



**CAHIERS
D'ÉTUDES**

*Cahier d'Etude N° 54
Juillet 1981*

**VISION, EXPLORATION VISUELLE
ET SÉCURITÉ ROUTIÈRE**

**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 .

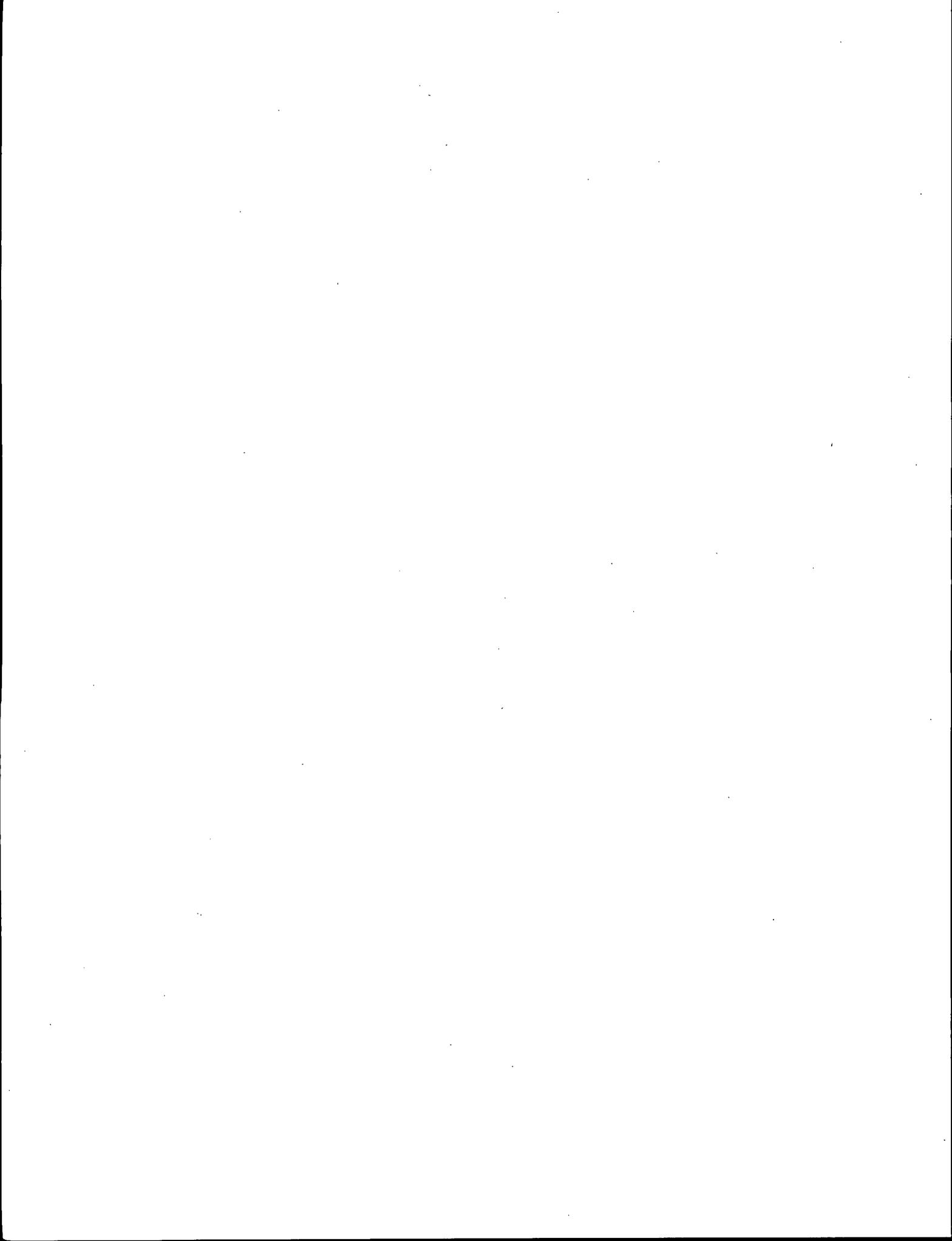
2, avenue du Général-Malleret - Joinville, 94114 Arcueil Cédex.

**VISION, EXPLORATION VISUELLE
ET SÉCURITÉ ROUTIÈRE**

Revue Bibliographique

*M. NEBOIT
Chargé de recherches
à l'ONSER*

** Etude réalisée pour le compte de la Direction des Routes et de la Circulation routière.*



VISION, EXPLORATION VISUELLE ET SECURITE ROUTIERE

PLAN

	Pages
RESUME	1
INTRODUCTION	2
I – VISION ET SECURITE ROUTIERE	3
A. DESCRIPTION SOMMAIRE DE L'OEIL	3
B. L'ACUITE VISUELLE STATIQUE	6
a) L'acuité visuelle photopique	
b) L'acuité visuelle mésopique et scotopique	
c) L'acuité visuelle sous éblouissement	
C. LA VISION DES COULEURS	8
D. LE CHAMP VISUEL	9
E. L'ACUITE VISUELLE DYNAMIQUE	10
F. LA DETECTION DE MOUVEMENTS ANGULAIRES	10
G. LA DETECTION DU MOUVEMENT « EN PROFONDEUR »	11
H. L'EXPLORATION VISUELLE	11
I. CONCLUSIONS	14
II – L'EXPLORATION VISUELLE DU CONDUCTEUR	15
A. LES METHODES D'ANALYSE DE LA SAISIE VISUELLE	20
1. Les méthodes d'explicitation verbale	
2. Le contrôle expérimental de l'information	
3. L'enregistrement de l'activité oculaire	
a) L'observation directe de la direction du regard	
b) L'enregistrement de l'activité électrophysiologique	
c) L'enregistrement simultané de la direction du regard et du champ exploré	
4. Conclusion	
B. GENERALITES SUR LES MOUVEMENTS OCULAIRES	21
C. L'INTERPRETATION DES PARAMETRES DE L'EXPLORATION VISUELLE	24

PLAN (Suite 1)

	Pages
D. EXPLORATION VISUELLE ET SITUATIONS DE CONDUITE	34
a) Contrôle de trajectoire en ligne droite	
b) Contrôle de la trajectoire en virage	
c) Analyses globales de l'exploration visuelle sur un parcours	
d) Analyse des mouvements oculaires dans diverses situations complexes	
e) L'exploration visuelle en situation de conduite de nuit	
E. EXPLORATION VISUELLE ET « ETAT » DU CONDUCTEUR	40
a) Mouvements oculaires et « style perceptif »	
b) Effet de la fatigue	
c) Effet de l'alcool et de différentes « drogues »	
d) Evolution de l'exploration visuelle avec l'apprentissage et l'expérience	
e) Conclusion	
F. VISION FOVEALE (« CENTRALE ») ET VISION PERIPHERIQUE (« AMBIANTE ») : leurs relations fonctionnelles dans la conduite	41
III – CONCLUSION : APPLICATIONS POSSIBLES	41
A. L'ANALYSE DE LA TACHE DE CONDUITE SOUS L'ASPECT SAISIE ET TRAITEMENT D'INFORMATION	41
B. L'ERGONOMIE DE LA PRESENTATION DE L'INFORMATION	42
a) Aménagement ergonomique du poste de conduite	
b) Ergonomie de la structure routière	
c) Ergonomie de la signalisation routière	
C. PEDAGOGIE DES ACTIVITES PERCEPTIVES VISUELLES	44
BIBLIOGRAPHIE	47

VISION, VISUAL SEARCH, AND ROAD SAFETY

ABSTRACT

It is usually considered that the greatest part of the information processed by the driver is obtained through his visual system. In fact, it is difficult to deny that vision and visual perception play a central role in the driver-vehicle-road system.

On the other hand, attempts to establish a probabilistic link between visual system dysfunctions and road accidents have often been unproductive.

This apparent contradiction, which can be explained by psychological compensation mechanisms, has not prevented certain countries of using visual tests as a basis of driver selection. The relationships between vision and road safety are briefly summarised in the first part of this paper.

Another approach consists in studying information gathering and processing, that is to say the use a driver makes of his visual system in searching, detecting, and processing informations.

The studies adopting such an approach give a more immediate understanding of the perceptual mechanisms involved and permit a more thorough analysis of the information gathering processes. Such researches, on visual search in driving, are presented in the second part.

To conclude, three areas of application are proposed : analysis of the perceptual aspect of the driving task ; ergonomics of the vehicle, road system signalisation ; psychopedagogy of the perceptual activity in driving.

VISION, EXPLORATION VISUELLE ET SECURITE ROUTIERE

RESUME

Il est courant de considérer que la plus grande part de l'information traitée par le conducteur lui parvient par son système visuel. On peut en effet difficilement nier que la vision et la perception visuelle jouent un rôle central dans le fonctionnement du système conducteur-véhicule-environnement.

Pourtant, les tentatives de mise en lumière d'un lien probabiliste entre certains dysfonctionnements du système visuel et les accidents de la route se sont révélées le plus souvent infructueuses. Cette apparente contradiction, qui peut s'expliquer par l'apparition de processus psychologiques de compensation, n'a pas empêché un certain nombre de pays d'adopter des procédures de sélection de conducteurs sur la base de tests de vision. Les relations entre vision et sécurité routière sont résumées brièvement dans la partie I de ce travail.

Une autre approche consiste à étudier le processus de saisie et de traitement de l'information, c'est-à-dire l'utilisation, par le conducteur, de son système visuel pour rechercher, détecter et traiter l'information. Les études qui adoptent ce point de vue, apportent une compréhension plus directe des mécanismes perceptifs mis en jeu dans la conduite, et permettent une véritable analyse des processus de saisie d'information. Les études menées sur l'exploration visuelle du conducteur à l'Etranger et en France sont présentées dans la deuxième partie.

En conclusion, des applications sont proposées dans trois directions principales : analyse du versant perceptivo-cognitif de la tâche de conduite, ergonomie du système routier et du véhicule, psychopédagogie des activités perceptives.

VISION, EXPLORATION VISUELLE ET SECURITE ROUTIERE.

INTRODUCTION

Bien que la conduite automobile soit une tâche complexe faisant appel à toutes les modalités sensorielles du conducteur (auditive, proprioceptive, équilibration, vision, etc . . .) de nombreux auteurs ont affirmé la prééminence de la modalité visuelle. Pour certains auteurs (GIOIA et MORPHEW, 1968 ; HARTMANN, 1970) 90 % de l'information traitée par un conducteur est d'origine visuelle. Cette quantification a peu de sens et exprime néanmoins le fait que la vision est la modalité sensorielle la plus sollicitée dans la conduite automobile, on peut alors penser que des dysfonctionnements des récepteurs visuels vont retentir sur l'accomplissement de la tâche. De plus si, dans la population des conducteurs, on trouve un nombre important de défauts visuels non corrigés, on peut s'attendre en droit à ce que ces défauts visuels soient responsables d'une performance de conduite détériorée et par suite d'erreurs de conduite donc d'accident. Ce raisonnement a amené un nombre important d'auteurs à étudier les relations entre des dysfonctionnements visuels et l'insécurité sur la route. Ces études seront résumées dans la partie I de ce rapport sous le titre général : **Vision et sécurité routière.**

Mais les paramètres physiologiques de la vision ne sont pas seuls en cause dans la perception visuelle. En effet, une des caractéristiques du système sensoriel visuel est que l'œil est un récepteur orientable et que les déplacements de l'œil sont nécessaires pour traiter l'ensemble complexe d'informations présentées au conducteur. Le système visuel est l'outil de prélèvement, d'analyse et de traitement de l'information visuelle.

Ce prélèvement d'informations est dirigé par des structures centrales de commande, le traitement de l'information étant effectué également en majeure partie au niveau du système nerveux central. C'est donc également à ce niveau plus "cognitif" qu'il importe de mieux analyser les mécanismes perceptifs visuels en tenant compte, en particulier du rôle des hypothèses, des attentes du conducteur sur ses stratégies de saisie et de traitement de l'information.

Ces considérations ont été à la source d'études menées sur la saisie et le traitement de l'information par le conducteur. Ces études seront représentées dans la partie II : **L'exploration visuelle en situation de conduite.**

Enfin la synthèse des résultats de ces deux modes d'approche sera présentée en III, sous forme de propositions au niveau de l'application dans le domaine de l'analyse de l'activité perceptive en conduite, de l'ergonomie de la présentation de l'information et de la pédagogie des activités perceptives dans l'enseignement de la conduite.

I – VISION ET SECURITE ROUTIERE.

Puisqu'il est généralement admis que la vision joue un rôle central dans la conduite, il est naturel de se demander si une diminution des capacités visuelles ne serait pas un facteur important responsable d'un grand nombre d'accidents de la route.

Par exemple, une faible acuité visuelle provoquerait une mauvaise lecture des panneaux de signalisation et une erreur d'interprétation ; une mauvaise vision stéréoscopique (vision du relief) pourrait amener une appréciation erronée des distances ; une faible résistance à l'éblouissement pourrait provoquer une non détection d'un véhicule arrêté sur le bas côté la nuit, etc . . . Ces différentes "erreurs" étant susceptibles de mener à un accident.

