régulière. L'évolution du nombre de corrections avec l'entraînement est donc moins nette que ce qui avait déjà été trouvé auparavant (NEBOIT 1971).

– *Amplitude des corrections (amplitude des mouvements du volant).*

L'amplitude des mouvements du volant (graphique 12 C) marque une diminution significative au fur et à mesure de l'apprentissage, ce résultat indiquant un meilleur « calibrage » de la correction par rapport à la contrainte exigée.

De plus on peut considérer que, sur ce critère, le niveau des expérimentés est atteint dès la fin du stage (après six jours d'apprentissage). En effet, il n'y a pas de différence significative entre les débutants au niveau 3 et les expérimentés.

– *Variabilité des amplitudes :*

Ce critère de variabilité est important dans toute analyse d'apprentissage car une des caractéristiques globales du débutant, par rapport à l'expérimenté, est la dispersion des performances. On a donc pris comme critère, l'écart type des distributions des amplitudes (Fig. 12 D). On voit que, au fur et à mesure de l'apprentissage, cette variabilité diminue et ce de façon très significative.

Résumé de l'évolution du contrôle de trajectoire :

Dans une tâche de contrôle de trajectoire contraignante en ligne droite,

– *les expérimentés*

- . ne renversent que très peu de cônes, donc ne débordent pas sur la trajectoire imposée,
- . ont une fréquence plus élevée de corrections sur le volant que les débutants,
- . font des corrections de faible amplitude.

– *les débutants*, au cours d'un stage intensif de sept jours, sans apprentissage spécifique de la tâche, montrent essentiellement :

- . une diminution de l'amplitude des mouvements de correction sur le volant,
- . une diminution rapide (du premier au troisième jour) de la variabilité des amplitudes.

2. Evolution des stratégies visuelles :

D'une façon générale on a utilisé les indicateurs suivants pour décrire cette évolution :

– le type « d'objets » fixés (ou la « zone » fixée) : les indices pertinents sont recueillis par le conducteur sur certains « éléments » de l'environnement. Les éléments fixés peuvent être spécifiques selon la situation et selon l'objectif du conducteur. Le type et la nature des éléments fixés sont donc des indicateurs des stratégies de prélèvement de l'information.

– le temps de fixation par « objet » : le fait que le conducteur, dans une situation définie, regarde « plus longtemps » un élément qu'un autre, devrait pouvoir être un indicateur global du choix qu'il effectue dans sa prise d'information. Cet indicateur est la résultante des deux suivants :

. le nombre de fixations (ou la fréquence) : quand le conducteur regarde un élément de l'environnement plus souvent qu'un autre on peut considérer qu'il accorde une importance plus grande à l'élément le plus souvent regardé.

. la durée élémentaire des fixations sur un objet de l'environnement qui est également un descripteur important dans la mesure où il peut témoigner d'une plus ou moins grande difficulté à traiter l'information, ou de la nature même d'une tâche exigeant une durée de fixation plus ou moins grande.

Puisque dans cette expérience, il s'agissait de vérifier l'« éloignement progressif du regard » avec l'apprentissage sur la trajectoire, on a cherché à délimiter la distance (en mètre à partir de l'avant du véhicule) où se portait le regard.

Les difficultés d'une analyse précise des distances de fixation ont amené à ne distinguer que deux zones à l'avant du véhicule :

- moins de 25 mètres : distance « près » ou DP,
- au delà de 25 mètres : distance « loin » ou DL.

On a donc analysé, par sujet et par niveau :

- le temps global passé sur chacune des deux zones,
- le nombre de fixations sur chacune des deux zones,
- les durées moyennes correspondantes.

Les graphiques qui suivent (figure 13 A,B,C) résument les résultats.

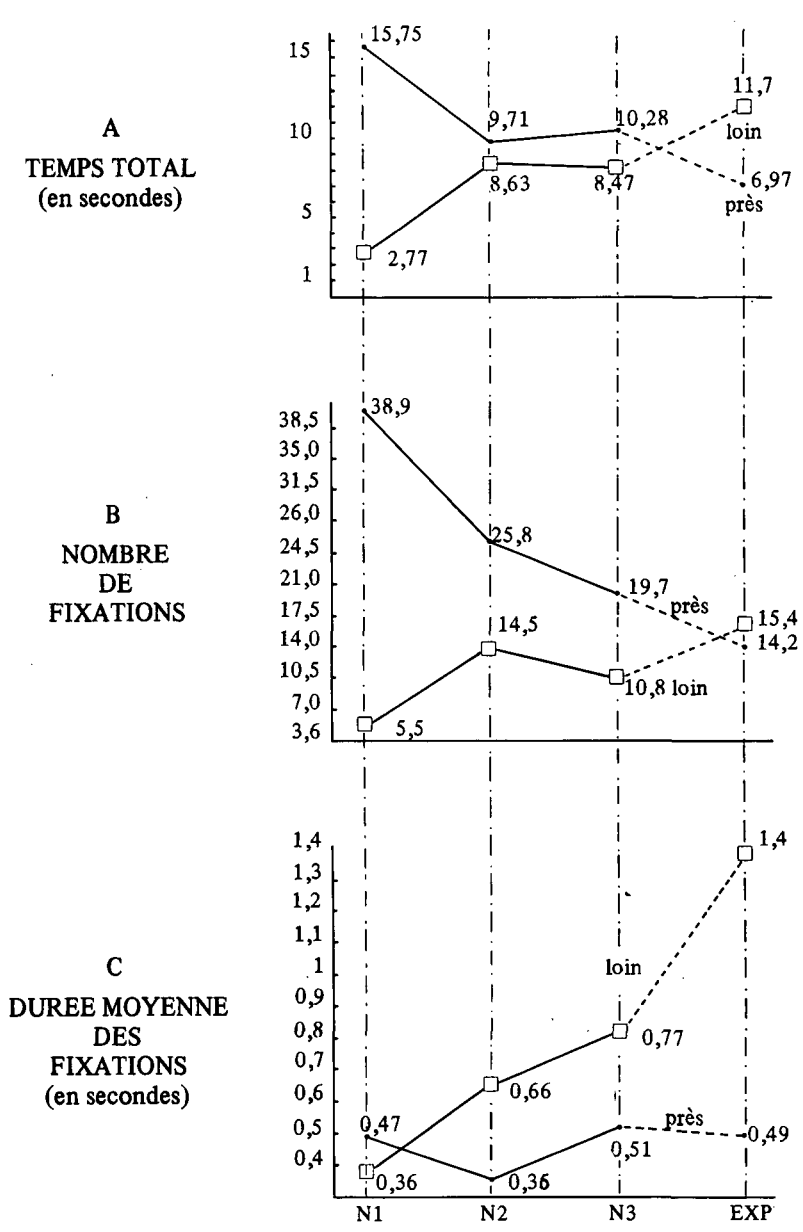


Figure 13 : Evolution de l'exploration visuelle avec l'expérience (□ = loin ; ● = près).

– *Temps total de fixations par zone* (fig. 13 A)

Pour chaque groupe (débutants/expérimentés) et dans chaque niveau pour les débutants (N1 = 1er jour de stage ; N2 = 3ème jour de stage, N3 = 6ème jour de stage) on a calculé le temps global, pour 20 secondes de passage de couloir, en distinguant :

- temps total passé sur distance loin (plus de 25 m),
- temps total passé sur distance près (moins de 25 m).

On observe une différence, chez les expérimentés, entre le temps total de fixations loin et le temps de fixations près (fig. 13 A). Les conducteurs expérimentés passent plus de temps à regarder à plus de 25 m devant eux qu'à moins de 25 m et ceci de façon significative.

Les débutants par contre passent plus de temps à regarder juste devant eux au début de l'apprentissage. Mais on observe, au cours de l'apprentissage, une évolution importante : le temps passé près diminue significativement au fur et à mesure de l'apprentissage, alors que simultanément, le temps passé à regarder loin augmente de façon significative.

On constate de plus que cette évolution est très marquée entre le niveau N1 et le niveau N2, mais la répartition entre loin et près n'est pas encore celle des expérimentés.

- *Nombre de fixations* : (répartition Loin (+ de 25 m), Près (– de 25 m)).

On note chez les expérimentés (fig. 13 B) une absence de différence quant à la répartition du nombre de fixations Loin/Près. Les expérimentés regarderaient autant près du véhicule (– de 25 m) que loin. Mais il est possible qu'une analyse plus fine des distances ait amené des différences plus nettes.

Par contre, les débutants, au niveau N1 montrent beaucoup de fixations « près » (38,9) et peu de fixations « loin » (5,5) et la différence est significative.

Avec l'apprentissage (de N1 à N3) on observe une diminution significative du nombre des fixations « près » (de 38,9 à 19,7) et une augmentation non significative du nombre des fixations « loin » (de 5,5 à 10,8). Dans les deux cas, également, cette évolution est la plus importante entre N1 et N2.

- *Durées moyennes des fixations par zones* (cf. fig. 13 C)

Pour le groupe des expérimentés, on observe des valeurs moyennes différentes (loin = 1,40 seconde, près = 0,59 seconde). Mais l'analyse statistique, probablement à cause de la grande variabilité inter sujets et du faible nombre de mesures, ne révèle pas de différence significative.

Pour les débutants, on n'observe pas de changement des durées moyennes de fixation « près ». La durée moyenne des fixations « loin » montre une faible augmentation.

Résumé de l'évolution de l'exploration visuelle

La comparaison d'apprentis conducteurs à trois niveaux d'apprentissage et d'expérimentés effectuant une tâche de contrôle de véhicule sur une trajectoire en ligne droite a fait apparaître les résultats suivants :

- les conducteurs débutants, au début de l'apprentissage font des fixations proches du véhicule. Ce résultat confirme les résultats de ZELL (1969) obtenus en situation réelle sur une période d'apprentissage plus longue.

Au fur et à mesure de la formation, la stratégie visuelle des débutants se transforme : la fréquence des regards « loin » augmente.

– les conducteurs expérimentés présentent une durée totale de fixation longue à une distance plus éloignée, cette durée globale est liée à une durée moyenne plus élevée des fixations « loin », puisque le nombre de fixations « proche » est le même.
Ce résultat est différent de ceux présentés par MOURANT et ROCKWELL (1972) qui trouvent peu de fixations « proches » chez les expérimentés en situation réelle. On peut faire l'hypothèse que la contrainte imposée ici nécessitait une prise en charge visuelle plus importante des limites de la voie.

DISCUSSION ET CONCLUSION

L'apprentissage se traduit par une évolution corrélative des performances analysées à trois niveaux de l'activité du conducteur :

- performance finale : mesurée en terme d'erreurs de trajectoire,
- corrections imprimées au volant,
- exploration oculaire.

On peut résumer ces résultats en faisant l'hypothèse que deux mécanismes se mettent en place au cours de l'apprentissage :

– d'une part, le calibrage des amplitudes de correction nécessaires au contrôle fin de la trajectoire, dont témoigne la diminution rapide des amplitudes moyennes des corrections et une diminution de la variabilité de ces amplitudes.

– d'autre part, une exploration visuelle différente : au début prise en compte des bordures proches de la voie, puis concentration sur une zone plus éloignée du véhicule. Ce dernier point pouvant aussi s'expliquer par un contrôle de position au moyen de la vision périphérique.

Le calibrage des amplitudes de correction, pourrait être le résultat de la mise en jeu d'un contrôle proprioceptif en « boucle fermée », pour employer les termes de la théorie du contrôle manuel. La diminution des amplitudes serait le résultat d'une évolution des contrôles perceptifs (LEPLAT 1963) : au début ceux-ci seraient d'ordre extéroceptifs (essentiellement visuels), ce qui irait de pair avec l'importance des fovéalisations sur les éléments de trajectoire proches du véhicule.

Avec l'apprentissage, les contrôles perceptifs « tendent à devenir de plus en plus proprioceptifs, les réponses constituant elles-mêmes le signal des réponses suivantes ». Il y aurait donc, au début de l'apprentissage, contrôle des écarts de trajectoire, par inspection visuelle directe des indices de déplacement du véhicule sur sa voie.

Puis avec l'augmentation de la familiarité avec la tâche, les contrôles perceptifs sur les écarts se feraient directement au niveau des corrections imprimées au volant.

Au niveau de l'exploration visuelle, on peut faire l'hypothèse que les fixations fréquentes et de courte durée sur les berges de la voie caractérisant les débutants, correspondent à des prises d'information dont le « contenu informatif » est très différent des fixations de longue durée au « point d'expansion » chez les expérimentés.

Plusieurs interprétations sont possibles :

ou bien les fixations « proches » des débutants témoignent de la nécessité d'un contrôle visuel provisoire permettant l'installation d'un contrôle proprioceptif non encore installé. Dans ce cas, les patterns des expérimentés témoigneraient d'un montage proprioceptif achevé, « libérant » le système visuel pour d'autres contrôles (COHEN 1976) ;

. ou bien ces fixations « proches » témoignent chez le débutant d'une méconnaissance des indices pertinents au contrôle directionnel, ou d'une inadéquation de la stratégie visuelle aux prélèvements d'indices (en particulier possibilité de localiser dans l'espace à partir des stimulations périphériques).

Il faut noter que les fixations proches du véhicule, chez le débutant, sont en général de courte durée, (ce qui a déjà été signalé par d'autres auteurs) et que chez l'expérimenté, les mêmes fixations, bien que plus rares, ont aussi des durées courtes (de l'ordre de 400 ms). Par contre, les fixations « loin » sont généralement plus longues chez l'expérimenté, que chez le débutant, ce qui a été également trouvé par MOURANT et ROCKWELL (1972).

On pourrait alors interpréter le premier type de fixations comme des prises d'informations de position spatiale de l'ensemble véhicule-sujet par rapport à la chaussée. Ces fixations seraient fréquentes au début de l'apprentissage et, chez l'expérimenté en cas de trajectoire très contraignante ou exigeant une grande précision.

Les fixations de plus longue durée enregistrées dans la zone du « point d'expansion », chez les expérimentés auraient une fonction différente que quelques résultats de laboratoire permettent de préciser. Comme on l'a déjà vu auparavant, l'information directionnelle serait donnée (GIBSON, 1958), par le « point d'expansion ». Les écarts directionnels seraient évalués par l'écart entre le « point d'expansion » (direction réelle de déplacement du véhicule) et le but visé (point de fuite de la route, ou autre repère de la direction prévue). La grande fréquence des fixations enregistrées dans la zone du foyer d'expansion par de nombreux auteurs (MOURANT et ROCKWELL, 1972 ; SHINAR et coll., 1977 entre autres) correspondrait à une prise d'information utilisant le « point d'expansion ».

Si cette hypothèse est vérifiée, on devrait alors s'attendre à ce que le conducteur soit capable d'estimer la position de ce point d'expansion puisque ce dernier lui servirait d'indice directionnel.

Or, cherchant à vérifier la conception selon laquelle le « point d'expansion », défini par ses propriétés géométriques et dynamiques, serait un indice de direction du déplacement LLEWELLYN (1971), après une série d'expériences de laboratoire, conclut que les réponses indifférenciées à différentes situations stimulus, et l'absence totale de précision des estimations, quelles que soient les conditions (sujet très entraîné par exemple), amènent à rejeter cette conception, au profit d'une hypothèse sur le rôle du déplacement de la cible elle-même comme indice de contrôle du déplacement.

De même JOHNSTON et coll. (1973) ont montré qu'il est très difficile, pour des sujets d'estimer la position de ce point d'expansion. En laboratoire, l'expérience a consisté à présenter à un sujet des films simulant une texture simple en mouvement vers le sujet. Différentes situations étaient présentées dans lesquelles on faisait varier la place du point d'expansion, la densité des éléments dans le champ, la vitesse de « rapprochement ». Les résultats montrent que les sujets font des erreurs importantes de l'ordre de 4 à 10 degrés dans l'estimation du foyer d'expansion.

Comment, alors, expliquer en situation de conduite automobile, la forte densité des fixations de longues durées dans une zone correspondant au point d'expansion, et le déplacement progressif, avec l'expérience, des fixations vers cette zone.

Dans l'expérience de JOHNSTON, on peut signaler que la vision périphérique extrême était peu mise à contribution (80 degrés de champ maximum) ce qui pourrait expliquer en partie ces résultats.

En effet, il est probable que les vitesses très faibles au niveau du point d'expansion rendent difficile une estimation précise de ce point, mais que par contre dans un champ libre, la vision périphérique soit sollicitée et permette une orientation de l'œil vers un point fictif qui se trouve géométriquement au foyer d'expansion.

La concentration des fixations au foyer d'expansion s'expliquerait, non pas par la recherche d'un indice perceptif dans cette zone mais par un positionnement de l'œil par rapport à des informations prélevées en périphérie. Cette « fixation » pourrait alors remplir effectivement le rôle d'ancrage directionnel qu'elle est supposée remplir dans la locomotion ou la saisie de proies (PAILLARD J. 1976).

On pourrait faire l'hypothèse que les défilements latéraux amèneraient une configuration dynamique donnée des stimulus proximaux qui orienterait la position de l'œil vers un point fictif reconstruit à partir des paramètres de défilements et coïncidant avec le point d'expansion ; le contrôle directionnel de la trajectoire s'effectuerait ensuite à partir de cette position. Cette conception permettrait, par ailleurs, d'expliquer à la fois :

- la difficulté d'estimation de la position du point d'expansion (plus particulièrement à faible vitesse, et avec un champ restreint),
- l'existence de fixations dans la zone du point d'expansion même en conditions de nuit par exemple (RACKOFF et ROCKWELL, 1975),
- la difficulté de contrôle de la trajectoire en l'absence de vision périphérique (GORDON 1966 b).

Dans ce cas, l'apprentissage, dont témoignent les conducteurs débutants, serait non seulement un apprentissage proprioceptif, mais aussi un apprentissage de la gestion du champ de stimulations par la périphérie.

L'évolution de la prise d'information avec l'expérience témoignerait alors, non seulement d'une intériorisation des propriétés de l'environnement routier, et des propriétés dynamiques du véhicule, mais d'un apprentissage de l'utilisation des propriétés du système visuel, en particulier de l'utilisation de la vision périphérique pour le traitement d'informations sur la direction du déplacement.

Nos résultats ne font que soulever le problème et suggèrent une hypothèse qu'il serait nécessaire de confirmer de façon plus précise en cherchant à vérifier l'existence d'un véritable « apprentissage » de l'utilisation de la vision périphérique dans le contrôle d'un véhicule.

Cette confirmation serait à mettre au crédit de l'hypothèse plus générale d'une évolution dans l'utilisation des propriétés de l'appareil visuel avec l'expérience. En effet, s'il est vrai que l'apprentissage a changé la stratégie d'utilisation des propriétés du système visuel, on devrait également trouver des modifications fines au niveau des différents paramètres de l'exploration visuelle, ces modifications étant spécifiques des informations recherchées et traitées. Ces changements traduiraient ainsi une adaptation ponctuelle de l'exploration visuelle aux exigences spécifiques de la recherche et du traitement des indices mis en jeu dans la tâche. C'est cette analyse qui sera l'objectif de l'expérience suivante.

CHAPITRE IV

MODIFICATIONS DES STRATEGIES D'EXPLORATION VISUELLE AVEC L'EXPERIENCE DANS UNE SITUATION COMPLEXE DE DEPASSEMENT SIMULE *

INTRODUCTION

I – PROTOCOLE EXPERIMENTAL

II – RESULTATS

DISCUSSION ET CONCLUSION

* *Etude réalisée avec l'aide de O. LAYA et A. POTTIER pour la partie recueil et analyse des données.*

INTRODUCTION

Comme on a pu le voir à propos des études sur l'évolution des stratégies visuelles du conducteur sous l'effet de l'expérience (3ème partie du chapitre III), la plupart des résultats ont été obtenus en situation réelle, ce qui permet de décrire la tâche « in situ » mais présente l'inconvénient de rendre difficile le contrôle des facteurs en jeu.

A l'inverse, l'étude précédente analysait une tâche réelle mais simplifiée à l'extrême puisque la seule tâche requise du conducteur était de maintenir le véhicule sur une trajectoire rectiligne.

Or, comme on l'a vu plus haut, la conduite d'un véhicule pourrait être assimilée, en simplifiant, à une double tâche : une tâche de contrôle de trajectoire, et une tâche d'analyse des événements routiers permettant de décider de la trajectoire adéquate. C'est ce qui nous a amené à reconstruire, sur piste et avec des véhicules réels une situation qui exige à la fois :

- le guidage du véhicule sur une trajectoire,
- la décision d'une trajectoire en fonction de l'estimation de l'éventualité d'un conflit.

On a ainsi combiné le maintien du véhicule sur sa trajectoire, et la prise en compte d'un danger potentiel sous la forme d'un autre véhicule pouvant, selon des situations définies au préalable et contrôlées sur le terrain, entrer ou non en conflit avec le véhicule conduit par le sujet.

On a donc cherché, de cette manière, à décrire les stratégies d'exploration visuelle de deux groupes de conducteurs : un groupe de débutants et un groupe de conducteurs expérimentés, dans une tâche complexe simulée qui soit aussi proche que possible de la tâche réelle mais dont certains paramètres ont pu être contrôlés.

L'adaptabilité de l'exploration devrait permettre aux expérimentés d'adapter leur stratégie aux différents niveaux de contrainte temporelle. On a donc analysé l'effet de la contrainte temporelle, en imposant un délai de réponse défini par différents niveaux de contrainte de la tâche.

Enfin nous espérons voir apparaître des modes de consultation des sources d'information, d'autant plus différenciés selon les « objets » que l'expérience est importante, ce qui apporterait des éléments de confirmation d'un changement dans les modalités mêmes de la recherche et du traitement, c'est-à-dire d'une évolution dans l'utilisation de propriétés du système visuel avec l'apprentissage.

Sur ce point, la majorité des auteurs ont présenté des résultats globaux et non par source d'information, ce qui les amène le plus souvent à conclure ou bien à une absence de différence dans les durées moyennes de fixation avec l'apprentissage par exemple (ZELL, 1969), ou bien à des diminutions globales de durées élémentaires de fixation témoignant d'un traitement plus rapide de l'information. Il devient alors nécessaire de connaître les différentes sous distributions de fixation qui composent la distribution globale pour une tâche donnée (MEGAW, 1975) et qui, dans certains cas, peuvent être mis directement en relation avec les différentes sources d'information consultées par le sujet (NEBOIT et coll. 1978).

L'analyse des résultats a donc été orientée plus spécifiquement vers les variations des différents paramètres de l'exploration visuelle, et ceci pour les différentes sources d'information consultées, afin de vérifier d'éventuels changements dans les modes de consultation de ces différentes sources d'information, ce qui devrait permettre de mettre en évidence des changements dans l'utilisation des propriétés de l'appareil visuel.

I – PROTOCOLE EXPERIMENTAL

1. Tâche étudiée

Sur une piste à double voie matérialisée (figure 14) le sujet conducteur doit, en faisant un départ arrêté, effectuer (ou ne pas effectuer) le dépassement d'un véhicule arrêté alors que sur l'autre voie un véhicule arrive en face à vitesse constante.

Consigne : « vous allez dépasser le véhicule arrêté mais en face un véhicule arrivera. Vous aurez à décider si vous dépassez ou non. Conduisez comme vous le feriez sur route dans une situation semblable ; vous démarrerez au signal ».