Alors, il serait nécessaire de s'assurer que des futurs conducteurs ne présentent pas ces dysfonctionnements, et donc, de sélectionner les conducteurs sur des tests de vision. Il serait également important de contrôler régulièrement les capacités visuelles des conducteurs tout au long de leur vie de conducteur, et en particulier de s'assurer de leur relative intégrité visuelle avec l'âge.

Pour répondre à ces questions, de nombreuses études ont été menées pour vérifier si on pouvait trouver une relation entre vision défectueuse et accidents routiers.

Une première phase des travaux a consisté à faire une liste, à partir de jugements d'experts, des comportements de conduite dans lesquels la composante visuelle est fondamentale et à délimiter les fonctions visuelles pertinentes à ces différents comportements (HENDERSON, BURG et BRAZELTON, 1971). A partir de cette étude, les auteurs ont éliminé les fonctions visuelles paraissant les moins importantes dans la conduite, à savoir : la vision du relief, l'amplitude d'accommodation, et la convergence (ces 3 fonctions jouant peu au delà de quelques dizaines de mètres).

Les autres fonctions visuelles ont été analysées par différents auteurs, à savoir l'acuité visuelle statique (photopique, mésopique, et scotopique), l'acuité sous éblouissement, la vision des couleurs, le champs visuel, l'acuité dynamique, la détection des mouvements (angulaires, et en profondeur), l'exploration visuelle. Nous verrons successivement ces différents paramètres physiologiques de la vision en conservant la présentation proposée par SHINAR (1977 a), c'est-à-dire en présentant les caractéristiques du paramètre mesuré et en analysant les relations entre ce paramètre et la conduite automobile, mais auparavant nous rappellerons brièvement quelques données anatomo-physiologiques du système visuel.

A. DESCRIPTION SOMMAIRE DE L'OEIL

(adapté de GUERIN et Col. 1979)

1. L'œil

L'œil (fig. 1) est entouré d'une enveloppe, la **sclérotique**, qui est une membrane de protection, devient transparente sur la partie antérieure de l'œil et forme la **cornée**. Sous la sclérotique, une membrane noire, la **choroïde**, évite les réflexions parasites à l'intérieur de l'œil. La choroïde se transforme en une lentille transparente à la partie antérieure de l'œil pour former le **cristallin**. Celui-ci focalise la lumière sur la rétine, membrane tapissée de récepteurs photosensibles : les cônes et les bâtonnets.

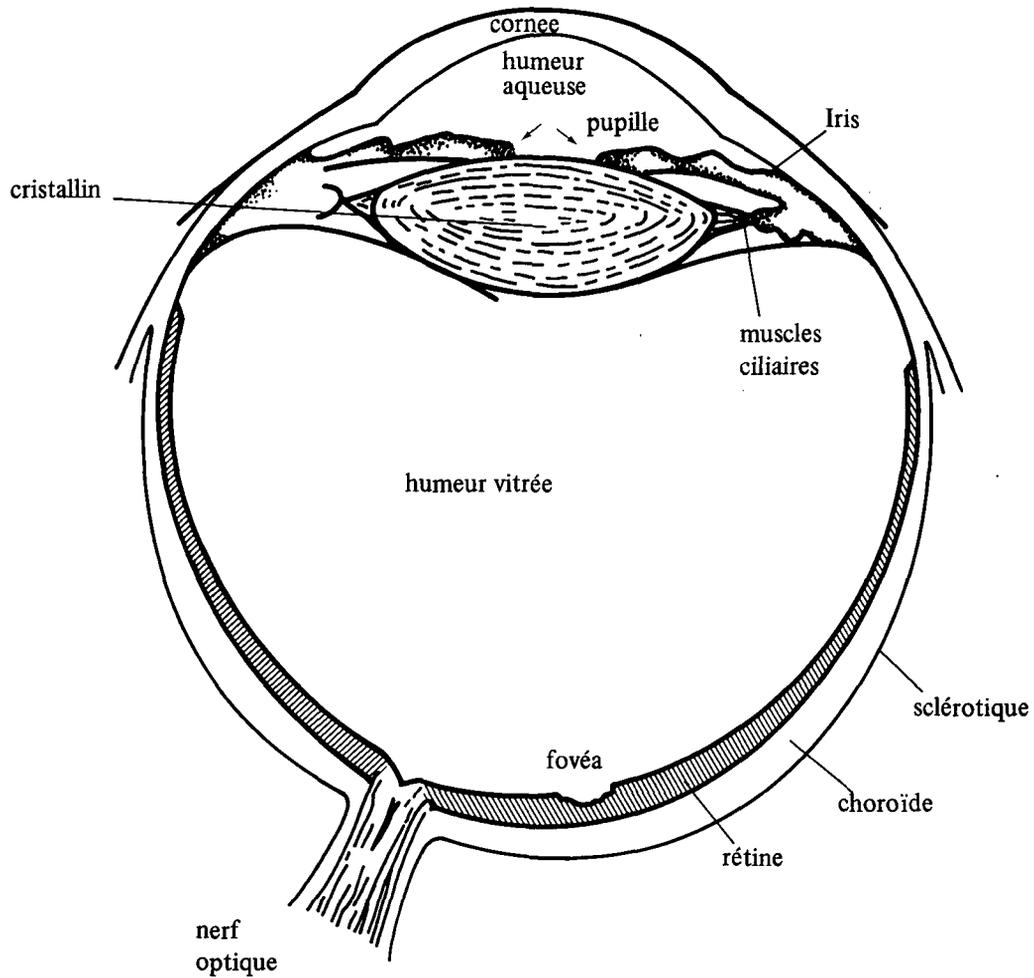


Fig. 1 – Coupe anatomique de l'œil

Les **muscles ciliaires** modifient la courbure du cristallin pour que l'image formée sur la rétine soit nette quelle que soit la distance des objets vus : c'est le mécanisme d'accommodation. La **pupille** est l'orifice circulaire situé au centre de l'iris. Le diamètre pupillaire est augmenté ou diminué selon la quantité de lumière parvenant à l'œil. Cette adaptation à la lumière est "lente", car il faut environ 0,2 seconde pour passer d'un diamètre pupillaire de 4 mm à un diamètre pupillaire de 2 mm. Ceci peut expliquer les conditions difficiles d'adaptation à la lumière rencontrées dans certaines conditions de conduite (tunnels, conduite nocturne etc. . .). L'intérieur du globe oculaire est rempli de fluides : l'**humeur aqueuse** et l'**humeur vitrée**. La lumière doit traverser ces fluides pour parvenir à la rétine, et des quantités plus ou moins importantes de lumière peuvent être diffractées, ce qui peut réduire le contraste objet-fond en conduite sous éblouissement par exemple.

2. la rétine

La rétine est tapissée de cellules réceptrices : les cônes et les bâtonnets (fig. 2).

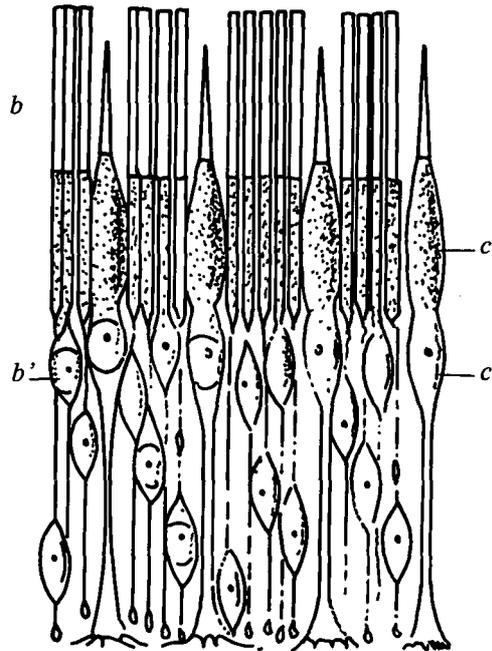


Fig. 2 – Coupe de la couche des cônes et des bâtonnets à la périphérie d'une rétine humaine.

b : bâtonnets ; c : cônes.

Les cônes sont essentiellement localisés au centre de la rétine (*fovea*). Ils permettent une vision précise pour des niveaux d'éclaircissement élevés (photocopies), et la vision des couleurs. La vision fovéale permet l'identification des objets d'après leur forme. L'acuité visuelle est mesurée en vision fovéale.

Les bâtonnets, plus nombreux, sont surtout localisés à la périphérie de la rétine (figure 3). Ils ne sont pas sensibles aux différences de couleur mais sont excités pour de faibles quantités de lumière. La vision périphérique concourt à la structuration de l'espace visuel, à la localisation des objets, et au déclenchement du réflexe qui consiste à amener l'image de l'objet "intéressant" sur la partie fovéale.

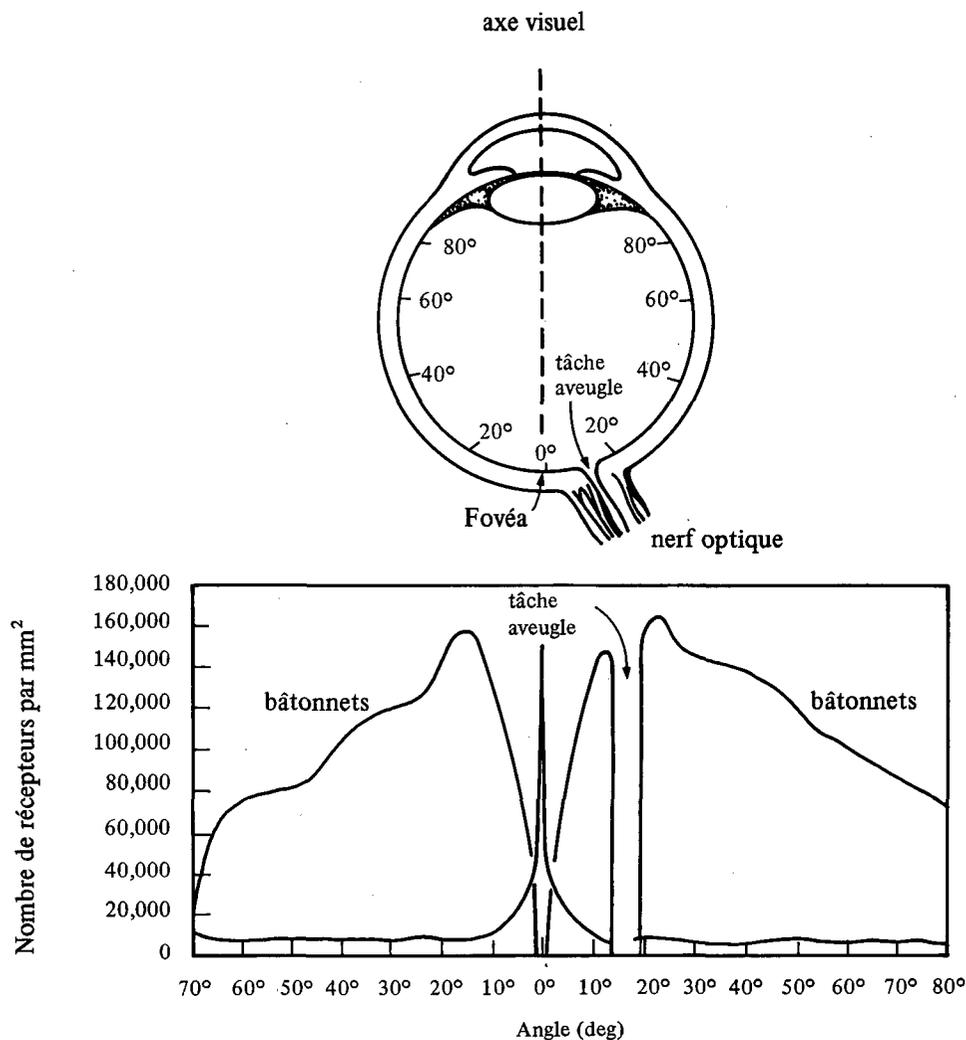


Fig. 3 – Répartition des cônes et des bâtonnets dans la rétine humaine (d'après PIRENNE, 1967)

Les deux systèmes (vision fovéale et vision périphérique) sont distincts, mais fonctionnent de manière coordonnée : la vision périphérique sans vision centrale ne permettrait pas la discrimination fine des formes. Inversement, la vision centrale sans vision périphérique n'amène que des informations parcellaires, non coordonnées entre elles et non structurées spatialement. Il est probable que la vision périphérique a un rôle extrêmement important dans la conduite, rôle qui pourrait d'ailleurs évoluer avec l'expérience par le biais de l'utilisation différente qu'en fait le conducteur au fur et à mesure de l'apprentissage (NEBOIT, 1980, C).

B. L'ACUITE VISUELLE STATIQUE

L'acuité visuelle est définie comme la faculté que possède l'œil à percevoir comme distincts deux points séparés par un certain angle visuel.

Tester l'acuité visuelle statique signifie déterminer le pouvoir résolutif de l'œil au centre du champ visuel.