La tâche ainsi définie exige du sujet :

- un contrôle du véhicule sur une trajectoire relativement contraignante (rouler en ligne droite, déboîter, rouler parallèlement au véhicule arrêté, se rabattre, rouler en ligne droite),
- une évaluation de « distance-temps » disponible pour effectuer (ou non) le dépassement,
- une décision : dépasser ou ne pas dépasser, liée à l'évaluation précédente.

Les mouvements oculaires sont enregistrés, grâce au NAC EYE MARK RECORDER (utilisé précédemment et présenté dans l'annexe I), à une vitesse de 10 images seconde, ce qui donne une précision temporelle de l'ordre de 100 ms.

2. Variables expérimentales

a) Contrainte temporelle

Trois situations ont été proposées aux sujets, présentées chacune quatre fois dans un ordre au hasard. Ces situations définissent trois niveaux croissants de contrainte temporelle.

Situation A : Le signal de départ est donné au sujet quand le véhicule mobile roulant à vitesse constante de 50 km/h arrive au point A. Le sujet dispose alors de 12 secondes pour effectuer le dépassement.

Situation B : Le signal est donné quand le véhicule mobile arrive en B. Le sujet dispose de 10 secondes pour dépasser.

Situation C : Le signal étant donné quand le véhicule mobile arrive en C, le sujet ne dispose que de huit secondes.

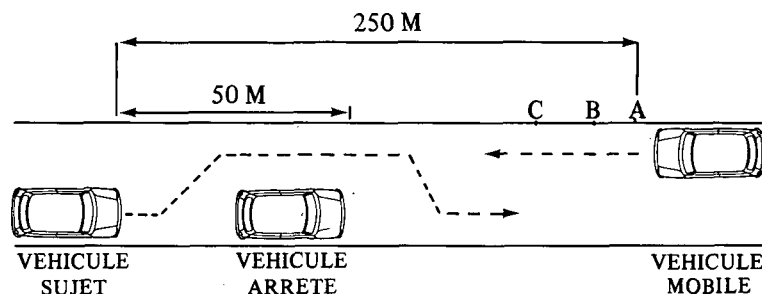


Figure 14 - Situation de dépassement simulé

b) Niveau d'expérience de la conduite :

Les conducteurs « expérimentés » (N = 7) sont tous des conducteurs ayant conduit plus de 50.000 km et ayant une vision normale.

Les conducteurs « débutants » (N = 7) ont conduit moins de 1.000 km et ont également une vision normale. Tous ont eu une formation relativement homogène à la conduite dans le cadre de l'armée et se présentaient au permis militaire poids lourd.

c) Rôle de l'exercice (ou de la répétition).

Puisqu'une analyse longitudinale sur les sujets débutants n'était pas possible, on a cherché à analyser le rôle de l'exercice, dans les deux groupes, en répétant chaque situation cinq fois, espérant faire ainsi apparaître un effet éventuel de la répétition.

d) Variables dépendantes

Deux catégories de variables dépendantes ont été retenues :

- *variables comportementales* : essentiellement le type de décision : dépasse - ne dépasse pas,
- *stratégies d'exploration* décrites par les paramètres suivants :
 - . nombre de fixations,
 - . durées moyennes des fixations.

La nature des objets fixés a été traitée comme une variable indépendante dont les différents paramètres de la fixation par objet sont les variables dépendantes.

3. Résumé du protocole expérimental

L'expérience peut donc se résumer dans le tableau suivant : (tableau V).

			SITUATIONS		
			A	B	C
niveau d'expérience	DEB.	S 1	5 passages	5 passages	5 passages
		S 7	”	”	”
	EXP.	S 1	”	”	”
		S 7	”	”	”

Tableau V - Plan d'expérience de l'analyse de la situation « dépassement simulé ».

Les variables contrôlées sont donc :

- la contrainte temporelle (3 situations),
- la répétition (5 passages),
- l'expérience de la conduite (2 niveaux).

II – RESULTATS

Dans la mesure où nous cherchions à mettre en lumière des changements dans l'exploration visuelle des deux groupes, compte tenu des diverses variables mises en jeu, nous avons choisi de faire plusieurs descriptions et plusieurs analyses à la fois au niveau qualitatif et au niveau quantitatif.

Nous avons donc tout d'abord cherché les grands traits des mouvements oculaires qui pourraient globalement distinguer les deux groupes. Une analyse globale de l'effet de l'apprentissage et de l'expérience a ensuite été faite.

Enfin, des analyses statistiques plus fines ont permis d'analyser l'effet des différents facteurs : contrainte temporelle (situation), exercice (ou répétition), expérience, sur chacun des paramètres de l'exploration, c'est-à-dire : source d'information consultée, nombre et durée moyenne des fixations.

La définition des objets fixés ou sources d'information a été faite a posteriori, après dépouillement des films. On a donc distingué : le véhicule mobile arrivant en face, le véhicule à l'arrêt, la chaussée ; ces trois catégories épuisant à elles seules de façon exhaustive toutes les fixations oculaires.

Enfin, pour synthétiser les résultats et pour essayer de dégager les grandes lignes d'éventuels changements des modes de consultation des diverses sources d'information on a analysé de façon comparative l'évolution des différents paramètres de l'exploration en fonction de l'expérience et pour les différentes sources d'information (véhicule mobile, véhicule arrêté, chaussée).

1. Analyse qualitative des effets de l'expérience sur les patterns d'exploration.

a) Analyse globale

Une première analyse qualitative a pu montrer l'existence de « patterns de fixation » susceptibles d'être associés à des sous-tâches visuelles et aux différentes phases du dépassement. Nous présenterons ici quatre exemples typiques qui différencient nettement les deux niveaux d'expérience (tableau VIII).

		FIXATIONS \geq 2 S. VEHICULE MOBILE	FIXATIONS \geq 2 S. CHAUSSEE	DEPLACEMENTS VEH.MOB.-VEH.AR.	DEPLACEMENTS VEH.MOB.-CHAUS.
D E B U T	A	0 35	19.5 % 35	31.7 % 35	48.8 % 35
	B	0 35	21 % 35	39.5 % 35	42 % 35
	C	0 35	35 % 35	30 % 35	40 % 35
E X P E R .	A	46 % 35	4 % 35	82 % 35	14 % 35
	B	36 % 35	0 35	75 % 35	8 % 35
	C	36 % 35	0 35	89 % 35	11 % 35

Tableau VIII : Pourcentage de patterns de fixation par situation et par groupe, calculés sur le nombre de cas possibles c'est-à-dire 7 sujets X 5 passages soit 35.

– tout d’abord (dans la première colonne), *des fixations de longue durée sur le véhicule arrivant en face* : ces fixations sont typiques sous deux angles :

. *leur durée* : supérieure à deux secondes, allant jusqu’à quatre secondes*, qui les distingue nettement des autres types de fixation dont la durée dépasse rarement une seconde.

. *leur place dans le déroulement du dépassement* : qui correspond à la phase de démarrage du véhicule A alors que le véhicule C arrivant en face roule déjà.

Ces fixations longues paraissent correspondre à la phase d’estimation de variation angulaire nécessaire à la décision de dépasser. On notera que ces fixations sont caractéristiques des sujets expérimentés, dans toutes les situations. Ce « pattern » de fixation est absent chez les débutants.

– *des fixations sur la chaussée*, dont la durée dépasse deux secondes.

Ces fixations longues sur la chaussée caractérisent les débutants.

– *Des allers-retours* entre véhicule venant en face et véhicule arrêté, (on définit un pattern aller-retour à partir de quatre fixations consécutives). Ces allers-retours sont présents dans la phase d’accélération, et pourraient permettre une estimation de « l’espace-temps » disponible pour dépasser. On voit que la fréquence de ce pattern est nettement plus élevée chez les expérimentés.

– *Des allers-retours entre véhicule mobile et bordure droite de la chaussée*, pendant la phase de croisement.

On voit ici que ce pattern est caractéristique des débutants, et correspondrait bien aux difficultés de contrôle de trajectoire rencontrées par les débutants. Il confirmerait la nécessité pour eux d’effectuer un contrôle fovéal de leur position sur la chaussée.

Cette analyse qualitative permet donc déjà de dégager, de façon descriptive des spécificités dans les stratégies oculo-motrices respectives des deux groupes (débutants/expérimentés).

b) analyse par source d’information.

Une deuxième analyse qualitative a été faite pour voir dans quelle mesure la répartition des fixations était différente dans les deux groupes, selon les sources d’information fixées. L’analyse a été faite en excluant la situation C puisque dans cette situation le dépassement n’a pas été effectué dans tous les cas, la performance n’est donc pas comparable. Le nombre de fixations en pourcentage par objet est donné, pour les deux groupes dans le tableau IX.

	Véhicule mobile	Véhicule arrêté	Chaussée	
Débutants	34 %	18 %	48 %	100 %
Expérimentés	50 %	24 %	26 %	100 %

Tableau IX : Répartition des fixations en pourcentage sur les différentes sources d’information pour les deux groupes.

* Le critère de définition d’un changement de fixation était de 1° d’angle ce qui a pu globalement faire cumuler des fixations différentes très rapprochées sur le même objet. Néanmoins ceci ne met pas en cause l’existence de fixations de durée très élevée dans ce cas comme on le verra par la suite.

Ces pourcentages ont été calculés sur 1236 fixations pour les débutants et 1056 fixations pour les expérimentés. Ces résultats font apparaître des pourcentages de consultations différents selon les objets et selon les groupes. Les expérimentés font la moitié des fixations sur le véhicule mobile, les autres fixations se répartissant de façon équivalente sur la chaussée et le véhicule à l'arrêt. Les débutants font la moitié (48 %) des fixations sur la chaussée. Cette différence faisant bien apparaître une hiérarchie différente dans la consultation des sources d'information avec l'expérience.

L'analyse du temps total, en pourcentage, consacré aux différentes sources, confirme ce résultat en le précisant (tableau X).

	Véhicule mobile	Véhicule arrêté	Chaussée	
Débutants	39 %	18 %	43 %	100 %
Expérimentés	66 %	18 %	16 %	100 %

Tableau X : Répartition du temps total de fixation sur les différents objets, en pourcentage pour les deux groupes.

Ce tableau montre que 66 % du temps total de fixation est consacré par les expérimentés au véhicule mobile alors que 16 % du temps est consacré à la chaussée. La comparaison du pourcentage du nombre de fixations et du pourcentage du temps de fixation, chez les expérimentés, suggère que les fixations sur le véhicule mobile sont, non seulement plus nombreuses, mais aussi plus longues, les fixation sur la chaussée étant moins nombreuses et plus courtes. Ce point devra faire l'objet de vérifications dans la suite de l'analyse, car il illustre bien l'utilisation de modes de consultation différents et spécifiques des sources d'information chez les expérimentés.

Ces premières analyses, bien qu'assez globales, font déjà apparaître des changements dans les modes de consultation des sources d'information avec l'expérience.

2. Analyse globale du rôle de l'expérience sur les paramètres de la fixation (comparaison DEBUTANTS/EXPERIMENTES).

Sur la figure 15 sont représentés les histogrammes des débutants (ligne du haut) et des expérimentés (ligne du bas).

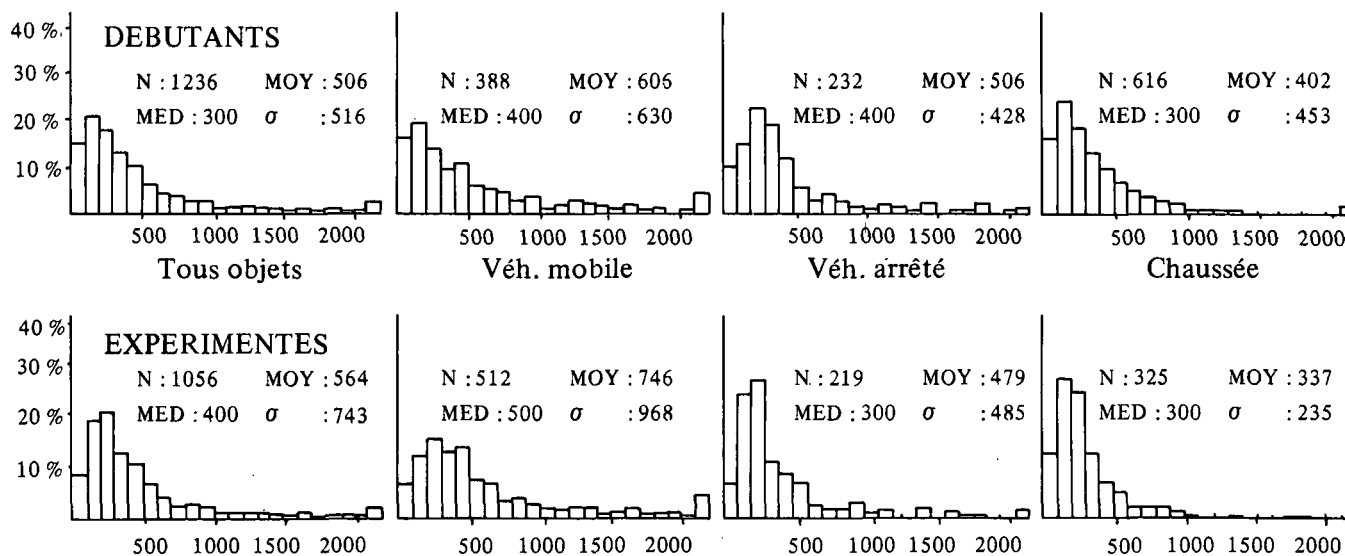


Fig. 15 : Distribution des fixations pour les deux groupes, tous objets confondus et par objet, pour l'ensemble des données (situations A et B confondues, tous passages confondus).

Le nombre total des fixations différencie les deux groupes, les débutants faisant plus de fixations (N = 1236) que les expérimentés (N = 1056). Si on calcule le nombre de fixations par séquence, on trouve que les débutants font plus de fixations en moyenne par séquence (N = 22,08), que les expérimentés (N = 18,87), ce qui va dans le sens des résultats généraux concernant la diminution de l'activité exploratoire avec l'expérience.

Sur la figure 16 A sont représentées les variations du *nombre moyen de fixations* par séquence et par objet pour chaque groupe. On voit que le nombre de consultations par objet change avec l'expérience. Il diminue fortement pour la chaussée, et augmente de façon moins nette pour le véhicule mobile et pour le véhicule arrêté.

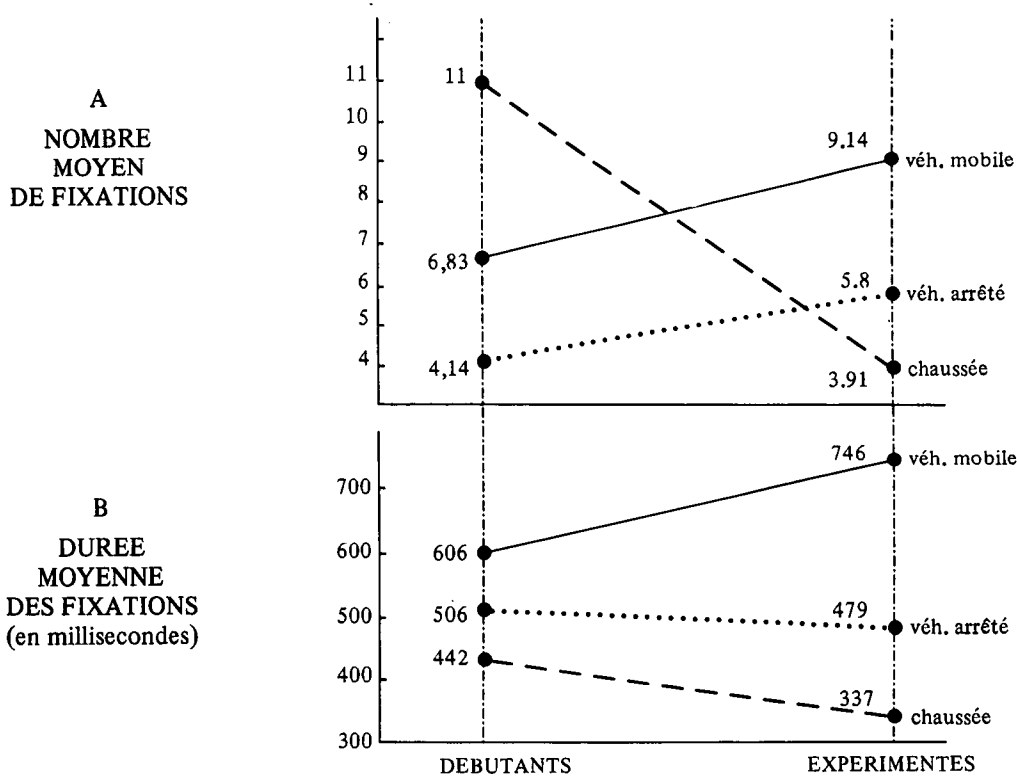


Figure 16 : Evolution du nombre et de la durée moyenne des fixations sur les différents objets, avec l'expérience.

La durée moyenne des fixations semble peu varier si on considère l'ensemble des fixations pour chaque groupe (506 ms pour les débutants et 564 ms pour les expérimentés). Par contre, (comme le fait apparaître la figure 16 B), avec l'expérience, la durée moyenne des fixations sur le véhicule mobile augmente assez nettement avec l'expérience (de 606 ms chez les débutants à 746 ms chez les expérimentés), cette durée moyenne diminue sensiblement sur le véhicule arrêté (de 506 ms chez les débutants à 479 ms chez les expérimentés), et diminue également pour le véhicule à l'arrêt (de 442 à 337).

Il semble donc qu'avec l'expérience, les durées moyennes des fixations différencient plus nettement les sources d'information.

Donc ces premières constatations font apparaître que :

- le nombre de fixations diminue globalement avec l'expérience,
- la répartition des fixations sur les différentes sources d'information change avec l'expérience,
- les durées moyennes de fixations varient avec l'expérience selon la source d'information fixée.

3. Analyse statistique de l'évolution des paramètres de l'exploration visuelle sous l'effet des différents facteurs du plan : expérience, répétition (ou exercice) et contrainte temporelle (situations).

Pour pouvoir comparer les trois niveaux de contrainte temporelle, c'est-à-dire les trois situations A, B et C, il a été nécessaire de ne prendre en compte que le début du déroulement temporel du dépassement. En effet, on a considéré qu'après un temps donné il devenait impossible, pour le sujet conducteur de changer sa décision pour des raisons de dynamique de la situation. De plus en situation C, en cas de non dépassement, les stratégies d'exploration ont une signification différente puisque la décision est prise, et le véhicule du sujet est à l'arrêt derrière le véhicule à dépasser.

Les analyses présentées maintenant portent donc sur les cinq premières secondes qui s'écoulent après le démarrage du véhicule du sujet. On a, de plus, distingué des analyses globales : tous objets confondus portant sur le nombre et la durée moyenne des fixations ; et des analyses par source d'information, en distinguant véhicule mobile, véhicule à l'arrêt et chaussée, et portant sur les paramètres temps total de fixation, nombre de fixations et durée moyenne.

Les résultats seront présentés par type d'analyse (globale et par source d'information) et pour chaque paramètre.

a) Analyse globales (toutes sources d'informations confondues)

Nombre de fixations :

On a déjà vu plus haut, que le nombre de fixations était plus élevé chez les débutants que chez les expérimentés. On a donc cherché à vérifier statistiquement ce résultat, pour les cinq premières secondes de dépassement, ainsi que l'effet des autres facteurs du plan.

Une analyse, chez les débutants, de *l'effet de la contrainte temporelle* (situations) montre que ce facteur n'explique qu'une faible partie de la variance totale mais que par contre, le nombre de fixations varie fortement selon les sujets.

L'effet de la répétition, chez les débutants se traduit par une diminution du nombre de fixations (successivement : 11,62 - 10,28 - 10,76 - 9,24), ce qui irait dans le même sens que les variations avec l'expérience (comparaison débutants-expérimentés), mais cet effet de la répétition n'est pas significatif. Chez les expérimentés on observe une absence d'effets significatifs de la répétition et de la contrainte temporelle.

La comparaison des deux groupes (*facteurs expérience*) pour le nombre de fixations a été faite en analysant l'effet global de l'expérience et en considérant les sujets comme des mesures répétées. On voit (figure 17 A) que les expérimentés font moins de fixations en moyenne, par passage que les débutants, la différence étant significative.

On peut donc conclure que l'expérience a pour effet une diminution du nombre total de fixations.

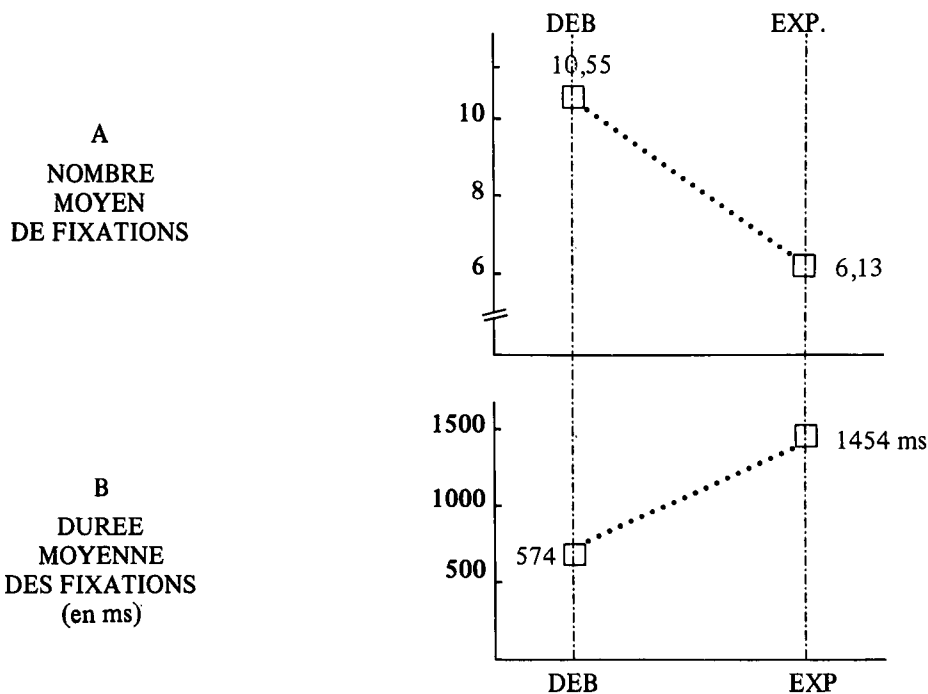


Figure 17 : Evolution des paramètres de la fixation avec l'expérience.

Durées moyennes des fixations :

Des analyses similaires ont été faites sur le paramètre durée de fixation. Dans le groupe des expérimentés, la répétition et la contrainte temporelle ne jouent que pour une faible part de la variance alors que les différences entre les sujets sont importantes.

Chez les débutants, l'effet de la contrainte temporelle paraît faible. La répétition augmente la durée moyenne des fixations (2ème passage : 528 ms ; 3ème passage : 531 ms ; 4ème passage : 608 ms ; 5ème passage : 649 ms) mais l'effet n'est pas significatif.

La comparaison globale des deux groupes (figure 17 B) fait apparaître une augmentation importante de la durée moyenne des fixations avec l'expérience, cette différence étant significative.