L'acuité visuelle est donc mesurée par le plus petit angle sous-tendu par 2 objets pouvant être détectés comme distincts, par exemple par la taille des lettres de l'échelle de SNELLEN, ou la taille de l'ouverture d'un anneau de LANDOLT.

L'acuité visuelle régresse fortement avec une diminution du niveau de luminance, il est donc important d'analyser séparément l'acuité visuelle en conditions photopique (vision diurne) mésopique (vision crépusculaire) ou scotopique (vision nocturne).

a) L'acuité visuelle en conditions photopiques

Dans les conditions normales d'éclairément (vision diurne) les cônes rétiniens sont sollicités et leur forte densité permet une acuité maximale au niveau de la fovéa.

Le contraste (rapport de luminance figure-fond) est une variable influençant l'acuité visuelle. Celle-ci est d'autant plus grande que le contraste est grand.

L'acuité visuelle diurne est le paramètre visuel qui a été le plus souvent étudié dans ses relations avec l'implication dans des accidents. SHINAR (1977a) cite une vingtaine d'études, dont les premières remontent à 1930 qui ont eu cet objectif. L'étude principale dans ce domaine est celle de BURG (1967, 68) réanalysée en 1977 (HILLS et BURG. 1977). D'une façon générale il apparaît une corrélation négative, mais très faible entre acuité visuelle et accidents, et cette corrélation n'apparaît que dans les parties extrêmes de la distribution (concernant les 5 % des conducteurs, le plus souvent impliqués dans des accidents).

Entre d'autres termes, "des examens de l'acuité statique pourraient être considérés comme une mesure utile pour éliminer les conducteurs qui présentent le score visuel le plus bas représentant 5 % de la population, mais pas comme un critère d'acceptation des conducteurs ayant un bon score" (SHINAR 1977 a).

De plus il apparaît que les conducteurs de classe d'âge de plus de 50 ans ont les moins bons scores visuels mais leur taux d'accident est plus faible alors que les jeunes (moins de 25 ans) ont un taux d'accident plus élevé malgré un score visuel meilleur. Le résultat devrait orienter vers une différenciation des niveaux de la "barre" d'élimination dans les épreuves de contrôle ou de sélection, en fonction des classes d'âges : il serait souhaitable d'exiger les performances visuelles meilleures chez les plus jeunes que chez les plus âgés.

Ces résultats montrent surtout les difficultés inhérentes à ce type d'étude : répartitions différentes et non homogènes des sujets dans les groupes, définition du taux d'accident, définition de la limite acceptable en termes de performance visuelle.

b) L'acuité visuelle en vision mésopique (crépusculaire) et scotopique (vision nocturne)

On ne trouve pas en principe de corrélation, pour un sujet, entre l'acuité visuelle diurne et l'acuité visuelle nocturne (HENDERSON et BURG 1974), ce qui rend important des mesures spécifiques des deux fonctions. BURG (1967) conclut à une absence de relations entre l'adaptation à l'obscurité et l'implication dans des accidents.

Plus récemment, HENDERSON et BURG (1974) n'obtiennent pas de corrélations significatives entre acuité et accidents mais trouvent que l'acuité mesurée à des niveaux d'illumination est faible est une bonne mesure pour discerner le groupe ayant les plus faibles scores de vision du reste de la population en termes de taux d'accidents. SHINAR en 1976 trouve également une différence significative entre deux groupes de conducteurs, l'un ayant commis des erreurs de conduite, l'autre pas.

Malgré le faible nombre d'études, l'ensemble des résultats suggère que l'acuité visuelle en condition de faible luminance peut être indicatrice si on examine les groupes extrêmes.

c) L'acuité visuelle sous éblouissement

Une source éblouissante dégrade l'image rétinienne par dispersion de la lumière dans les différents milieux optiques (externes : parebrise ; internes : milieux optiques de l'œil).

En présence d'éblouissement, l'acuité visuelle sera fonction de "l'habileté" de l'œil à compenser cette dispersion et à fonctionner en condition de faible contraste.

L'éblouissement a donc pour effet la diminution des contrastes, l'effet de l'éblouissement augmentant avec la diminution du contraste cible-fond.

Donc, si le fond a une luminance faible, l'acuité visuelle diminue fortement, même si la source éblouissante a une faible luminance. Inversement, si le fond a une luminance élevée, il faut une grande luminance de la source éblouissante pour affaiblir l'acuité visuelle (OYAWA et AOKI, 1974). Concrètement, cela signifie que sur un site bien éclairé, les feux de croisement (ou mieux les feux de route) provoquent peu de gêne et peu de diminution de l'acuité visuelle. Par contre, sur le même site non (ou mal) éclairé, la même source éblouissante peut provoquer une diminution importante de l'acuité visuelle et une forte gêne.

Le problème serait donc l'éclairage des sites urbains plutôt que celui de l'éblouissement des codes en ville.

Selon SHINAR (1977a) on peut distinguer trois grands types de mesure de la résistance à l'éblouissement, utiles pour la conduite :

- l'acuité visuelle sous éblouissement
- le temps de récupération après éblouissement qui correspond au temps nécessaire pour que le sujet soumis à un éblouissement retrouve la même acuité visuelle après la disparition de la source éblouissante. Ce temps varie de cinq secondes à deux minutes, selon l'intensité de la source ; il peut être évalué à 40 secondes après un croisement de véhicule en feux de route.
- le seuil de sensibilité au contraste en condition de faible luminance sous éblouissement, qui est probablement la mesure la plus appropriée (SCHMIDT, 1961).

La majorité des études ayant eu comme objectif la mesure de relation entre la sensibilité à l'éblouissement et l'implication dans les accidents n'ont pas montré de relation nette, et ont apporté des résultats contradictoires. Seuls HENDERSON et BURG (1974) trouvent une relation significative entre taux d'accidents et acuité en présence d'éblouissement, mais seulement pour les sujets très sensibles à l'éblouissement ; "ce qui suggère que la sensibilité à l'éblouissement n'est un facteur d'insécurité que pour les sujets très sensibles, mais il semble probable que ces sujets avaient également par ailleurs une acuité visuelle photopique déficiente" (SHINAR, 1977a).

Il faut enfin souligner que les conditions de luminance en conduite nocturne sont loin des conditions entraînant un éblouissement "physiologique" mais que, par contre, elles peuvent entraîner une gêne visuelle liée probablement à des difficultés de détection qu'il resterait à analyser expérimentalement.

C. LA VISION DES COULEURS

Si 99,5 % des femmes et 92 % des hommes ont une vision normale des couleurs, les 8 % des hommes présentant des troubles de la vision des couleurs se répartissent surtout en trichromates anormaux, présentant les mêmes caractéristiques générales que celles des trichromates (vision colorée normale), et en dichromates (2,6 %) ; les monochromates étant extrêmement peu nombreux.

Concrètement les dichromates confondent des couleurs telles que le rouge et le vert (les "daltoniens" ne percevant pas le rouge), ce qui paraît justifier une étude en situation de conduite.

VERRIEST et Col. (1980) montrent que les distances de perception de panneaux (et d'identification) de signalisation, de feux arrière de véhicules, sont plus faibles chez les sujets dichromates que chez les sujets normaux. Par contre, ces mêmes conducteurs dichromates ne provoquent pas plus d'accidents de circulation que les conducteurs ayant une vision normale. Cette apparente contradiction s'explique par des phénomènes de compensation, évoqués dans l'interprétation de résultats similaires.

Les auteurs concluent que bien qu'il ne soit pas nécessaire d'"éliminer" les conducteurs dichromates, il serait bon de les avertir de ce handicap, mais aussi de réaliser les aménagements simples qui permettraient à ces sujets, et aux conducteurs ayant une vision normale de mieux distinguer les feux au rouge (par une taille plus importante du rouge), et les feux arrière des véhicules (en évitant des rayonnements lumineux trop proches d'émissions monochromatiques).

D. LE CHAMP VISUEL

Le champ visuel est défini comme l'espace qu'un œil peut "embrasser" s'il est dans une position spatiale donnée. Ce champ est mesuré par la détection d'une cible dont le diamètre est inférieur à un degré d'arc, placée à différentes excentricités par rapport à l'axe visuel.

Mais, dans la mesure où la sensibilité en périphérie diminue en présence d'une activité en vision centrale, c'est-à-dire que cette sensibilité est moindre si on a en même temps à analyser une information en fovéa, cette mesure physique statique peut n'avoir pas grand sens.

Par exemple, des variations avec l'entraînement pourraient être dues à des variations d'attention qui reflèteraient l'effet de facteurs nerveux centraux et non des variations de la sensibilité en vision périphérique (ENGELS, 1971 ; SAILOR, 1973).

Ces considérations ont d'ailleurs amené certains auteurs (MACWORTH, 1965 ; MACWORTH et BRUNER, 1970 ; TRONICK, 1972) à utiliser la notion de "champ visuel utile" défini par rapport à la tâche et non plus in abstracto.

Enfin, il est nécessaire de distinguer le champ de l'œil fixe et le champ d'exploration, c'est-à-dire l'espace dans lequel l'œil se déplace pour prélever l'information (notion de champ fonctionnel visuel tel que le définit SENDERS, 1967).

Les études portant sur les relations entre étendue du champ visuel et accidents en conduite ont analysé seulement le champ visuel défini comme l'étendue visible par un œil ou les deux yeux immobiles.

La nécessité de disposer d'un large champ visuel, plus particulièrement dans le méridien horizontal apparaît à l'évidence en ce qui concerne la conduite immobile. Cette importance a amené certains auteurs à penser que le champ visuel des conducteurs devrait être régulièrement contrôlé (ALLEN, 1969).

LAUER et Col., 1953, (cités par SMEED, 1953) trouvent des corrélations négatives faibles entre la fréquence des accidents et l'étendue du champ visuel.

Les résultats de BURG, (1967, 1968, 1974) semblent indiquer que les conducteurs ayant un bon champ visuel ont plutôt plus d'infractions mais moins d'accidents que les conducteurs ayant un champ visuel plus restreint. Cependant, COUNCIL et ALLEN (1974) ont trouvé (sur 52 000 conducteurs !) que bien que l'étendue du champ visuel ne différencie pas nettement les groupes de conducteurs (accidentés ou non), la proportion de conducteurs ayant un champ visuel plus restreint est plus grande dans un échantillon de conducteurs ayant eu des accidents en choc latéral. Mais le critère de définition des conducteurs à champ visuel restreint (140°) avait donné une proportion de 2 % des conducteurs dans ce groupe, ce qui rend difficile l'analyse.

Il n'apparaît donc pas de relation nette entre champ visuel limité et implication dans les accidents.

E. L'ACUITE VISUELLE DYNAMIQUE

Plus on roule vite, plus la vitesse angulaire des objets est grande, surtout pour les objets les plus proches. On sait, de plus, que l'acuité visuelle dynamique, c'est-à-dire l'acuité visuelle sur des objets en mouvement n'est égale à l'acuité statique que si l'objet se déplace à une vitesse inférieure à 30° d'arc par seconde. Pour fixer les idées, cette vitesse correspond approximativement à la vitesse du mouvement relatif d'un panneau placé en bordure de chaussée par rapport auquel on roule à 7 km/h, ou à la vitesse relative d'un objet placé à 30 m du bord de voie si on se déplace à 60 km/h.

Plus la vitesse de l'objet augmente, plus l'acuité visuelle dynamique diminue. Cette acuité visuelle dynamique diminue également avec la durée pendant laquelle l'objet est vu (durée d'exposition). De plus, cette fonction visuelle semble être améliorée par la pratique ; il semblerait donc qu'il y ait des possibilités d'apprentissage au niveau de l'habileté de poursuite oculaire : l'acuité visuelle s'améliore chez un sujet entraîné.

Peut-on alors montrer que des conducteurs présentant une mauvaise acuité visuelle dynamique ont aussi une forte probabilité d'être impliqué dans les accidents ? BURG, avait déjà montré que l'acuité dynamique visuelle est la fonction qui présente la corrélation la plus marquée avec les accidents, mais cette corrélation reste néanmoins très faible. D'autres analyses du même auteur ont montré d'une part que des conducteurs professionnels ayant une faible acuité visuelle ont plus d'accident que ceux présentant de bons scores, d'autre part, que les mêmes résultats se retrouvaient sur des groupes de plus de 50 ans d'âge.

Par contre, SHINAR et Col. (1975) trouvent qu'un groupe de conducteurs accidentés ne présente pas une acuité visuelle dynamique inférieure à celle d'un groupe de non accidentés. Mais les conducteurs à acuité dynamique faible seraient statistiquement plus fréquemment impliqués dans certains types d'accidents (collision arrière et à droite) ce qui confirme certains résultats de BURG.

F. LA DETECTION DE MOUVEMENTS ANGULAIRES

La perception du mouvement d'un objet est un phénomène complexe dans lequel un grand nombre de variables entre en jeu :

- taille de l'objet
- vitesse de l'objet
- durée de présentation
- excentricité de l'objet par rapport à la rétine
- texture du fond

Elle est probablement en relation avec les déplacements de l'œil. De plus, des contraintes de temps en situation de conduite vont avoir un effet sur le temps pendant lequel l'objet en mouvement est vu en vision centrale. Toutes ces variables combinées ont un effet sur la précision de la perception du mouvement d'un objet.

Par rapport à la conduite automobile, on peut préciser que, si la vitesse de l'objet augmente, la détection du mouvement n'est pas diminuée à condition que la durée d'exposition augmente proportionnellement. D'autre part, si l'objet n'est pas projeté sur la fovéa, le seuil de détection de mouvement est d'autant plus élevé que l'excentricité est grande. Enfin, si le sujet doit, à la fois, détecter un mouvement en périphérie, et analyser une information en fovéa (ou l'inverse), la détection du mouvement est affectée. Ce phénomène est d'ailleurs vrai même si le sujet est simplement en situation d'attente. Il est de plus, intéressant de noter que le seuil de détection de mouvement est diminué avec l'entraînement. L'apprentissage aurait lieu par le moyen de la sélection des indices pertinents indicateurs de mouvement.

Les relations entre difficultés de détection d'un mouvement en vision centrale, et accidents ont été mises en lumière par HENDERSON et BURG (1974). Les auteurs trouvent que pour tous les groupes d'âge, les conducteurs placés dans le 5ème percentile (performance la plus basse) ont un taux d'accident plus élevé que la moyenne.

Les difficultés de détection de mouvement en périphérie auraient un effet moins marqué, discriminatif seulement dans le groupe de plus de 50 ans. SHINAR, (1977a) trouve également que les conducteurs ayant eu des accidents dans la semaine ayant précédé l'examen visuel ont un seuil de détection de mouvement angulaire élevé (donc une performance moins bonne que des conducteurs non accidentés (sur 2 ans). Mais SHINAR précise que ce résultat n'implique pas que cette mesure soit discriminative en tant qu'épreuve de sélection.

Il semble donc que la perception du mouvement angulaire soit une habileté pertinente par rapport à une conduite "sûre", mais que ses relations avec les accidents ne soient que des tendances peu prouvées jusqu'ici à cause d'instruments de mesure non adéquats et d'échantillons trop faibles (SHINAR, 1977 a).

G. DETECTION DU MOUVEMENT "EN PROFONDEUR"

Il s'agit ici de la détection du mouvement d'un objet se rapprochant du sujet ou s'en éloignant. Le rapprochement de l'objet vers le sujet se traduit par une **expansion** des dimensions de l'objet et de son image sur la rétine, l'éloignement se traduisant, à l'inverse, par une **contraction** de l'objet et de son image sur la rétine.

Cette habileté est probablement une des plus importantes et dont le bon fonctionnement est le plus nécessaire pour la conduite. C'est aussi l'habileté la plus fréquemment mise en jeu dans les situations de conduite (SHCMIDT, 1966). En effet, cette habileté est mise en jeu dans le cas où d'autres véhicules sont devant ou derrière le véhicule du sujet (par l'intermédiaire des rétroviseurs). Mais aussi cette variation de la taille apparente de l'objet peut être le seul indice dont dispose le conducteur pour détecter un éventuel conflit (véhicules à vitesse constante, véhicules aux intersections). De plus, il semble exister des différences individuelles importantes dans l'habileté à détecter un mouvement en profondeur. L'âge provoquant de fortes augmentations des seuils, surtout à partir de 55 ans, (SHINAR, 1976). L'apprentissage, par contre, semblerait améliorer légèrement les performances dans une mesure qui reste à préciser (SHINAR, MAYER, TREAT, 1975), mais surtout diminuerait la variabilité intra-sujet, ce qui est un résultat classique dans le domaine de l'apprentissage.

Les analyses des relations entre détection de mouvements en profondeur et accidents sont très peu nombreuses. SHINAR, MAYER et TREAT (1975), font l'hypothèse que les conducteurs impliqués fréquemment dans des accidents à des intersections auront des seuils plus élevés (donc des performances plus faibles) dans la détection de mouvements en profondeur, et qu'à l'inverse des conducteurs impliqués dans des accidents arrière auront des seuils plus bas (des performances meilleures, ce qui les amèneraient à prendre plus de risques dans ce cas). Ils trouvent bien le résultat attendu. Néanmoins, d'autres études seraient nécessaires pour valider ces résultats.

H. L'EXPLORATION VISUELLE

HENDERSON et BURG (1974) avaient inclu dans leur pattern de test visuel un test de détection-acquisition-identification (DAI) qui consistait, pour le sujet à détecter une cible apparaissant en périphérie (détection), effectuer une saccade pour fixer ensuite la cible (acquisition), et à identifier la position de l'évidement d'un anneau de LANDOLT (identification). L'activité sous-jacente exigée par ce test était, pour les auteurs, la séquence élémentaire d'exploration visuelle ; en effet, pour prélever l'information, le conducteur déplace ses yeux sur l'environnement. Nous ne nous étendrons pas sur l'analyse de l'exploration visuelle des conducteurs puisque ceci fait l'objet du chapitre suivant. Nous ne retiendrons que les résultats des analyses de la relation entre les performances au test D.A.I. et les accidents. La tâche mise en jeu dans ce test requiert donc l'utilisation des activités élémentaires impliquées dans la recherche visuelle : la détection en périphérie, la fixation (ou acquisition) de la cible, l'identification de la cible en fovéa. HENDERSON et BURG (1974) ont mesuré le degré d'excentricité de la cible permettant l'identification pour une durée de fixation de la cible. Dans leur étude de 1971, HENDERSON et BURG, ne trouvent pas de relation entre la performance au test et les mesures d'implication dans les accidents. Par contre, sur un échantillon plus étendu, le test D.A.I. permet de distinguer nettement les conducteurs ayant un taux d'accidents élevé à l'intérieur de la classe d'âge supérieur à 50 ans, ce qui suggère que la lenteur de la vitesse de traitement de l'information (compréhensible chez les plus âgés) augmenterait la probabilité d'être impliqué dans un accident.

Sur le même matériel de test, SHINAR et Col. (1975) trouvent que, dans une population de conducteurs accidentés dans un conflit latéral, 19 % seulement ont le meilleur score, alors que 39 % de ceux impliqués dans une collision arrière ont le même score.

Même si ces résultats ne sont pas complètement convaincants, ils confirment l'intérêt d'études de l'exploration visuelle et montrent que c'est probablement au niveau de l'activité de saisie visuelle et de traitement de l'information que l'on pourra trouver un paramètre reflétant une stratégie de conduite, plutôt qu'au niveau des paramètres purement physiques de la vision.

I. CONCLUSIONS

Les résultats des différentes études ayant eu comme objectifs la vérification d'une relation entre des dysfonctionnements du système visuel du conducteur et son implication dans un accident ne vont pas le plus souvent dans le sens attendu. Ceci implique directement, qu'en l'état actuel des connaissances, on ne peut prétendre sélectionner (ou contrôler) des conducteurs sûrs, ni les différencier des conducteurs non sûrs par les seuls examens de la vision.

Une déficience caractérisée n'implique pas nécessairement une "conduite dangereuse", ni une forte chance d'être impliqué dans un accident.

Inversement, d'excellents résultats aux examens de la vision, c'est-à-dire des capacités visuelles intactes, ne sont pas une garantie de conduite sûre.

Bien sûr, des détériorations profondes des capacités visuelles auront une répercussion sur la qualité de la prise d'information, mais il est probable que des déficiences légères peuvent être compensées par des stratégies de prise d'information différentes ou par des comportements différents. Par exemple, les conducteurs plus âgés conduisent moins souvent en général, conduisent moins souvent de nuit, roulent plus lentement, ce qui diminue globalement une probabilité d'être impliqué dans un accident. Inversement, des capacités visuelles intactes ne garantissent pas que le conducteur prélève et traite correctement l'information. De toute façon, les résultats quant à la relation entre la vision et la sécurité routière s'avèrent peu convaincants. Ceci peut avoir plusieurs causes :

— ou bien les tests utilisés n'étaient pas suffisamment proches de la tâche de conduite et ne faisaient donc pas apparaître les fonctions spécifiques mises en jeu dans la conduite : en effet, (RUMAR K, 1980) :

en situation de test

- les tests sont statiques
- le sujet est immobile et passif
- la vision testée est la vision centrale
- les tâches sont simples
- la luminance est forte

alors qu'en situation de conduite réelle

- l'environnement se caractérise par sa dynamique
- le sujet se déplace et agit
- la vision périphérique joue un grand rôle
- la tâche est perceptivement complexe
- les conditions d'éclairage sont souvent très mauvaises

(en particulier, on peut voir que les tests introduisant un aspect dynamique de la division semblent plus représentatifs de la situation de conduite et paraissent apporter des relations plus nettes avec l'implication dans les accidents).

- Ou bien la définition de l'implication dans les accidents (mesurés soit en nombre brut d'accidents, soit en taux d'accident, sans référence à un indice correcteur incluant le taux d'exposition au risque) n'est pas adéquate.
- Ou encore l'utilisation même du critère accident, de par la rareté relative du phénomène (ce qui entraîne des déséquilibres considérables dans les effectifs des groupes) n'est pas pertinente dans ce type d'analyse. Sur ce dernier point, on peut penser que des analyses des relations entre manœuvres considérées comme dangereuses, ou entre incidents et défauts de vision pourraient peut-être apporter des résultats d'une toute autre portée (LIESMAA, 1973 cité par SHINAR 1977a). D'une façon générale on peut d'ailleurs penser que l'utilisation d'un critère unique d'accident, et le fait que ce critère unique soit mal défini (va-t-on prendre les accidents corporels, matériels ; l'ensemble des accidents ou ceux dans lesquels le conducteur est jugé responsable ?), soit pour quelque chose dans ces résultats.

Enfin, ces résultats permettent de constater que plus l'habileté visuelle testée est complexe, et se rapproche d'activités élaborées du type prise d'information, traitement de l'information, plus les relations avec la sécurité se précisent. Ceci est vrai pour la plupart des mesures dynamiques (acuité dynamique, détection de mouvement, test de détection – acquisition – interprétation).

C'est ce qui a amené un courant de recherche portant, non plus sur l'analyse des qualités intrinsèques du système visuel, mais sur l'étude de la manière dont le conducteur utilise cet appareil visuel pour effectuer une saisie et un traitement de l'information routière.

En effet, une des caractéristiques du système visuel est que l'œil est un récepteur orientable et que la recherche de l'information se traduit objectivement par des déplacements de l'œil. Cette mobilité du système oculaire permet, comme on va le voir, d'analyser les déplacements oculaires pour étudier la répartition, les déplacements du regard, et par ce moyen étudier l'activité de saisie visuelle.

Les différents points regardés par le conducteur en situation réelle représentent les zones qui ont attiré son regard, ou les zones sur lesquelles il recherche l'information dont il a besoin.

On peut donc connaître les points où le conducteur prélève l'information, et la façon dont il opère la sélection des informations par des analyses des mouvements oculaires, ou plus exactement par des analyses du déplacement de son regard. Ce sont les résultats de ce type de recherche qui seront présentés dans la deuxième partie de cette étude bibliographique.

II – L'EXPLORATION VISUELLE DU CONDUCTEUR

L'adaptation du conducteur à l'ensemble des conditions de la circulation implique une prise de connaissance de l'environnement routier qui suppose d'abord l'enregistrement des stimulus, et ensuite, le traitement, à différents niveaux, de l'information contenue dans ces stimulus.

Les stimulations ne sont pas reçues de manière **exhaustive** et **passive** : il y a, en fait, constamment **sélection** et **transformation** de l'information. Le conducteur d'un véhicule ne doit donc pas être considéré seulement comme un « récepteur-enregistreur » passif, mais comme un **système complexe de traitement de l'information**. De ce point de vue, le conducteur doit pouvoir réaliser plusieurs fonctions ; il doit pouvoir :

- **Détecter** un signal, c'est-à-dire décider si un signal (ou un indice) est présent ou absent par rapport à un bruit de fond ;
- **Discriminer** deux signaux ;
- **Identifier** un objet ou un événement, c'est-à-dire ranger, classer l'objet ou l'événement dans une catégorie ;
- **Décoder** un signal, c'est-à-dire inférer à partir de ce signal une signification (qu'il a lui même associée ou que l'émetteur a voulu transmettre) ;
- **Rechercher** une information, c'est-à-dire explorer l'environnement, pour trouver l'indice, le signe qui permettra de lever une incertitude ou une ambiguïté ;
- **Faire des évaluations**, de vitesse, de distance, de temps.

En résumé, il doit non seulement **capter**, mais aussi **traiter** l'information recueillie pour **inférer** l'évolution de la situation et pour **prendre les décisions** qui lui paraissent adéquates, compte tenu de l'état actuel et anticipé du système, et compte tenu des connaissances antérieures sur le système qu'il régule.

De plus ces différentes activités portent sur des matériaux extrêmement divers ; il s'agit par exemple de :

- lire des inscriptions littérales,
- détecter un feu lumineux (fixe ou clignotant),
- se guider sur des marquages au sol,
- interpréter des signaux codés,
- analyser des déplacements,
- anticiper une trajectoire,
- analyser des configurations de terrain (virages, structure de la route ...)
- etc...