On observe donc une absence d'effet de la situation, donc de la contrainte temporelle dans les deux groupes : un effet non significatif de la répétition chez les débutants, et un effet massif de l'expérience globale sur le nombre de fixations et sur les durées moyennes des fixations. Le nombre des fixations diminue avec l'expérience et (mais il reste à le vérifier) avec la pratique chez les débutants, la durée moyenne des fixations augmente avec l'expérience et peut-être avec l'exercice dans le groupe des débutants.

Si ces résultats donnent déjà une idée des variations globales des stratégies exploratoires visuelles avec l'expérience et avec l'exercice, il nous paraît nécessaire d'analyser plus en détail ces stratégies en distinguant les sources d'information.

b) Analyses par sources d'information.

On a donc cherché à décrire et à analyser l'évolution du nombre de fixations, des durées élémentaires, et du temps de consultation pour les différentes sources d'information et pour les différents facteurs du plan. Précision dès maintenant que les facteurs *répétition* et *contrainte temporelle* ne présentant pas d'effet marqué pour l'ensemble des analyses, nous ne détaillerons que l'effet de l'expérience globale issu de la comparaison débutants/expérimentés.

L'ensemble des résultats est condensé sur la figure 18. Sur les trois graphiques sont représentés : sur le graphique de gauche, l'évolution du temps total de consultation par objet sur le graphique central, l'évolution du nombre de fixations ; sur le graphique de droite, l'évolution des durées moyennes de fixation.

On verra donc successivement les évolutions des divers paramètres de l'exploration avec l'expérience.

- veh. mob.
- ...● veh. arrêt
- chaussée

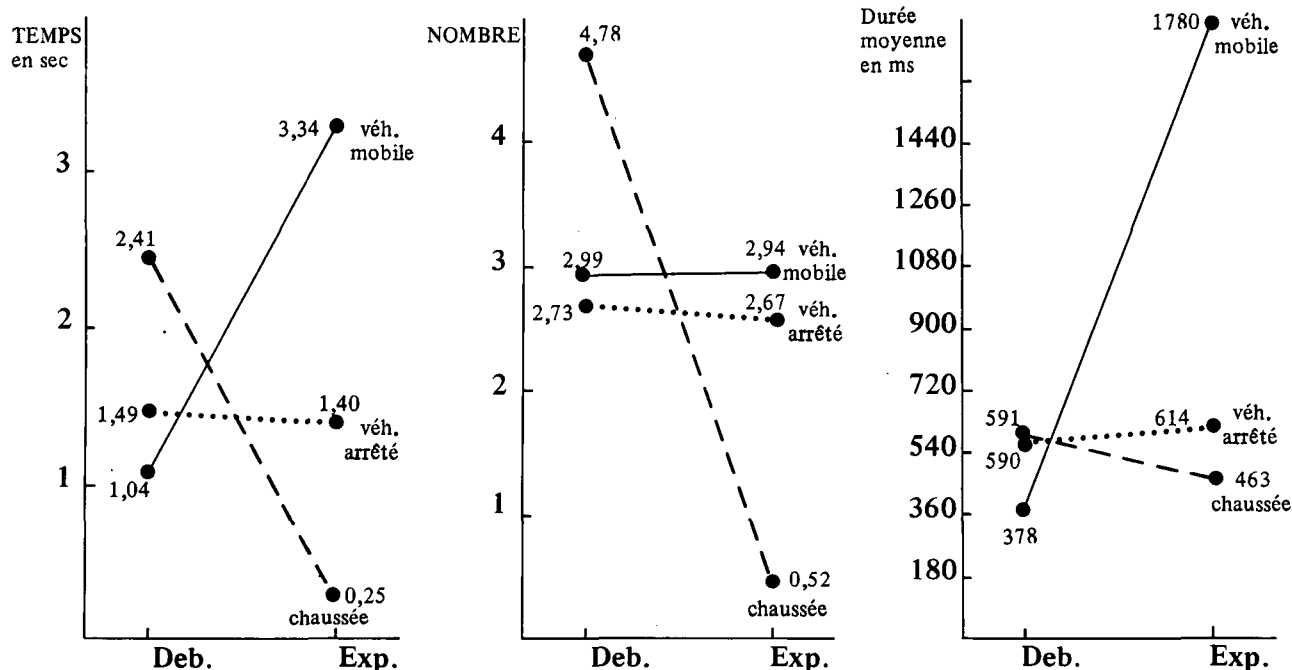


Figure 18 : Variation des paramètres de l'exploration visuelle avec l'expérience et selon les objets fixés.

Temps total de consultation par source d'information.

L'analyse des temps de consultation par objet (ou source d'information) montre que la répartition de la consultation n'est pas la même dans les deux groupes.

Chez les débutants, la plus grande partie du temps est consacrée à la chaussée, le véhicule mobile étant fixé au total pendant un temps très court.

Chez les expérimentés, on voit que l'ordre des sources d'information est inversé : le temps le plus important revient au véhicule mobile, un temps extrêmement faible à la chaussée.

Déjà ce résultat indique une « utilisation » différente des sources d'information et un changement des stratégies exploratoires en ce qui concerne la répartition du temps de consultation sur les différentes sources d'information.

Le temps de consultation de la chaussée diminue avec l'expérience de façon très significative. Inversement, le temps de consultation du véhicule mobile augmente. Pour le véhicule à l'arrêt, il n'y a pas de changement avec l'expérience.

Le temps total consacré à chacune des sources d'information varie donc avec l'expérience de la conduite automobile. Mais ce temps total est la résultante du nombre de fixations et de la durée élémentaire de fixation.

Nombre de fixations.

Le graphique central de la figure 18 montre de faibles variations du nombre de fixations avec l'expérience sur le véhicule à l'arrêt et sur le véhicule mobile. Par contre, le nombre de fixations sur la chaussée diminue fortement. L'analyse montre que l'expérience globale a un effet significatif sur le nombre de fixations sur la chaussée, les facteurs répétition et situation jouant peu.

Durées moyennes des fixations.

Les variations de la durée moyenne des fixations avec l'expérience sont représentées sur le graphique de droite de la figure 18.

On voit que les variations sont peu sensibles dans le cas du véhicule à l'arrêt et de la chaussée (effets non significatifs de l'expérience). Par contre, le véhicule mobile est l'objet de fixations de durées moyennes beaucoup plus longues chez les expérimentés que chez les débutants.

Pour résumer, une analyse des cinq premières secondes de dépassement montre que globalement (toutes sources d'information confondues) le nombre de fixations diminue avec l'expérience, et que la durée moyenne des fixations augmente.

L'analyse distinguant les sources d'information montre que le temps de consultation de la chaussée diminue, et que le temps de consultation des véhicules augmente avec l'expérience, et que ces variations sont essentiellement le résultat d'une diminution du nombre de fixations sur la chaussée et d'une augmentation des durées de fixations sur le véhicule mobile.

L'acquisition de l'expérience de conduite se traduirait donc à la fois par des changements dans l'importance relative des sources d'information dans la tâche (variation du nombre de fixations sur la chaussée) et par des changements des modes de consultation des sources d'information (augmentation de la durée moyenne de fixations sur le véhicule mobile).

DISCUSSION ET CONCLUSION

Cette description des stratégies exploratoires visuelles de conducteurs appartenant à deux groupes de niveau d'expérience extrêmes (débutants - expérimentés) effectuant une tâche d'évaluation de vitesse-distance-temps avant dépassement fait apparaître des changements importants de l'exploration visuelle avec l'expérience. Nous concluons sur un plan méthodologique en montrant l'intérêt de résultats issus d'analyses spécifiques par source d'information, et sur le fond en soulignant l'homogénéité des résultats par rapport à l'hypothèse d'un changement dans l'utilisation des propriétés de l'appareil visuel avec l'expérience.

L'activité exploratoire globale diminue avec l'expérience puisque le nombre de fixations est plus grand chez les débutants que chez les expérimentés, ce qui confirme de nombreux résultats antérieurs sur des tâches très différentes. Cette diminution de l'activité globale serait donc un phénomène très général. Elle serait liée à une orientation sélective de l'attention vers les sources d'informations significatives, permettant un meilleur diagnostic de la situation et une meilleure anticipation, mais aussi à un abandon des sources d'information redondantes ou non significatives : ce dont témoigne la diminution des taux de consultation de la chaussée. Il faut noter que ce dernier résultat peut être également la conséquence d'une prise en charge par la vision périphérique des informations de position sur la chaussée, le mouvement de l'œil « ayant autant pour objet de foverbaliser tel élément que de périphériser tel autre » (LAVILLE et coll. 1975), comme le suggèrent les résultats de l'expérience précédente.

Mais l'augmentation des durées moyennes de fixation sur le véhicule mobile et la diminution des durées de fixation sur la chaussée nous semblent renvoyer à un autre processus plus général que nous qualifierons d'apprentissage de l'utilisation différentielle des propriétés du système visuel en fonction des sources d'information.

Dans la situation étudiée, on peut faire l'hypothèse que l'exigence majeure étant l'évaluation du déplacement d'un mobile vers le sujet, la vitesse de variation angulaire est l'indice analysé plus spécifiquement, le traitement de cet indice exigeant des fixations de longue durée puisqu'il inclut un aspect temporel.

L'expérimenté aurait donc appris, non seulement à sélectionner les sources d'informations pertinentes, mais aussi à adapter ses modes de consultation et de traitement aux caractéristiques des sources d'information.

On peut également faire l'hypothèse que les débutants ne peuvent fixer longtemps le véhicule mobile parce qu'ils « gèrent fovéalement » le contrôle de position sur la chaussée. Cette hypothèse ne peut être écartée compte tenu de nos résultats. Inversement, on peut penser que chez l'expérimenté la gestion du contrôle de position par la vision périphérique rend possible des fixations de longue durée sur le véhicule mobile.

Au niveau de l'apprentissage, le problème se poserait donc en termes d'affectation des différentes sources d'information et des différents traitements au « système fovéal » ou au « système périphérique », ce qui renvoie à l'hypothèse de l'apprentissage d'un processus d'utilisation différentielle des propriétés du système visuel dans le traitement de sources d'information de nature différente.

En effet, ce qui caractérise essentiellement la différence entre conducteurs débutants et conducteurs expérimentés est moins la variation du nombre de fixations sur le véhicule mobile que l'augmentation des durées élémentaires des fixations sur cette même source d'information. De plus, cette augmentation existe aussi chez les débutants sous l'effet de la pratique, bien que l'analyse statistique sur les cinq premières secondes ne montre pas d'effet significatif.

Si le nombre de fixations sur le véhicule mobile avait été effectivement faible chez les débutants nous aurions pu conclure que les débutants effectuaient principalement le contrôle de trajectoire sans pouvoir prendre en compte le véhicule mobile. Mais les résultats montrent surtout des différences au niveau des durées élémentaires de fixations sur le véhicule mobile, ce qui amène à les interpréter en termes de traitement différentiel des sources d'information.

L'effet de la décision sur les stratégies d'exploration, analysé par ailleurs (NEBOIT, 1980), renforce cette interprétation puisqu'on observe essentiellement une augmentation des durées de fixation sur le véhicule mobile en cas de dépassement chez les expérimentés. Les expérimentés présenteraient donc une adaptation des durées de fixation en fonction de la nature de la décision.

Ces données obtenues dans le cadre d'une analyse transversale et sur des classes extrêmes au regard de l'expérience de la conduite automobile, demanderaient à être confirmées dans une analyse longitudinale, sur des sujets en apprentissage. Il ressort néanmoins que l'essentiel du processus d'apprentissage, dans les conditions étudiées ici, et pour la tâche considérée semble donc se situer au niveau d'une différenciation, d'une spécification avec l'expérience, des processus d'acquisition et de traitement, en fonction de l'information traitée, et en fonction des conditions d'exécution de la tâche.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Au terme de ce travail nous avons conscience d'avoir laissé dans l'ombre de nombreux problèmes et sans réponse plusieurs questions. D'abord, la conduite d'un véhicule se déroule dans un environnement que l'on pourrait qualifier de probabiliste puisque chaque diagnostic que fait le conducteur sur l'état du système à un moment donné peut être infirmé l'instant suivant par un événement non prévu et même peu probable. Le conducteur doit donc se construire une représentation probabiliste des événements qu'il rencontre, et on peut faire l'hypothèse que ses stratégies d'exploration visuelle vont refléter d'une certaine manière l'aspect probabiliste de l'environnement et la représentation que s'en fait le conducteur. La simplification provisoire qui a tenu lieu d'analyse de la tâche, pour des besoins évidents de limitation du contenu des études présentées ne doit pas faire oublier cet aspect.