Toutes ces activités font partie intégrante de l'ensemble du processus de recueil et d'analyse de l'information par le conducteur.

Ce rapide aperçu du conducteur en tant que système de recueil et de traitement de l'information montre la complexité des activités mises en jeu et l'importance d'une meilleure connaissance de la façon dont le conducteur sélectionne et traite l'information visuelle.

Nous verrons donc dans cette seconde partie, d'abord rapidement quelles sont les méthodes qui permettent d'analyser la prise d'information visuelle, puis on verra succinctement les techniques qui sont employées pour enregistrer les déplacements du regard dans le cadre de la conduite. Enfin les principaux résultats de ces études seront analysés.

A. LES METHODES D'ANALYSE DE LA SAISIE VISUELLE

On peut les regrouper très schématiquement en trois grandes catégories : les méthodes d'explication verbale, le contrôle expérimental de l'information, l'enregistrement de l'activité des récepteurs.

1. L'explicitation verbale.

Pour analyser les indices (et les informations qui leur sont associées) que l'opérateur utilise pour mener à bien sa tâche, on peut, en situation d'observation, pendant ou après le déroulement de la tâche, demander au sujet d'explicitier ses réponses en lui demandant les raisons de son action.

Cette utilisation de « l'introspection provoquée » dans des tâches relativement formalisées comme le contrôle de navigation aérienne, a pu permettre « d'obtenir des indications sur la nature des informations utilisées par l'opérateur, sur la valeur possible des variables qu'il prend en compte et sur l'ordre dans lequel elles sont examinées ». (LEPLAT J. et BISSERET, 1965). Mais le fait qu'il soit nécessaire de passer par la verbalisation du sujet pose des problèmes méthodologiques et pratiques (GRIZE et MATALON, 1962) d'autant plus d'importants que la tâche analysée est automatisée.

Dans l'analyse de la conduite automobile, cette méthode se heurte vite à des limites de plusieurs types : réponses verbales souvent « triviales » ; parfois difficiles à émettre pour le sujet qui se trouve alors en situation de double tâche (MICHAUT 1968) ; interférence entre tâche effectuée et « discours sur ce que l'on fait » ; rôle de la mémoire dans le cas d'explicitation différée, etc...

Le recours à des experts dans le domaine analysé peut être précieux. Dans ce cas on peut, par exemple, demander à des experts de signaler les informations qui leur paraissent les plus importantes dans la tâche considérée, ou leur proposer de classer, par ordre d'importance, les informations utiles pour mener à bien la tâche. Mais de l'information jugée utile ou nécessaire à l'information réellement utilisée, il y a parfois un écart qu'il serait peu prudent de passer sous silence. Cette démarche a été utilisée par Mc KNIGHT (1972) pour décrire la prise d'information en conduite automobile. Mais le résultat dans ce cas a consisté en une « liste normative » d'informations prélevées par tout conducteur prudent, plutôt qu'à une analyse des indices effectivement pris en compte en situation. Néanmoins, Mc KNIGHT (1971) en combinant une analyse a priori des informations potentiellement utiles et leur pondération par ordre d'importance pour la sécurité par des experts, a pu établir une liste hiérarchisée qui a montré son utilité dans le cadre de la formation des conducteurs (Mc KNIGHT, 1973).

Pour répondre à l'objection que l'ensemble des informations présentes dans le champ de travail de l'opérateur n'est pas forcément perçu par lui, on peut contrôler la prise d'information (LEPLAT, 1972), ou plutôt on peut, par des dispositifs parfois simples, modifier le système de présentation de l'information, de façon à obliger l'opérateur à demander l'information dont il a besoin.

Par exemple, IOSIF (1971) en situation simulée de contrôle de centrale thermique, fait demander par l'opérateur l'information nécessaire pour faire le diagnostic d'un dysfonctionnement.

Employant une méthode quelque peu semblable dans l'analyse du diagnostic médical, RIMOLDI (1963) donne, au fur et à mesure que le sujet le demande, les informations nécessaires à l'émission du diagnostic. KROVOLHAVY (1965) cité par PAILHOUS (1970) contrôle le prélèvement de l'information en disposant sur les cadrans de contrôle d'une installation électrique, des caches qui peuvent être soulevés par le sujet au cours de l'exécution du travail.

Ces techniques consistent finalement à obliger l'opérateur à exprimer explicitement sa demande d'information sur l'état de tel ou tel paramètre (ou indice), le plus souvent en situation simulée, jusqu'à ce qu'il prenne la décision finale. L'analyse des informations demandées et la chronologie de la demande avant la décision permettent une bonne approche du processus de recherche d'information. Mais, comme on peut le constater, ce procédé n'a été finalement employé que dans des tâches où la recherche de l'information nécessaire est régie par des mécanismes d'ordre « cognitif » plutôt que d'ordre « perceptif ». De plus, pour les tâches étudiées, le nombre et le type d'informations utilisées est le plus souvent limité (en nombre) et défini par les paramètres mêmes du contrôle. Enfin la nature essentiellement dynamique de la conduite et les variations continues des indices entrant en jeu dans le flux visuel du conducteur, rendent souvent difficiles des analyses de ce type.

C'est ce qui a amené de nombreux chercheurs à tenter de contrôler expérimentalement le flux d'information parvenant au conducteur dans des situations réelles ou simulées de conduite.

2. Le contrôle expérimental de l'information.

Dans ce cas, il s'agit pour l'expérimentateur de manipuler, en situation réelle ou simulée, les indices (in put) présentés à l'opérateur, et d'analyser le résultat sur la performance finale (out put). On choisit alors les indices dont on peut supposer qu'ils ont un rôle important dans la tâche.

Par exemple, MONSEUR (1968) demande à des conducteurs de classer des photographies prises du volant d'un véhicule. Les photos sont appariées : chaque couple de photos comprend la même structure routière, mais l'un des clichés possède un panneau de signalisation, l'autre non. Les résultats apportent des précisions sur l'influence globale de la signalisation et sur les effets de différents signaux sur le ralentissement « déclaré ». De plus la comparaison avec des mesures faites en situation réelle sur des structures routières équivalentes montre une corrélation forte entre le ralentissement déclaré en situation simulée et le ralentissement effectué en situation réelle. Mais l'auteur souligne que la méthode de simulation employée accroît le poids des règles de priorité et des signaux routiers dans la décision, et qu'elle ne présente de véritable intérêt qu'associée à l'étude complémentaire sur route.

On peut également contrôler le « temps de vision » du conducteur, par des techniques tachistoscopiques par exemple, ce qui permet (MOUKHWAS et col. 1977-1978) « une standardisation du processus expérimental et la possibilité d'augmenter la difficulté de la tâche ».

Etudiant les qualités du contrôle manuel du véhicule en relation avec la « charge perceptive », SENDERS et WARD (1968) utilisent un casque à visière mobile permettant d'occulter la vision du conducteur sur des programmes imposés par l'expérimentateur ou effectués par le conducteur lui-même. Analysant les temps de vision nécessaires (ou les durées d'occlusion limites) en fonction des situations rencontrées (route dégagée, circulation dense, agglomération...), les auteurs en déduisent entre autre des indices de « charge attentionnelle » caractéristique des situations.

Le contrôle de la durée de vision est également intéressant, hors de la circulation réelle, puisqu'il est alors possible de simuler la contrainte temporelle qui est une des caractéristiques de la situation de conduite (MOUKHWAS et col. 1977 ; GORDON, 1979). Dans une étude destinée à comparer des conducteurs débutants et des conducteurs expérimentés, quant à leurs stratégies de prise d'information, on a présenté des diapositives (prises du volant d'un véhicule, en situation d'intersection) pendant 1,5 seconde, en demandant aux sujets de rappeler verbalement les informations vues (NEBOIT M. 1975). Les résultats montrent que les conducteurs confirmés présentent un taux de rappel plus important que les débutants et que chez les conducteurs confirmés quelques indices (piétons par exemple) même éloignés, semblent se placer très haut dans leur valeur informative. (Ils sont rappelés dans 78 % des cas par les expérimentés, et dans 61 % des cas par les débutants).

De façon générale la limitation du temps de vision est utilisée pour limiter le temps nécessaire à la perception d'un indice.

Certes, le problème de la verbalisation et surtout de la mémoire vient interférer avec le problème de la perception, et pourtant de telles méthodes ont pu permettre de dégager un certain nombre d'hypothèses sur les indices pertinents chez les deux groupes de conducteurs étudiés.

Si l'occlusion temporelle de la vision a été souvent utilisée, l'occlusion partielle du champ visuel a également pu apporter quelques résultats : GORDON (1966) limite le champ d'un des yeux par un système de diaphragme, et enregistre simultanément à l'aide d'une caméra fixée sur la tête du conducteur la direction et le champ exploré par celui-ci. Simultanément la qualité de la trajectoire est enregistrée. Les résultats montrent que plus le champ est réduit (à la limite, le champ est fovéal) plus le contrôle de trajectoire est difficile et plus l'exploration est concentrée sur les marquages au sol (délimitant la voie de circulation). Mais dans ce cas on peut penser que la stratégie d'exploration est trans-

formée par la limitation progressive du champ périphérique et que les conclusions des auteurs sont difficilement applicables en vision normale. Néanmoins ces résultats apportent confirmation en situation de conduite, du rôle fondamental du champ périphérique.

3. L'enregistrement de l'activité oculaire.

On ne s'intéressera pas ici à l'aspect purement sensoriel des récepteurs. D'autre part, dans l'activité oculo-motrice, on laissera de côté les mouvements d'accommodation, de convergence, de torsion, ainsi que les micronystagmus, pour n'envisager que l'enchaînement des pauses oculaires qui constituent à proprement parler l'exploration oculaire.

Des revues très complètes des méthodes d'enregistrement des mouvements oculaires existent et le lecteur plus particulièrement intéressé pourra consulter LEVY-SCHOEN (1969), DITCHBURN (1973) et YOUNG et SHEENA (1975).

On ne rappellera ici brièvement que les techniques susceptibles d'être employées au poste de travail, et plus particulièrement ici, en situation réelle de conduite :

- l'observation directe des mouvements de l'œil,
- l'enregistrement électro-oculographique,
- l'enregistrement simultané de la direction du regard et du champ visuel.

a) L'observation directe de la direction du regard par un observateur entraîné présente l'avantage de la simplicité mais ne permet pas l'enregistrement. Mais on ne peut s'assurer, par ce moyen, de l'objet fixé, que dans le cas de stimulus simples et bien différenciés spatialement.

L'enregistrement cinématographique ou sur bande magnétique par l'intermédiaire d'un miroir placé devant le sujet, peut permettre des analyses plus fines et plus objectives en particulier lorsque l'opérateur est immobile, en position assise (MILTON 1952, pour les pilotes d'avions).

En situation de conduite, cette technique a pu permettre des observations globales qui permettent déjà de différencier des conducteurs expérimentés de conducteurs débutants quant à leurs stratégies de prélèvement de l'information (NEBOIT, 1975). Mais la grande diversité du matériel informatif utilisé par le conducteur, sa dispersion spatiale et la nature informelle de l'information prélevée (mises à part les informations codées sous forme de signalisation « verticale ou horizontale ») rendent rapidement caduques ces techniques si on s'intéresse aux types d'indices prélevés et aux stratégies de recherche de ces indices.

b) L'enregistrement de l'activité électrophysiologique liée au déplacement du dipôle oculaire, permet d'avoir une image assez exacte des mouvements oculaires et de leur nature et surtout de repérer avec exactitude l'instant de leur apparition, mais ne permet pas toujours de lire avec précision la direction du regard ni l'importance du déplacement.

Si la technique électrophysiologique a permis des analyses fines de la cinématique de l'œil, des temps de réaction oculo-moteurs, des troubles oculo-moteurs par exemple, les études « psychologiques » de l'exploration oculaire en tant qu'activité perceptive, sont plus ardues puisqu'il est difficile de déterminer à chaque instant la position du regard dans le champ visuel (LEVY-SCHOEN 1969).

Néanmoins, l'intérêt de l'électro-oculographie apparaît à l'évidence dans des études sur des tâches d'apprentissage de labyrinthe (ANGIBOUST et CAILLER - 1972) et de codage (ANGIBOUST et HOC, 1975).

En situation de conduite automobile, à la difficulté d'étalonnage et de calibrage de l'enregistrement E.O.G. s'ajoute la quasi impossibilité de lire finement la direction du regard et d'associer chaque fixation au point fixé dans le champ visuel. Les résultats ne peuvent donc pratiquement être traduits qu'en termes d'activité oculaire globale.

C'est ce qui a amené la majorité des chercheurs à utiliser des techniques permettant l'enregistrement de la localisation du regard sur le champ exploré par le conducteur.

c) **L'enregistrement simultané de la direction du regard et du champ exploré.** Les techniques présentées précédemment permettent seulement l'enregistrement des déplacements de l'œil sans référence directe aux objets fixés. L'analyse de l'information fixée dans certaines tâches a amené à chercher à enregistrer simultanément le déplacement de l'œil et le champ sur lequel l'œil se déplace.

Dans tous les cas, les dispositifs comportent deux « canaux » d'information :

- un système d'enregistrement du « paysage » rendu solidaire de la tête du sujet (objectif, ou mini caméra) ;
- un système de repérage des mouvements de l'œil qui peut être soit un ensemble d'électrodes (BLAAW et RIEMERSMAA, 1975), soit une lampe envoyant un faisceau lumineux visible sur la cornée (reflet cornéen).

Ces deux canaux sont ensuite mixés par des moyens électroniques dans les cas de recueil de potentiel électrique ou dans le cas de lampe infra rouge, soit par des moyens optiques (en rayonnement visible).

Nous ne présenterons ici que la technique du **reflet cornéen** utilisée par la majorité des auteurs dans le domaine de la conduite. La surface antérieure de la cornée reflète la lumière comme le ferait un miroir convexe de faible rayon de courbure (environ 8 mm). Comme le centre correspondant au rayon de courbure de la cornée ne coïncide pas avec le centre de rotation de l'œil, la **réflexion cornéenne se déplace** donc autour du centre de rotation de l'œil.

Néanmoins la relation entre le déplacement angulaire de la réflexion cornéenne et le déplacement de l'œil n'est pas exactement linéaire, pour plusieurs raisons :

- le mouvement de l'œil n'est pas une stricte rotation autour d'un point,
- la surface cornéenne n'est pas parfaitement régulière.

Si la précision attendue est de l'ordre de 1/2 degré en horizontal et 1 degré en vertical, on peut considérer que le reflet cornéen donnera une bonne description du mouvement de l'œil.

A titre d'illustration, on rappellera sommairement le dispositif d'enregistrement des mouvements des yeux utilisé par l'ONSER (NEBOIT et LAYA 1980).

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 (1967) 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 : la direction du regard était matérialisée par un point lumineux se déplaçant sur l'image du champ visuel.

C'est ce principe qui est utilisé dans le NAC EYE MARKER, de fabrication japonaise (figure 4).

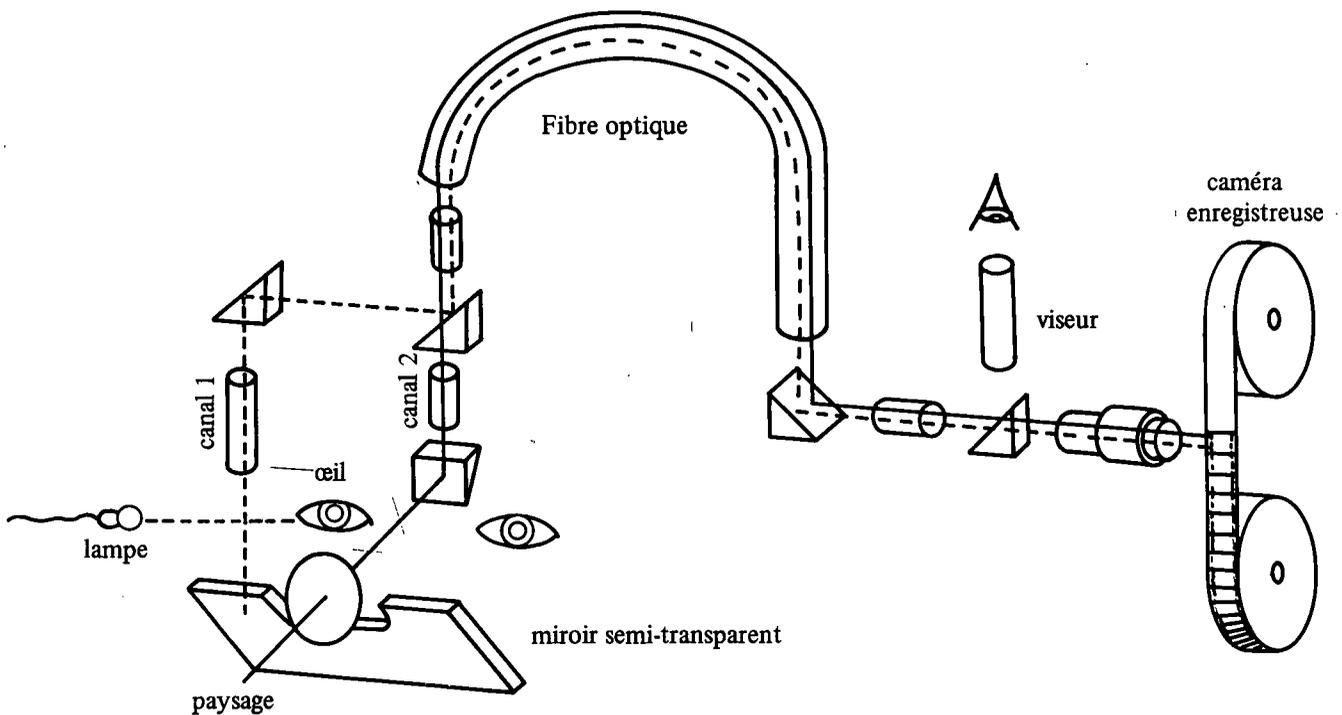


Fig. 4 – Schéma de principe du NAC EYE MARK RECORDER.

Par un objectif rendu solidaire de la tête du sujet, le paysage vu par le conducteur est transmis à un système optique à prismes (canal 1) puis par l'intermédiaire d'une fibre optique, arrive à la caméra enregistrante. Un faisceau lumineux émis par la lampe se réfléchit sur la cornée et, renvoyé par un miroir semi-transparent dans le système optique (canal 2), se superpose à l'image du paysage. La donnée brute enregistrée consiste en un spot lumineux matérialisant la direction du regard sur le paysage routier. (Pour plus de détails cf. NEBOIT M. et col, 1980).

La légèreté (380 g), la facilité d'utilisation sur le terrain de ce matériel a tenté un certain nombre de chercheurs, surtout dans des études sur le pilotage d'avions de tourisme (HEINZE 1974 ; NEBOIT 1977 b) et sur le conducteur (HOFNER et HOSKOVEC 1975 ; KOBAYASH et MURATA 1972 ; NEBOIT, 1976).

La précision de l'enregistrement du reflet cornéen paraît suffisante pour les buts proposés. En effet, la majorité des auteurs trouvent (ROCKWELL T.H. et col. 1968 ; RUTLEY R.S. 1972 ; HELANDER et SODERBERG 1972 ; NEBOIT 1976) que quand l'œil effectue un déplacement horizontal de 6° à gauche ou à droite de part et d'autre de son axe de rotation, la précision (écart entre repère et objet fixé) est de l'ordre de $0,5^\circ$ d'angle. Au-delà de 6° et jusqu'à 15° la précision est de l'ordre de 1 degré d'angle. Au-delà de 15° le spot lumineux disparaît mais puisque des mouvements de la tête apparaissent dans la majorité des cas, on est ramené au cas précédent.

Par contre, dans une situation où des vibrations importantes risquent de faire glisser l'ensemble du dispositif sur la tête du sujet, un calibrage fréquent peut devenir nécessaire. De plus l'analyse des données, en situation dynamique, est difficilement automatisable. Néanmoins, ce dispositif a permis d'apporter des résultats importants, dans la mesure où on a pu résoudre les problèmes méthodologiques inhérents à toute analyse des stratégies exploratoires visuelles.

4. Conclusion

En conclusion, ce panorama succinct des méthodes d'analyse de l'information utilisée par l'opérateur dans l'accomplissement de sa tâche fait apparaître que chaque méthode, chaque technique présente des avantages et des inconvénients propres. Il n'est donc pas question, en principe, de choisir une seule méthode qui serait supposée complète, mais il s'agira plutôt d'effectuer un choix en fonction de la nature du problème posé et des exigences du terrain.

Pour résumer, l'exploration dirigée du champ visuel peut être étudiée à deux niveaux (LEPLAT 1968).

On peut l'« étudier » indirectement, en analysant les résultats de l'exploration. C'est le cas lorsqu'on mesure, par exemple, des temps de réaction à l'arrivée de signaux discrets. C'est également le cas lorsqu'on mesure des taux de détection dans des tâches complexes nécessitant la prise en compte de plusieurs signaux.

Dans cette perspective, on peut aussi analyser les décisions consécutives à une exploration et, puisque cette dernière est orientée vers la réalisation de la tâche, on peut analyser de façon générale la réalisation de la tâche elle-même. On peut, enfin, en faisant l'hypothèse que le taux de rappel n'est pas sans relations avec la qualité de l'exploration, analyser le taux de rappel des signaux, ou des indices dans une tâche donnée.

Mais il est possible d'analyser directement l'exploration visuelle en enregistrant les déplacements du regard, c'est-à-dire en analysant l'exploration visuelle elle-même et non seulement ses résultats.

On peut enfin combiner les deux approches :

- en modifiant l'exploration par des artifices expérimentaux (temps limité de vision, contrainte de charge, etc...) et analyser les résultats en termes de performance (taux de détection, taux de rappel, décision par exemple).
- en analysant, à l'inverse, les caractéristiques de l'exploration en modifiant expérimentalement les exigences de la tâche.

C'est en effet, par la confrontation et la coordination des « points de vue méthodologiques » que l'on peut espérer saisir quelques aspects de cette activité perceptive qu'est l'exploration visuelle et de son rôle dans la tâche complexe qu'est la conduite d'un véhicule.

B. GENERALITES SUR LES MOUVEMENTS OCULAIRES.

Nous ne nous intéresserons ici qu'aux caractéristiques de l'exploration oculaire, en laissant donc volontairement de côté les autres mouvements (mouvements non conjugués des yeux tels que la convergence, l'accommodation, la contraction pupillaire, ou la torsion) et en n'envisageant que les mouvements conjugués des deux yeux.

L'exploration visuelle peut être décrite comme une séquence de pauses oculaires (ou fixations) et de déplacements, ou saccades.

Le terme fixation est utilisé pour définir la période pendant laquelle le globe oculaire est immobile. La rétine reçoit alors une image stable de l'environnement. L'œil est maintenu relativement immobile pendant ce temps et l'image sur la rétine est suffisamment nette pour permettre l'identification d'objets. Les sauts que l'œil effectue entre chaque fixation sont appelés saccades.

Les fixations ont des durées qui peuvent varier de 100 ms (millisecondes) à 1000 ms (voire 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 prélever 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 microneystagmus qui sont des déplacements très rapides et de très faible amplitude 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.

On peut trouver des mécanismes explicatifs des mouvements oculaires au niveau même de la rétine. La rétine n'est pas homogène et on peut distinguer deux zones anatomiquement et fonctionnellement différentes bien qu'il n'y ait pas, à proprement parler, de frontières d'une zone à l'autre : la zone fovéale, riche en cônes, possédant un seuil de résolution élevé, et donnant une acuité visuelle maximale, la zone périphérique ayant un seuil de résolution moins élevé, moins riche en cônes mais plus riche en bâtonnets, plus adaptée à la vision aux basses luminances.

Cette inhomogénéité de la rétine a pour conséquence directe que l'œil doit se déplacer pour transférer en fovéa les éléments importants du champ visuel, puisque c'est dans cette zone que l'information est perçue comme la plus « nette ».

Cette dualité du système rétinien se retrouve au niveau du système nerveux central sous forme de deux systèmes :

- le système géniculostrié qui, par le Corps Genouillé Latéral conduit les fibres à conduction rapide de la région centrale vers le Cortex.
- le système rétinotectal qui conduit les fibres à conduction lente de la rétine périphérique directement au Tectum Mésencéphalique au niveau des Tubercules Quadrijumeaux.
- sur le plan fonctionnel, on s'entend actuellement à considérer (JEANNEROD, 1974) que le système visuel est organisé pour répondre à deux questions, la question où (position spatiale de l'objet dont l'image frappe la rétine, par rapport au corps propre du sujet percevant), la question quoi (identification de l'objet perçu).

C'est la région périphérique qui répondrait à la question où et permettrait de localiser l'objet (vision ambiante), et la région fovéale répondrait à la question quoi ? (vision centrale), c'est-à-dire permettrait l'identification des objets.

La façon dont l'homme explore son environnement dépend de façon très générale de trois grandes classes de facteurs :

- les facteurs liés aux propriétés des objets/des stimulus)
- les facteurs liés au sujet
- les facteurs liés à la tâche

Les caractéristiques des stimulus, autrement dit, les propriétés optiques des objets présents dans le champ visuel ont un rôle important dans le déclenchement du réflexe de fixation. Par exemple un point brillant apparaissant sur un champ uniforme va attirer le regard. De la même façon, un objet en mouvement dans le champ périphérique va déclencher une saccade, un déplacement de l'œil en direction de cet objet et une fixation.

Ce phénomène peut expliquer par exemple que des feux clignotants soient vus plus tôt que les feux fixes. De plus, la configuration des objets, et leur position dans l'ensemble du champ va également être un facteur déterminant de l'exploration visuelle. Ces phénomènes sont partiellement connus et utilisés empiriquement dans la pratique quotidienne de l'ingénieur qui réalise des aménagements de signalisation. Mais l'exploration visuelle ne dépend pas seulement des caractéristiques des stimuli.