De plus, puisque le conducteur procède par échantillonnage, l'information recueillie et utilisée par lui ne constitue qu'un échantillon restreint de l'information disponible dans l'environnement. Mais en procédant ainsi, le conducteur « court le risque » d'une identification erronée de l'objet ou de l'événement. Certes, plus le conducteur rassemble d'indices, plus il diminue le risque d'erreur, mais, en contre partie, prélever beaucoup d'informations exige plus de temps et retarde donc la réponse. Le conducteur se trouve donc devant un choix : 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 est probable que ce choix se traduira par des stratégies d'exploration différentes selon les sujets et déterminera partiellement le choix d'une vitesse de déplacement, la régulation finale s'effectuant à ce niveau.

Enfin, la conduite automobile, en tant que tâche complexe implique bien sûr au plus haut degré les activités perceptives de l'opérateur, mais celles-ci sont mises en œuvre dans un contexte social dont le poids global est important dans la tâche. En effet, le conducteur n'a pas seulement comme tâche la régulation d'un système « physique » puisqu'il est constamment en relation, et parfois en conflit, avec d'autres conducteurs. Or, à ce niveau et dans certaines situations, l'activité de prise d'information sera, à l'évidence, influencée par les « conditions sociales » de son fonctionnement. Une étude plus complète nécessiterait donc la prise en compte de ces différents aspects de la tâche.

Néanmoins, à l'intérieur du cadre assigné à ce travail, nous pensons pouvoir tirer plusieurs conclusions, à la fois au plan des résultats, au plan théorique, et au plan des conséquences pratiques pour l'enseignement de la conduite.

1. Résumé des résultats

Au plan des résultats nous nous contenterons de résumer brièvement ceux-ci puisqu'ils ont été discutés en détail sous les différents chapitres. Nous n'en retiendrons donc que les grandes lignes. La prise d'information de sujets en cours d'apprentissage marque une évolution qui se caractérise par des changements au niveau du contenu informatif, et au niveau de la forme de l'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 orienté vers les aspects instrumentaux de la tâche : au début de l'apprentissage, le conducteur recherche l'information sur les outils de réalisation de la tâche (commandes du véhicule 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 prévision à plus long terme. De même, l'augmentation des capacités de stockage en mémoire à court terme, dont témoignent les performances de rappel des expérimentés, sont probablement liées à une orientation plus sélective de la recherche vers les informations plus pertinentes, c'est-à-dire plus significatives par rapport à la prévision du conducteur. Une analyse plus ponctuelle des changements dans la réalisation d'une trajectoire rectiligne, avec l'expérience, a permis de faire apparaître des évolutions synchrones de l'augmentation de la précision dans l'exécution de la tâche et l'éloignement progressif de la zone de fixation.

Ces changements peuvent être interprétés comme une véritable « anticipation visuelle », ou comme le résultat d'une évolution dans l'utilisation de la partie périphérique de la rétine dans la gestion de la direction du déplacement. Ces résultats demanderaient donc à être confirmés dans un cadre expérimental plus adéquat et plus strict ; en particulier pour vérifier avec plus de précision l'hypothèse d'une utilisation différente des propriétés fonctionnelles du système visuel selon le niveau d'expérience.

Enfin, l'analyse des modes de consultation par source d'information dans une situation exigeant à la fois un contrôle de trajectoire et la prise en compte d'un véhicule, source de conflit éventuel, (situation de dépassement simulé sur piste) a fait apparaître des évolutions importantes dans les modes de consultation selon les sources d'information. Ces derniers résultats suggèrent que 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.

2. Prolongements théoriques

Au plan théorique, plusieurs auteurs (JEFFREY, 1968 ; HOCHBERG, 1968, 1972) soutiennent la conception selon laquelle l'évolution de l'exploration visuelle avec l'apprentissage serait corrélative de la formation d'un modèle interne, d'une image, d'un schéma des stimulus visuels. Dans une première étape, l'image n'étant pas formée, les fixations oculaires n'ont lieu que sur certains aspects du stimulus qui ne peuvent encore être encodés, et que le sujet ne peut faire entrer dans un modèle interne, puisque celui-ci ne serait pas construit. Puis, au fur et à mesure de la constitution de ce modèle interne, l'exploration visuelle deviendrait, dans un deuxième temps, plus importante, le sujet « regardant pour regarder » selon l'expression de PIAGET (1961). Enfin, l'image étant complètement constituée, il suffirait, pour le sujet, d'explorer seulement quelques aspects plus particulièrement pertinents du stimulus (ou de l'environnement), pour le reconnaître, ou pour effectuer une tâche finalisée donnée. La constitution d'une représentation du monde visuel serait le facteur explicatif principal de la réduction du nombre de fixations nécessaires à l'exécution de la tâche. De plus, cette représentation permettrait également une intégration unitaire des données informatives des différentes fixations (HOCHBERG, 1972). En effet, selon HOCHBERG, cette « carte schématique » élaborée par le sujet percevant, le rendrait capable d'intégrer les données des différentes fixations, des différents « points de vue ». Le sujet « échantillonnerait » le monde visuel pour vérifier ses hypothèses, ses anticipations en repositionnant les éléments fragmentaires prélevés sur cette « carte mentale ».

Si cette conception explique bien l'augmentation de l'aspect sélectif de la prise d'information avec l'apprentissage, elle n'explique pas, nous semble-t-il, certains de nos résultats, et en particulier les changements au niveau de l'utilisation des propriétés fonctionnelles de l'appareil visuel en fonction des sources d'information consultées, à savoir : changements dans les utilisations respectives des fonctions fovéales et périphériques, et augmentation des durées de fixation sur certaines sources d'information. En effet, puisque le système visuel n'est pas, en soi, transformé par l'apprentissage, mais que l'on note des changements au niveau de l'utilisation des zones de la rétine en fonction de l'information analysée, ainsi que des changements dans les durées des fixations spécifiques des sources d'information, un modèle de l'opérateur devrait rendre compte du double mécanisme de l'adaptation perceptive, à savoir construction d'un mécanisme de recherche sélective des informations pertinentes, mais aussi apparition d'une utilisation adaptée des propriétés du système visuel en fonction des informations recherchées.

Des recherches ayant pour but de révéler d'autres faits établissant l'existence d'une intériorisation des propriétés de l'appareil visuel avec l'apprentissage permettraient de mieux définir les processus d'adaptation de l'instrument (au sens large) de recherche et de traitement de l'information aux caractéristiques de l'environnement.

Enfin, puisque la recherche d'information par le conducteur peut être considérée comme l'expression comportementale de la recherche d'éléments significatifs de l'environnement pouvant permettre une prévision, une des voies de recherche les plus fructueuses serait celle qui prendrait en compte l'évolution progressive de la signification des indices avec la constitution de l'expérience. Ce champ d'investigation devrait être également prometteur pour l'application pédagogique.

3. Portée pratique : conséquences pour la pédagogie de la conduite.

Ces recherches, par la connaissance qu'elles apportent sur les mécanismes de prise d'information du conducteur et sur leur évolution, permettent de proposer des principes pédagogiques et des méthodes didactiques susceptibles d'apprendre aux futurs conducteurs à organiser leur recherche d'information. Nous essaierons donc ici de voir en quoi et comment les résultats apportés par ces recherches peuvent être utilisés dans le contexte concret de l'apprentissage de la conduite.

Les résultats acquis à l'étranger et nos propres données montrent que si on commence à connaître assez bien la nature des changements dans la prise d'information avec l'apprentissage, on en connaît encore mal les mécanismes explicatifs. Néanmoins, de nombreux auteurs s'accordent à penser que l'apprentissage des habiletés perceptives passe à la fois par une augmentation de la connaissance des « régularités » du système auquel l'opérateur doit s'ajuster (en l'occurrence : connaissance de l'environnement routier), et aussi par une intériorisation des propriétés du système visuel relativement aux sources d'information.

En d'autres termes, une prise d'information adéquate est le résultat d'une connaissance adéquate du système qui se traduit par des hypothèses, des prévisions, des anticipations de la part du conducteur, en relation avec une utilisation adéquate de l'appareil visuel pour rechercher et analyser l'information présente.

Autrement dit, en schématisant, il faut savoir ce qui peut survenir (anticipation, prévision) pour savoir *où* et *quoi* « regarder » (recherche sélective d'informations) et il faut savoir *comment* regarder (utilisation « économique » et « efficace » du système visuel).

L'apprentissage de la prise d'information est donc susceptible d'être accéléré par :

– *l'acquisition de connaissances* concernant le système routier : code, règles implicites et explicites, mais aussi connaissances des éléments de sécurité et de risque sur la route et des probabilités attachées à chaque configuration ou situation routière comportant un risque éventuel. L'acquisition de ces connaissances ayant pour but la construction d'un système d'hypothèses relatives aux différentes situations de conduite.

– *l'entraînement à la recherche puis à l'estimation* des divers paramètres ou indices dans différentes situations ; cet entraînement ayant pour objectif l'apprentissage de l'utilisation du système visuel dans la recherche d'indices pertinents (significatifs).

Ces différents principes amènent donc à concevoir des aides pédagogiques dans deux sens différents :

D'une part des techniques ayant pour but d'aider l'élève à construire son système de représentation du phénomène routier. Ces aides ont donc essentiellement pour objectif de présenter des informations susceptibles de changer son système de représentation et d'attitude, ou de lui faire acquérir des connaissances sur les éléments régulateurs du système (règles explicite et implicites). C'est le cas des enseignements du code de la route, de la diffusion d'informations sur la sécurité. Les moyens à utiliser dans ce cas ressortent des aides visuelles « classiques » destinées à la diffusion de connaissances :

- « dossier sécurité » permettant une meilleure connaissance des situations dangereuses,
- livret d'enseignement programmé,

- diapositives d'information,
- films d'information.

Ces différentes aides devraient être conçues pour des objectifs limités et évaluables.

L'autre catégorie d'aides pédagogiques aurait comme objectif un *entraînement* effectif des habiletés perceptives* qu'il s'agira de définir précisément dans chaque cas pour pouvoir les valider :

- diapositives d'entraînement à la recherche et à la détection d'indices ;
- films d'entraînement à la recherche, à l'analyse d'indices, à la prévision et à la décision ;
- entraînements sur simulateurs ;
- entraînements sur piste ;
- entraînements en situation réelle.

Ces derniers sous-systèmes pédagogiques seraient destinés non pas à l'acquisition de connaissances, mais à l'acquisition d'habiletés perceptives spécifiques qui restent à préciser dans chaque cas, et dans chaque situation de conduite.

D'autre part, ces aides « visuelles » destinées à l'apprentissage de la conduite pourraient être analysées et évaluées en tenant compte des comportements visuels des conducteurs et de leur évolution.

En premier lieu la description de stratégies visuelles caractéristiques des sujets expérimentés dans des configurations données de l'environnement et pour des tâches définies, peut être utilisée sous certaines précautions comme critère final dans des cursus d'apprentissage. Dans ce contexte on ne dispose, il est vrai, que de quelques données très limitées sur des situations simples (contrôle de trajectoire en ligne droite, prise de virage par exemple), mais il paraît a priori possible de définir des critères du même type dans d'autres configurations plus complexes.