Les facteurs liés au sujet, ici au conducteur, jouent également un rôle dans la façon dont il explore l'environnement. Ses caractéristiques physiques d'abord : l'âge, par exemple semble diminuer les facultés de traitement de l'information sous contrainte de temps (SHINAR 1976).

L'état physiologique du conducteur est également fondamental : on verra plus loin que la fatigue, le manque de sommeil, l'absorption d'alcool ou de drogue ont des effets importants sur les stratégies d'exploration visuelle.

Certains traits de personnalité semblent se traduire par des stratégies de prises d'information différentes.

L'apprentissage, ou l'expérience vont également avoir un rôle considérable. En effet de nombreuses expériences ont montré :

- d'une part, que les enfants explorent de façon très différente des adultes ;
- d'autre part, qu'avec l'apprentissage de différentes tâches (détection radar, contrôle de qualité, pilotage, jeu d'échec, lecture), l'exploration visuelle se transforme et devient plus efficace, plus sélective, portant sur les éléments les plus pertinents de la tâche au fur et à mesure que se développe l'apprentissage.

Enfin, les facteurs liés à la tâche, c'est-à-dire la nature de la tâche à effectuer, les objectifs visés dans la tâche, la complexité de la tâche, peuvent également donner lieu à des stratégies d'exploration visuelle très spécifiques.

Sur ce point, on pense généralement que si la tâche met en jeu des mécanismes cognitifs importants, le poids des propriétés physiques des stimulus est faible sur l'exploration visuelle par rapport au poids du programme d'exploration déterminé par le contenu cognitif de la tâche (LEVY-SCHOEN 1969).

Ces données générales sur l'exploration visuelle chez l'homme, ont donc amené de nombreux auteurs à étudier, chez le conducteur les mécanismes d'exploration visuelle selon différents points de vue qui sont présentés maintenant, à savoir :

- L'exploration visuelle dans différentes situations de conduite.
- Rôle des états physiologiques du conducteur (fatigue, alcool, drogue).
- Effet de l'apprentissage et/ou de l'expérience de la conduite sur l'exploration visuelle.

Mais avant d'entrer dans le détail des résultats concernant la tâche de conduite, nous verrons succinctement les problèmes généraux d'interprétations des paramètres de l'exploration visuelle, tels qu'ils se posent dans différentes tâches.

C. L'INTERPRETATION DES PARAMETRES DE L'EXPLORATION VISUELLE

L'analyse de l'exploration visuelle d'opérateurs effectuant une tâche donnée est menée, le plus souvent, pour répondre à plusieurs types de questions que l'on peut, en schématisant, résumer ainsi :

- quelles informations l'opérateur utilise-t-il pour réaliser sa tâche ?
- comment ces informations sont-elles prélevées, traitées, structurées, hiérarchisées ?
- quels facteurs sont susceptibles d'agir sur le processus de saisie visuelle ? Facteurs facilitateurs (structuration du champ, significations accordées aux éléments d'information, connaissance du processus, présentation « ergonomique » des informations) ; facteurs affectant son efficacité (âge, fatigue, charge de travail, agents extérieurs tels que l'alcool, les drogues).

Le déplacement du regard peut être alors analysé comme un comportement observable reflétant les activités perceptivo-cognitives sous jacentes (activité de traitement de l'information, stratégies utilisées par le sujet, par exemple).

L'exploration exhaustive de l'ensemble des éléments informatifs présents dans le champ de travail étant impossible à cause des limites des capacités de rétention et de traitement du SNC *, l'exploration peut être exhaustive sur une zone limitée, ou porter sur tout l'environnement par fixation de quelques zones seulement, elle est donc toujours sélective : alors, la distribution des fixations traduit un choix et peut être un indicateur de l'activité intellectuelle (sémiotique, représentative) sous jacente.

Pour VURPILLOT (1969) : « la quantité d'activité oculomotrice déployée correspond à peu près à la quantité totale d'information que l'individu a jugé nécessaire de recueillir, ... la localisation des pauses du regard reflète la sélection opérée parmi toute l'information potentielle, la séquence des fixations constitue une trace de la stratégie choisie dans la récolte de l'information ».

Les divers paramètres de l'exploration visuelle devraient donc pouvoir être mis en relation avec les activités de recherche de l'information et devraient permettre, jusqu'à un certain point, d'inférer la manière dont l'information va être traitée.

Pour apporter quelques éléments de réponse aux différentes questions posées, on envisagera quelques uns des paramètres descriptifs de l'exploration visuelle les plus souvent utilisés, en cherchant, à partir des résultats déjà obtenus dans l'analyse de tâches réelles, à voir dans quelle mesure on peut en inférer les propriétés de processus cognitifs ** sous jacents, ce qui sera utile dans l'orientation des expériences et l'analyse des résultats concernant la conduite automobile.

1. Le nombre de fixations permet de quantifier un taux global d'activité d'exploration visuelle. Il peut éventuellement permettre une estimation de la « quantité d'information » recueillie par l'opérateur sans que l'on puisse inférer directement une quantité d'information à partir du nombre de fixations.

Un grand nombre de résultats montrent :

- que pour une tâche donnée (identification de figures géométriques par exemple), le nombre de fixations diminue avec l'âge,
- que les enfants font plus de fixations que les adultes (sauf dans le cas où la tâche exige une exploration exhaustive),
- que chez l'adulte un matériel connu donne lieu à un nombre moindre de fixations qu'un matériel inconnu.

Dans des tâches aussi différentes que le contrôle de qualité (MEGAW et RICHARDSON, 1979), ou la saisie visuelle sur écran (GUERIN et coll. 1979), on a également montré que des débutants font plus de fixations que des opérateurs expérimentés sur des tâches extérieurement comparables. La plupart de ces données peuvent être interprétées comme le résultat d'une augmentation de l'efficacité de la prise d'information visuelle par sélection progressive des seuls indices pertinents. Une augmentation de la sélectivité de la prise d'information étant corrélative du développement (chez l'enfant) ou de la familiarité avec la tâche.

2. La répartition spatiale des fixations a été souvent utilisée avec des référentiels « absolus » (haut, bas, droite, gauche, ou saccades verticales, horizontales) dans les cas où les auteurs ne disposaient pas de l'enregistrement simultané de la direction du regard et du champ exploré. La plupart des résultats sont contradictoires, quelques auteurs affirmant la « supériorité » du quadrant supérieur gauche du champ. Ce type d'analyse apparaît souvent peu informatif sauf si on a de bonnes raisons de penser qu'une relation forte existe entre la tâche elle-même et le découpage spatial envisagé. Dès que la tâche structure le champ visuel, les caractéristiques spatiales du matériel et de la tâche elle-même l'emportent sur d'hypothétiques « stéréotypes spatiaux ». L'analyse de la répartition spatiale des fixations peut alors être affinée par la mise en correspondance de la répartition des fixations sur les objets significatifs du champ de travail. Dans ce cas, des analyses de la fréquence relative des fixations sur les différents éléments du champ permettent d'obtenir des taux de concentration des fixations sur les objets.

* SNC = système nerveux central.

** Par processus cognitifs, on entendra ici, en s'inspirant de SPERANDIO (1980) : la chaîne de traitement comprenant la saisie de l'information (recherche, perception, sélection, décodage ...), l'analyse de l'information (catégorisation, classement, inférences...), la représentation opératoire, la mémorisation, l'apprentissage (c'est-à-dire la construction chez l'opérateur de chacun des processus précédents).

Ce critère peut faire apparaître à la fois :

- la nature des indices sélectionnés (sans trop préjuger de l'information effectivement traitée) par rapport à l'ensemble des indices disponibles,
- une éventuelle hiérarchie se manifestant par un classement des éléments en fonction de leur taux de fixation relatif.

Par exemple, des analyses de ce type (NEBOIT, PAPIN et coll. 1978) prenant en compte la fréquence de consultation des différents instruments de la planche de bord d'avions de transport, ont permis de définir l'importance relative des instruments dans les différentes phases de vol (décollage, vol de croisière, atterrissage, etc...). De la même manière, BOUJU (1979) a pu décrire une hiérarchie des objets fixés, liée au niveau de qualification des contrôleurs de navigation aérienne, et à la charge de travail des opérateurs.

La question de savoir dans quelle mesure le taux de concentration des fixations traduit une plus ou moins grande valeur informative des éléments fixés, n'a pas de réponse directe, ni générale. Par contre, il semble exister une relation assez directe entre ce taux de fixations et l'utilisation des informations (cas du pilotage).

Il paraît néanmoins pertinent de penser que des différences dans la concentration des fixations, selon les éléments fixés, peuvent traduire une plus ou moins grande importance de la source d'information fixée dans l'exécution de la tâche.

3. L'ordre des fixations (la séquence des pauses oculaires) peut être indicatif d'une chronologie dans le prélèvement de l'information et peut éventuellement refléter l'aspect séquentiel d'une stratégie de recherche de l'information. Cette succession des fixations peut aussi être le témoin de mises en relation entre informations (comparaisons de stimulus, comparaisons de distances, etc...).

Dans une tâche de contrôle de qualité MEGAW et RICHARDSON (1979) ont pu montrer que la « trajectoire visuelle » était différente selon les inspecteurs et qu'il pouvait y avoir des relations entre type de « trajectoire » visuelle et performance de détection de défauts, certaines séquences s'avérant plus efficaces que d'autres.

Certains types de tâches consistant à surveiller en même temps plusieurs sources d'information, peuvent bénéficier d'analyse du temps moyen séparant deux fixations sur le même objet. En effet, ce type de tâche implique un échantillonnage temporel en situation d'incertitude temporelle (LEPLAT et CUNY 1977). L'intervalle de temps moyen entre deux fixations sur la même source peut permettre une évaluation de cette activité d'échantillonnage.

Malheureusement, l'analyse séquentielle est peu employée, car difficile à exploiter et se prêtant mal à des analyses statistiques simples dès que le nombre d'objets fixés est important.

4. La durée des fixations fournit une évaluation du temps pris par le sujet pour décoder, enregistrer, et peut être transmettre et traiter l'information. C'est en tout cas ce qui est admis couramment. C'est le paramètre le plus fréquemment analysé et aussi celui qui paraît le plus sensible aux différents facteurs dont l'action est reconnue sur l'exploration visuelle, à savoir : les propriétés physiques des stimulus, les exigences de la tâche, les facteurs « internes » liés au sujet. Cette durée varie :

- avec le type de tâche : selon WHITE et FORD (1960), cette durée varie chez l'opérateur radar de 370 ms (détection de cible) à 830 ms (identification), et peut aller jusqu'à 1500 ms (poursuite de cibles),
- avec la nature de l'information prélevée, repérage spatial (en conduite automobile) sur un objet fixe ou en mouvement, lecture d'information sur instruments (pilotage), inspection de défauts dans les tâches de contrôle de qualité.
- avec les difficultés d'identification, la durée des fixations augmentant avec une diminution de la lisibilité par exemple.
- avec le processus de traitement : dans des tâches de comparaison de stimulus identiques ou différents, les durées sont plus longues pour des jugements identiques puisque dans le cas de jugements différents, il suffit de détecter une différence pour arrêter le processus (VURPILLOT et coll. 1975). Dans ce cas, les durées de fixation varient dans le même sens que d'autres critères : nombre de fixations et durée globale de la recherche. Ce critère serait alors un reflet fidèle de l'activité de comparaison sous-jacente.
- avec la familiarité du sujet avec le stimulus qui permet, en principe, des durées de fixation plus courtes, comme on le verra plus loin.

Pour conclure cette revue sommaire des différents paramètres de l'exploration visuelle, il apparaît que le choix des indicateurs et leurs interprétations dans l'analyse d'une tâche complexe n'est pas un problème trivial.

D'abord, comme on a pu le voir, l'exploration oculaire est un comportement observable, résultant de l'interaction de nombreux facteurs : propriétés physiques des stimulus, exigences de la tâche, activités cognitives du sujet, facteurs exogènes. Mais ce point n'est pas spécifique de l'exploration visuelle et le même problème se pose dès que l'on veut dépasser la pure description de toute réponse observable et que l'on cherche à inférer à partir de cette réponse, la nature, la structure, et le fonctionnement d'une activité sous jacente. La seule approche possible est alors l'approche combinée de l'analyse descriptive globale et de l'analyse expérimentale ; cette dernière pouvant être menée en laboratoire, mais aussi sur le terrain.

Ensuite, l'interprétation des différents paramètres ne peut, dans une première phase et en l'état actuel des connaissances, être générale, mais au contraire rapportée à une tâche donnée dont on connaît par ailleurs les caractéristiques.

Enfin, le choix et l'interprétation des différents paramètres descripteurs de l'exploration visuelle dans des analyses de tâches complexes ne peut être fait que dans le cadre d'une interprétation plus générale, prenant en compte d'autres registres de réponse de l'opérateur.

L'interprétation des mouvements oculaires n'est alors possible qu'à travers la connaissance des exigences de la tâche, l'exploration visuelle pouvant alors être interprétés comme un reflet des activités de saisie et de traitement de l'information et des stratégies utilisées.