De plus, la connaissance des étapes de transformation de l'exploration visuelle pour une situation définie peut également apporter des « critères de niveau » susceptibles d'être utilisés dans un cursus d'apprentissage. Certains auteurs proposent d'utiliser le critère « consultation du rétroviseur » dans des situations définies pour décrire le niveau d'un apprenti conducteur dans le déroulement de l'apprentissage (BLANCHARD, 1980).

Pour prendre un autre exemple, l'efficacité d'une séquence didactique utilisant des présentations de diapositives peut être évaluée à la fois par les hypothèses que les élèves sont capables d'émettre après entraînement, mais aussi par leur exploration visuelle du matériel dans la mesure où elles témoignent de la traduction de ces hypothèses en termes de recherche effective d'information.

Enfin, et surtout, la comparaison des comportements visuels des conducteurs avant et après qu'ils aient subi un apprentissage apporte des critères complémentaires d'efficacité de la méthode proposée quant à sa possibilité globale de transformer les stratégies de recherche d'information. Par exemple, l'efficacité d'un film destiné à des entraînements au dépassement peut être évaluée par la comparaison des décisions prises par l'élève avant puis après l'entraînement, mais aussi, de façon complémentaire, par la comparaison avant et après de ses stratégies d'exploration visuelle.

Bien sûr, il ne peut être question d'utiliser systématiquement et pour chaque élève une telle méthodologie de validation en école de conduite. L'application envisagée consiste à disposer d'une méthode de mesure expérimentale de validation de méthodes pédagogiques qui elles, par contre, seraient utilisées en école de conduite.

Sur ce plan, tout le travail reste à faire, qui consiste, à partir des principes énoncés plus haut, à construire des systèmes didactiques et à les valider par rapport à des objectifs pédagogiques définis. Mais on peut néanmoins affirmer qu'une meilleure connaissance des activités perceptives du conducteur est une condition de base pour que se réalise une véritable évolution contrôlée et scientifiquement fondée de la pédagogie de la conduite. C'est ce à quoi nous nous efforçons pour notre part, de contribuer.

* *Soulignons que ce type d'entraînement est fortement recommandé dans les rapports des groupes de recherche de l'OCDE (OCDE 1976 : La formation des conducteurs ; OCDE 1981 : Principes directeurs pour la formation des conducteurs).*

BIBLIOGRAPHIE

- ALLEN J.A., SCHROEDER S.R., BALL P.G. (1968).
Effects of Experience and short-term practice on drivers' eye movements and errors in simulated dangerous situations.
Perceptual and Motor Skills, 1978, 47, 767-776.
- BAUDONNIERE P.M. et CASTELO R. (1978).
Influence de différents apprentissages sur la différenciation perceptive des jeunes enfants.
L'Année psychologique, 1978, 78, 331-347.
- BLANCHARD C. (1978).
Analyse des erreurs dans le processus d'apprentissage de la conduite automobile. Contribution à l'aménagement d'épreuves du permis de conduire. Rapport ronéoté ONSER. Organisme National de Sécurité Routière. 1978.
- BLANCHARD C. (1980).
Recherche de descripteurs de niveaux d'apprentissage dans la formation à la conduite automobile. Thèse de doctorat de 3ème cycle Université Paris V, décembre 1980.
- COHEN A.S. (1976).
Augenbewegungen des Autofahrers beim Vorbeifahren an unvorhersehbaren Hindernissen und freier streck.
Zeitschrift für Verkehrssicherheit 22 (1976) 2, 68-76.
- COHEN A.S. et STUDACH M. (1977).
Eye movements while driving cars around curves.
Perceptual and Motor Skills. 1977, 44, pp. 683-689.
- ENGEL F.L. (1971).
Visual conspicuity, directed attention and retinal locus,
Vision Research, 1971, vol. 11, 563-576.
- FRAISSE P. et VURPILLOT E. (1956).
Effets de l'orientation de l'attention sur l'étendue du champ d'appréhension.
L'Année Psychologique, 1956, n° 56, 433-436.
- FRY G.A. (1968).
The use of the eyes in steering a car on straight and curved roads.
American Journal of Optometry, June 1968.
- GIBSON J.J. et CROOKS (1938).
A theoretical field analysis of automobile driving.
American Journal of Psychology, July 1938, vol 21 n° 3.
- GIBSON J.J. (1966).
The senses considered as Perceptual System.
Houghton Mifflin Company, 1966.
- GIBSON J.J. (1968).
Visually controlled locomotion and visual orientation in animals.
British Journal of Psychology, 1968, n° 49, pp. 182-194.

- GORDON D.A. (1966 a).
 Perceptual basis of vehicules guidance.
Public roads. vol 34, n° 3, pp. 53-68.
- GORDON D.A. (1966 b).
 Experimental Isolation of Driver' Visual Input.
Human Factors, April 1966, pp. 129-137.
- GREENSHIELD B.D. (1966).
 Charges in driver performance with time in driving.
 Highway Research Record n° 122, 1966.
- HELANDER M. et SODERBERG S. (1972).
 Driver visual behavior and electrodermal response during highway driving.
 University of Göteborg. Report n° 4, vol 2, 1972.
- HOCHBERG J. (1968).
 In the mind's eye
 in HABER R.N.. *Contemporary thery and Research in visual preception*.
 New York Hold, 1968, p. 309-331.
- HOCHBERG J. (1972).
 The reprentation of things and people.
 In GOMBRICH D.H., HOCHBERG J. and BLACK M. *Art, Representation and Reality*.
 Baltimore. Hohn Hopkins Press, 1972, p. 47-94.
- JEANNEROD M. (1974).
 Les deux mécanismes de la vision.
La Recherche, n° 42, Janvier 1974.
- JEFFREY W.E. (1968).
 The orienting reflex and attention in cognitive development.
Psychological Review, 1968, 75, p. 323-334.
- JOHNSTON L.R., WHITE G.R., CUMMING R.W. (1973).
 The role of optical expansion patterns in locomotor control.
Americain Journal of Psychology, 1973, vol. 86, n° 2, 311-324.
- LAVILLE A. et PAILHOUS J. (1975).
 Les activités visuelles dans l'apprentissage de tâches spatiales.
 in : LAVILLE A., TEIGER C. et WISNER A. : « *Age et contraintes de travail* ». N.E.B. Editions
 Scientifiques. Paris 1975.
- LEPLAT J. (1963).
 Les liaisons sensori-motrices,
 in : FRAISSE P. et PIAGET J. *Traité de Psychologie Expérimentale*, T. II, P.U.F., Paris 1963.
- LEVY-SCHOEN A. (1969).
L'étude des mouvements oculaires. Revue des techniques et des connaissances.
 DUNOD, Paris 1969.

- LEVY-SCHOEN A. (1972).
Rapports entre mouvements des yeux et perception
in HECAEN H. : « *Neuro psychologie de la perception visuelle* »,
Masson, 1972, Paris.
- LLEWELLYN K.R. (1971).
Visual guidance of locomotion.
Journal of experimental psychology, 1971, vol 91, n° 2, 245-261.
- MACKIE A.M. and OLDER S.J. (1964).
A pilot study of immediate recall of items in road situations.
Laboratory note. T.R.R.L. February 1964.
- MACWORTH N.H. (1950).
Researches on the measurement of Human Performance.
Medical Research Council. Special Report 268.
- MAYER E., BULLINGER A. et KAUFMANN J.L. (1979).
Motricité oculaire et cognition dans une tâche spatiale.
Archives de Psychologie. XLVII, 183, 1979, pp. 309-320.
- MC RUER D.T., ALLEN R.W., WEIR D.H., and KLEIN R.H. (1977).
New results in driver steering control models.
Human Factors, 1977, 19 (4), 381-397.
- MEGAW E.D. (1975).
Factors under lying distribution of eye fixation times.
in : LAVILLE A., TEIGER C. et WISNER A. : « *Age et contraintes de travail* ». N.E.B. Editions
Scientifiques. Paris 1975.
- MOURANT R.R. and ROCKWELL T.H. (1972).
Strategies of visual search by novice and experienced drivers.
Human Factors, 1972, 14 F, 325-335.
- MOURANT R.R., DONOHUE R.J. (1977).
Acquisition of Indirect Vision Information by Novice Experienced and mature Drivers.
Journal of Safety Research, 1977, March, vol. 9, n° 1, 39-46.
- NEBOIT M. (1971).
Etude de deux types d'entraînement au contrôle de la trajectoire.
DOC. Ronéoté ONSER, Juillet 1971.
- NEBOIT M. (1971).
Etude du contrôle de la trajectoire.
Rapport Ronéoté, ONSER, Juillet 1971.
- NEBOIT M. (1974).
Perception, anticipation et conduite automobile.
Le Travail Humain, tome 37, n° 1, 1974, p. 53 à 72.
- NEBOIT M., PAPIN J.P., POTTIER A., PUIMEAN-CHIEZE J.P., VIARD D. (1978).
Choix et techniques d'analyse de la prise d'information visuelle.
Revue de Médecine aéronautique et spatiale. T XVII n° 65-66-67. 1978.

- NEBOIT M. (1980).
*L'exploration visuelle dans l'apprentissage de tâches complexes :
 L'exemple de la conduite automobile.*
 Thèse de doctorat. Université René Descartes. Paris V, Sorbonne 1980.
- NEBOIT M. (1981).
Vision, exploration visuelle et sécurité routière. Revue bibliographique
 Cahier de l'ONSER n° 54 1981.
- O.C.D.E. (1976).
La Formation des Conducteurs. Rapport préparé par un groupe de recherche routière de
 l'Organisation pour la Coopération et le Développement Economique. 1976.
- O.C.D.E. (1981).
Principes directeurs pour la formation des conducteurs. OCDE 1981.
- O'REGAN K. et LEVY-SCHOEN A. (1978).
 Les mouvements des yeux au cours de la lecture.
L'Année Psychologique, 1978, 78, 459-492.
- PAILLARD J. (1976).
 Espace visuel et programmation motrice.
Cahiers de Psychologie, 1976, vol. 19, 171-180.
- PAILHOUS J. (1970).
 L'analyse des tâches complexes par les mouvements oculaires.
Année Psychologique, 1970, n° 2, pp. 487-504.
- PAILHOUS J. et BULLINGER A. (1978).
 The role of interiorisation of material properties of information-acquiring-devices in exploratory
 activities.
Communication and Cognition, vol. 11, n° 2, 1978, pp. 209-234.
- PIAGET J. (1961).
Les mécanismes perceptifs.
 PUF, 1961, Paris.
- RACKOFF N.J., ROCKWELL T.H. (1975).
 Drivers' Search and Scan patterns in night Driving.
 Transport Research Board. Special Report n° 156, 1975, 53-63.
- ROCKWELL T.H., OVERBY C., MOURANT R.R. (1968).
 Driver' eye movements. An apparatus and calibration.
 Highway Research Record. n° 247, 1968, pp. 28-41.
- RUTLEY R.S. (1972).
 An eye camera for use in driver behavior study.
 Medical and Biological Engineering 1972, n° 10, pp. 101-103.

- SAAD F. (1975).
Structuration de la tâche et activités perceptives dans la conduite automobile. Note
ronéotée ONSER, Organisme National de Sécurité Routière, Septembre 1975.
- SHINAR D., MC DOWELL E.D., ROCKWELL T.H. (1977).
Eye Movements in curve negotiation.
Human Factors, 1977, 19 (1), 63-71.
- VERGNAUD G. (1964).
Essai de classification des situations d'apprentissage.
Bulletin du C.E.R.P., 1964, vol XIII, n° 3.
- VURPILLOT E. (1972).
Le monde visuel du jeune enfant.
PUF. 1972 - Paris.
- YOUNG L.R. and SHEENA D. (1975).
Survey of eye-movement recording methods.
Behavioral Research Methods and Instrumentation, 1975, vol. 7 (5), pp. 397-429.
- ZELL J.R. (1969).
Driver eye-movements as a function of driving experience.
Technical Report IE, 16, Engineering Experimental station,
OHIO State University. Columbus, 1969.

ANNEXES

ANNEXE I

TECHNIQUE D'ENREGISTREMENT DES MOUVEMENTS OCULAIRES *

* *Une présentation technique détaillée est faite dans un cahier d'étude de l'ONSER : « L'ENREGISTREMENT ET L'ANALYSE DE LA DIRECTION DU REGARD DU CONDUCTEUR ». M. NEBOIT-O. LAYA (à paraître).*

TECHNIQUES D'ENREGISTREMENT DES MOUVEMENTS OCULAIRES

L'enregistrement, en situation de conduite automobile imposait plusieurs contraintes :

- enregistrement simultané de la position du regard et du paysage routier,
- précision acceptable compte tenu des objectifs,
- possibilité d'installation rapide du matériel embarqué,
- utilisation en conditions de circulation réelle.

Ces différentes contraintes ont amené à utiliser la méthode du reflet cornéen dans une réalisation japonaise : LE NAC EYE MARK RECORDER (prêté par le Professeur Michel POTTIER du CHU de Caen).

1. Principe du reflet cornéen

La surface cornéenne, bien qu'elle ne soit pas une surface optique parfaite, peut être décrite comme une section sphérique de 8° de courbure.

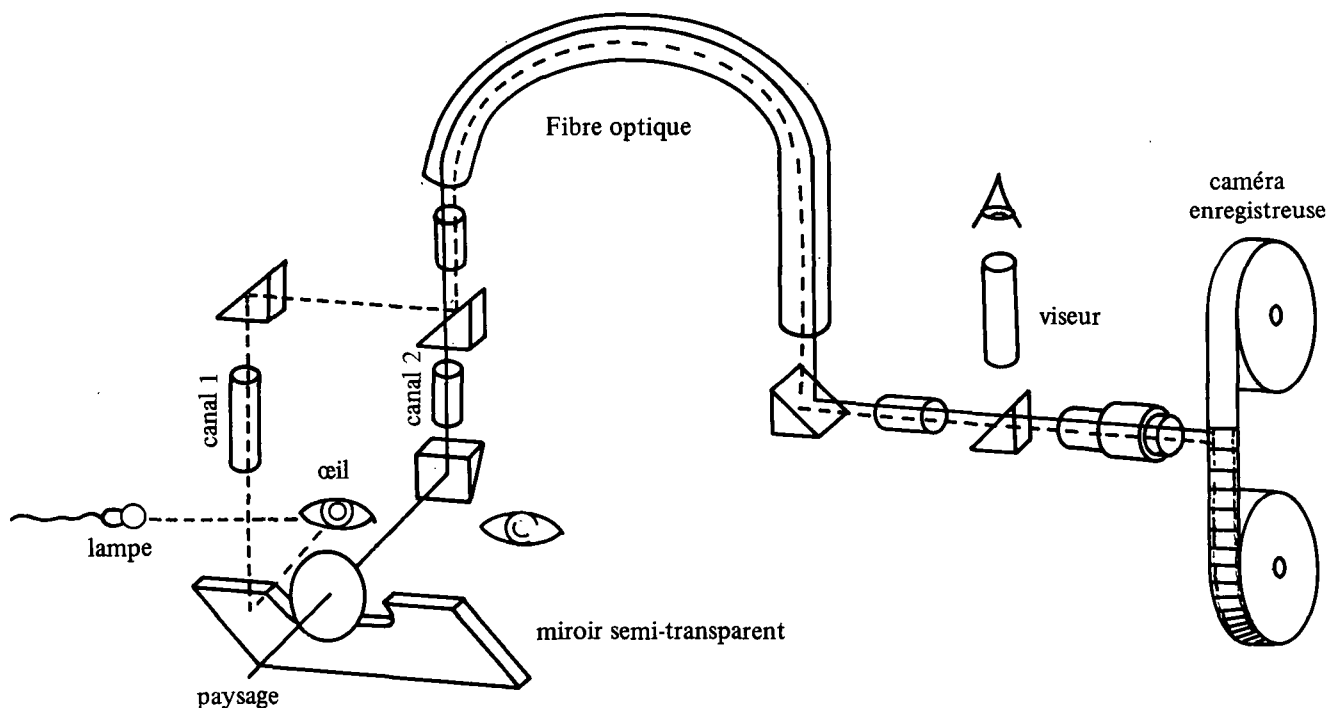
Se comportant comme un miroir convexe, elle reflète toute source lumineuse en formant une image virtuelle qui peut être photographiée ou filmée. La position du reflet sur la cornée est fonction de la position de l'œil. La rotation de l'œil autour de son centre produit une rotation de la surface cornéenne se traduisant par une translation relative formant la base de la technique d'enregistrement des mouvements de l'œil connue sous le nom de *méthode d'enregistrement du reflet cornéen*.

La courbure cornéenne produit donc une image virtuelle qui se déplace en direction du mouvement de l'œil par rapport à la tête parce que la courbure de la cornée est inférieure à la courbure du globe oculaire.

2. Le NAC

Description de l'appareil :

Le NAC EYE MARK RECORDER est basé sur le principe exposé ci-dessus. Par un objectif rendu solidaire de la tête du sujet, le paysage vu par le conducteur est transmis à un système optique à prismes, puis, par l'intermédiaire d'une fibre optique, arrive à la caméra enregistruse. Un faisceau lumineux part de la lampe, se réfléchit sur la cornée, et, renvoyé par un miroir semi-transparent dans le système optique, se superpose à l'image du paysage routier.



Les moyens d'enregistrement.

Deux solutions de base sont possibles :

- soit par film caméra 16 mm (caméra BEAULIEU R 16).
- soit vidéo (caméra Aäton miniaturisée + magnétoscope)

Une troisième solution peut être envisagée dans le cas de séquences longues ou dans des conditions d'éclairage faible : enregistrement vidéo, puis repiquage (kinescopage) sur film 16 mm pour le dépouillement.

3. Précision de la mesure.

Le calibrage du système Eye Marker réalisé en laboratoire a mis en évidence les résultats suivants :

- l'écart horizontal et vertical mesuré avec ou sans mouvement de la tête subit une augmentation au fur et à mesure que les points de fixation s'écartent du repère central et ne dépasse pas 1 degré d'angle (pour un déplacement de l'œil de 14 degrés d'angle).
- les écarts horizontaux sont plus faibles que les écarts verticaux.
- une zone de $\pm 6^\circ$ autour du repère central peut être considérée comme une zone de moindre erreur dans les deux situations expérimentales (écart inférieur à 0,5 degré d'angle).

Les valeurs obtenues confirment l'exactitude d'enregistrement mesurée par ROCKWELL TH., OVERBY C., MOURANT RR (1968), ainsi que le degré de précision contrôlé par RUTLEY RS (1972), HELANDER M. et SODERBERG S. (1972), sur une technique employant le reflet cornéen en situation de conduite.

En résumé, les écarts entre le spot lumineux et la direction effective du regard du sujet peuvent être considérés comme négligeables :

- puisque dans une zone de 6° autour de l'axe central, l'erreur est inférieure à 0,5 degré d'angle.
- et puisque au-delà de 15 degrés environ (seuil à partir duquel le spot disparaît ou devient flou) on observe généralement un mouvement de la tête qui compense la rotation de l'œil.

Un des problèmes posés par l'appareil dans le cas de la conduite est la stabilité dans le temps en fonction des vibrations engendrées par le revêtement.

Pour vérifier cette stabilité on a passé 12 sujets qui ont suivi le cursus expérimental suivant :

- calibrage de départ.
- Phase 1 : 10 minutes sur piste pavée.
- calibrage
- Phase 2 : 10 minutes sur piste pavée.
- calibrage
- Phase 3 : circuit routier à revêtement goudronné.
- calibrage.

Après chaque phase on a mesuré l'écart entre le point effectivement regardé par le sujet et la position du spot. On a obtenu ainsi une évaluation de la dérive du spot au fur et à mesure du déroulement des trois épreuves.

Comme on pouvait s'y attendre, la majorité des décalages sont verticaux. On a un indicateur très grossier de la stabilité en comparant les résultats moyens après chaque situation ; on obtient :

- Après 5 tours : environ 5° d'angle,
- Après 10 tours : environ 2° d'angle,
- Après circuit : moins de 1° d'angle.

Donc, passé une période de stabilisation, l'erreur est minime : moins de 1° d'angle.

Néanmoins, un calibrage fréquent reste nécessaire dans des enregistrements portant sur des périodes de longue durée dépassant 3 à 4 minutes.

ANNEXE II

TECHNIQUE DE L'ENREGISTREMENT DES MOUVEMENTS DU VOLANT *

** Réalisation C. PERROT et J.J. SOUBERCAZE.*

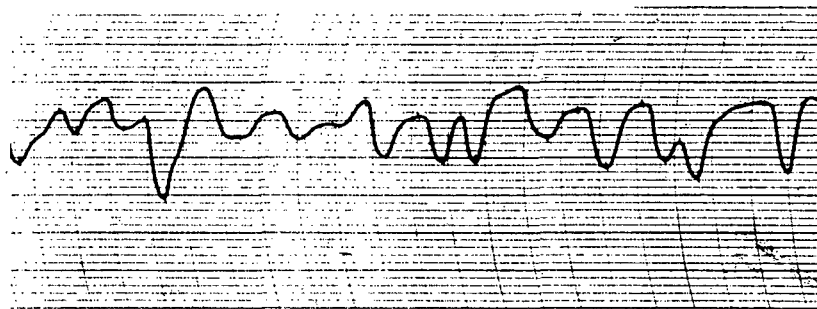
I – PRINCIPE GENERAL DE L'ENREGISTREMENT DES MOUVEMENTS DU VOLANT.

L'ensemble technique d'enregistrement des mouvements du volant est composé d'un capteur (potentiomètre linéaire) solidaire de la colonne de direction relié à un enregistreur à plume (type SEFRAM).

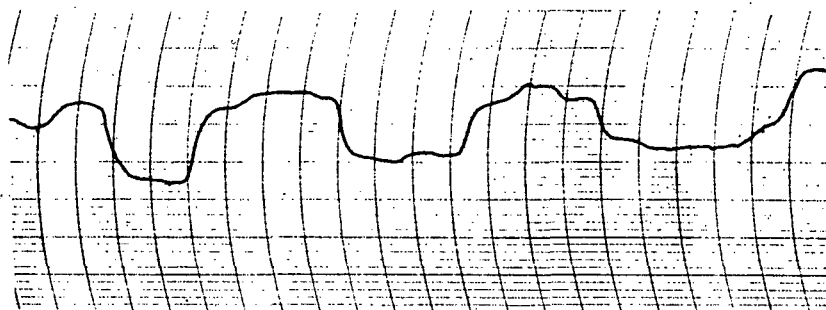
Le signal sortant du potentiomètre est « à peu près » proportionnel à la rotation du volant. A titre d'exemple on peut voir ci-dessous deux enregistrements réalisés à 50 km/h sur une distance de 100 m par un sujet expérimenté et par un sujet débutant.

Exemples de tracés (distance 100 m, à 50 km/h).

Expérimenté



Débutant.



II – CARACTERISTIQUES DES APPAREILS

1. Enregistreur graphique.

Voie rectilinéaire, type 40 DCMI MFG

- Linéarité : ± 1 % pleine échelle.
- Hystéresis : $\pm 0,25$ % pleine échelle.
- Précision des vitesses : ± 1 %.

2. Capteur des mouvements du volant.

Les contraintes imposées étaient les suivantes :

- jeu mécanique nul,
- absence d'altération électrique du signal,
- maximum de précision et d'amplitude de la mesure angulaire significative.

Le capteur est un potentiomètre de précision réalisé à la demande.