D. EXPLORATION VISUELLE ET SITUATIONS DE CONDUITE.

La nature de la tâche de conduite automobile, à savoir maîtriser un véhicule pour effectuer un déplacement dans un environnement complexe nécessitant une activité de structuration de la part de l'opérateur, nous a amenés à considérer les activités d'exploration visuelle comme témoignant de la fonction adaptative de la perception.

L'étude de l'exploration visuelle pouvant être menée directement en analysant l'orientation sélective du regard sur les différentes sources d'information du « champ de travail », nous avons privilégié cette approche en analysant l'état des travaux spécifiquement orientés vers l'analyse de l'exploration visuelle dans la conduite automobile. Ce sont les résultats de ces études que nous verrons maintenant.

La première question qu'il est naturel de se poser est de savoir si un conducteur présente des stratégies visuelles spécifiques de la tâche de conduite. Pour répondre à cette question, BHISE (1971) compare les mouvements oculaires d'un même sujet en situation de conducteur et en situation de passager. Cette étude avait pour but de savoir si, pour un sujet donné, on peut montrer des différences dans son exploration visuelle s'il est conducteur par rapport à une situation où il est passager et si, pour le même sujet conducteur on retrouve le même patterns de mouvements oculaires dans une même structure routière c'est-à-dire si la stratégie est reproductible dans la même situation. L'auteur montre que la dispersion spatiale des fixations est plus grande quand le sujet est passager, et que dans les situations où le sujet est conducteur la dispersion est plus faible. De plus, le sujet étant au volant, un deuxième passage de la même structure routière présente une dispersion identique à celle présentée au premier passage. Enfin, quand le sujet est conducteur, la position moyenne de la fixation est plus proche de la trajectoire.

De plus, l'anticipation, déduite à partir des distances de fixation des marquages latéraux, est plus faible chez le sujet passager (de 2 à 2,9 secondes) que chez le sujet conducteur (3,2 s pour le premier passage ; 4,7 à 5,8 secondes pour le deuxième passage).

L'anticipation est donc plus importante chez le conducteur et elle augmente avec la connaissance du parcours. L'analyse du rôle de la structure routière montre que chez le passager, la dispersion spatiale des fixations et la durée moyenne des fixations ne varient pas en fonction de la structure routière, alors qu'il y a des différences inter-situations sur ces paramètres. A la suite de cette étude préliminaire, BHISE conclut :

- que les mouvements oculaires permettent de définir des spécificités de l'exploration oculaire en situation de conduite automobile.

- que les stratégies d'exploration paraissent stables pour un sujet dans une situation répétée pour certaines caractéristiques de l'exploration.
- que le degré de familiarisation avec la route paraît jouer un rôle important en diminuant globalement le taux de prise d'information et en augmentant l'anticipation.

a) Contrôle de trajectoire en ligne droite.

Une ligne droite sans trafic représente la situation de conduite la plus élémentaire ; dans ce cas bon nombre d'auteurs assimilent cette situation à une tâche de tracking (FORBES, 1972), consistant en un guidage latéral et longitudinal du véhicule sur une trajectoire.

Toutes les études menées sur cette situation s'accordent pour affirmer que dans ce cas, 90 % de fixations ont lieu dans une zone assez restreinte correspondant au point de fuite de la route (point d'expansion défini par GIBSON, 1966). Cette zone privilégiée sur laquelle se concentrent les fixations du conducteur expérimenté a été décrite par de nombreux auteurs (WHALEN, ROCKWELL et MOURANT, 1968 ; BHISE, 1971 ; BLAAW, 1975). De plus ces fixations sont généralement de durée relativement longues (800 à 1000 ms) si on les compare aux rares fixations sur les berges de la route (de l'ordre de 350 ms).

La majorité des auteurs ont interprété ces résultats comme une vérification de la théorie de GIBSON (1966) concernant l'importance du foyer d'expansion comme indice de la direction du déplacement. Pour GIBSON (1966) le défilement de la texture de l'environnement a une origine géométrique à partir de laquelle tous les points en déplacement paraissent en expansion. C'est ce foyer d'expansion qui permettrait au conducteur d'estimer le point vers lequel son véhicule se déplace à un moment donné (FRY, 1968). Si ce point d'expansion ne coïncide pas avec la trajectoire désirée le conducteur effectue une correction.

De plus la position du véhicule sur sa voie serait évaluée en vision périphérique. Ces deux raisons expliqueraient le fait que les fixations du conducteur dans cette situation soient concentrées dans la zone du foyer d'expansion. Donc le contrôle latéral et directionnel pourrait être effectué simplement en fixant le foyer d'expansion, tandis qu'une « surveillance périphérique » des berges de la voie permettrait de s'assurer que ces zones restent fixes dans le champ visuel (SHINAR et col., 1977). En effet selon GORDON (1966), un changement de position des berges sert d'indice à une correction dans le placement latéral.

Si cette conception 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 point lui servirait d'indice directionnel. Or JOHNSTON et col. (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 considéré 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 dans l'estimation du foyer d'expansion (de 4 à 10 degrés). Dans cette expérience on peut d'ailleurs signaler que la vision périphérique extrême était peu mise à contribution (80 degrés du 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 en ce point, 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 donnée des stimulus proximaux qui orienterait la position de l'œil par rapport au défilement et orienterait la fovéa vers un point fictif coïncidant avec le point d'expansion ; le contrôle directionnel de la trajectoire s'effectuerait ensuite à partir de cette position. Cette conception permettrait d'expliquer à la fois :

- La difficulté d'estimation de la position du point d'expansion (plus particulièrement à faible vitesse).
- L'existence de fixations, en l'absence de points d'expansion (conditions de nuit, de brouillard, NEBOIT, recherche non publiée).
- La difficulté de contrôle de la trajectoire en l'absence de vision périphérique (GORDON, 1966).

On se trouve alors devant le problème des rôles respectifs et complémentaires de la fovéa et de la périphérie dans la conduite, qui à lui seul mériterait des études approfondies.

Il faut préciser que la vision n'a pas, seule, le contrôle de l'activité de guidage en ligne droite.

En effet, au cours de l'apprentissage, le conducteur apprend à anticiper les réactions de son véhicule à la suite d'une correction de trajectoire par l'intermédiaire du volant. L'expérimenté n'a donc pas besoin, en principe, d'attendre le résultat de sa première correction pour effectuer la correction suivante. Il est donc probable que l'aspect proprioceptif du contrôle de la trajectoire soit lié à l'aspect visuel. Cet aspect sera évoqué plus loin à propos de l'effet de l'apprentissage sur les mouvements oculaires.

b) Contrôle de la trajectoire en virage

La variation des patterns de mouvement oculaire avec la structure routière est évidente si on compare l'exploration visuelle du conducteur en ligne droite et en virage.

Dans une analyse assez « clinique » des mouvements oculaires de quelques conducteurs sur un parcours présentant différentes situations de conduite, HELANDER et SODERBERG (1972) concluent que « tous les conducteurs explorent de façon à maximiser la distance de visibilité. En effet dans une courbe à droite, les fixations sont plus fréquentes sur les berges droites de la voie, et dans une courbe à gauche les fixations sont plus nombreuses sur la berge gauche.

BLAAUW et RIEMERSMAA (1975) cherchent à préciser ces données de façon quantitative en comparant ligne droite et virage. Leur étude permet de montrer que la répartition des fixations est très différente selon les 2 situations : dans les courbes, les temps passés sur ces berges sont plus importants que dans les lignes droites, de plus le nombre de fixation sur les berges des voies est également plus élevé qu'en ligne droite. Enfin le rayon de courbure du virage semble avoir également un effet : plus le rayon de courbure est court, plus le nombre de fixation est élevé, donc plus l'activité oculaire serait intense. De même des analyses en terme de pourcentage de temps consacré aux différents éléments de la route, dans les deux conditions (ligne droite et courbe) font aussi apparaître une augmentation du temps relatif passé sur les berges des voies en situation de virage.

Dans une étude ayant le même objectif d'analyse du « comportement visuel » en courbe, SHINAR et col. (1977) font l'hypothèse que dans un virage, l'extrémité visible de la route ne coïncidant plus avec le foyer d'expansion, l'augmentation de l'activité oculomotrice traduit le passage incessant du regard, du foyer d'expansion virtuel, à l'extrémité visible de la route. SHINAR et col. (1977) font aussi l'hypothèse que dans une courbe, il y a changement d'indice, le conducteur surveillant le placement latéral de son véhicule fovéalement (et non en périphérie comme en ligne droite) à cause d'une augmentation globale d'exigence nécessiterait une focalisation de l'attention sur les marquages latéraux. A l'appui de cette hypothèse les auteurs citent KAHNEMAN (1970) et les expériences d'attention sélectives qui montrent communément une direction des fixations fovéales vers les foyers d'attention. Enregistrant en continu les mouvements oculaires de cinq sujets sur un parcours de 34 km comprenant 32 virages, SHINAR et col. trouvent une correspondance

entre une grande amplitude des saccades horizontales et les situations de virage. Les auteurs précisent que ce changement net des stratégies oculaires précède d'environ 3 secondes (à 97 km/h) l'entrée dans le virage. Les patterns oculaires sont caractérisés par des aller-retours loin/près du véhicule.

Il apparaît donc que l'analyse du virage par le conducteur commencerait avant l'entrée dans la courbe. Les mouvements oculaires refléteraient un mécanisme anticipateur dans lequel l'exploration visuelle de la courbe permettrait au conducteur de se construire un schéma de la courbe qui resterait à définir avec plus de précision.

Il est également possible, toujours selon ces auteurs que les corrections longitudinales et latérales soient faites en réponse à des sensations vertibulaires (ou proprioceptives) éprouvées par le conducteur pendant le virage (HERRIN et NEUHARD, 1972) et que la fonction des indices visuels soit d'anticiper l'information avant l'entrée dans la courbe, et aussi de renforcer la préparation des autres indices qui seront présentés pendant le virage (FRY, 1968).

Dans cette même étude les auteurs ont également comparé le comportement visuel dans des virages ayant donné lieu à des accidents et dans des virages n'ayant pas donné lieu à accident. Ils trouvent des durées moyennes de fixation significativement différentes (480 ms pour les virages à grand taux d'accidents et 390 ms pour les virages sans accident).

De plus, un taux élevé d'accident est associé à une plus grande variabilité des durées moyennes de fixation dans la zone d'approche de la courbe dans un virage à gauche, (permettant une anticipation visuelle) et dans la courbe elle-même pour les virages à droite (ne permettant pas d'anticipation). Les auteurs font l'hypothèse que les fixations plus longues et une plus grande variabilité dans les virages à fort taux d'accident, pourraient témoigner de difficultés d'extraction de l'information (incertitude, ambiguïté des indices, etc...).

Des analyses ont été faites par le même auteur (SHINAR, 1977 b) sur les « virages trompeurs » définis comme les virages plus prononcés donc plus dangereux que ne le perçoivent les conducteurs. Des analyses de réponses de sujets en situation simulée (sur film) ont été faites pour étudier les variables qui influencent la perception des usagers. Les résultats, en termes de ralentissement, montrent que la courbure perçue est sans rapport avec les mesures classiques de la courbure horizontale du virage (courbure centrale et angle d'ouverture). Les virages à taux d'accident élevés sont perçus à tort comme étant plus proches, plus larges (angle d'ouverture) et plus visibles que les autres. Les auteurs parlent « d'illusion perceptive » due à une erreur de perspective qui fait paraître une courbe plus large qu'elle n'est en réalité. Mais les relations entre cette illusion et les mouvements oculaires ne sont pas analysées. Ces résultats seraient intéressants à réanalyser et pourraient donner lieu à des analyses spécifiques précisant les relations entre « dangerosité » du virage, traitement de l'information et mouvements oculaires.

En ce qui concerne l'aspect anticipation, COHEN et STUDACH (1977) vérifient également l'existence d'une « anticipation visuelle » avant l'entrée dans une courbe par des amplitudes d'explorations supérieures avant l'entrée dans la courbe à gauche. Les mêmes auteurs vérifient également que seuls les expérimentés présentent une différence ligne droite/virage et une différence courbe à droite/courbe à gauche alors que les débutants ne présentent pas ces différences. Mais cette comparaison débutant – expérimenté sera évoquée plus loin.

c) Analyses globales de l'exploration visuelle sur un parcours

Certaines études, assez globales, ont enregistré les mouvements oculaires sur un parcours plus ou moins long, pendant lequel le conducteur rencontrait des situations différentes. Le groupe de recherche d'Ingénierie Industrielle (Université de Columbus Ohio, 1969) a analysé sur trois conducteurs les mouvements des yeux sur un circuit comprenant plusieurs situations différentes. L'analyse des objets fixés et des pourcentages de temps passé sur les différents objets donne les résultats suivants :

– Fixations loin devant :	50,4 % du temps
– Eléments de la situation (ponts)	8,0 %
– Signalisation :	7,5 %
– Autres véhicules :	5 %
– Route et marquages au sol	2,2 %
– Hors du champ	26,9 %

Ce résultat fait apparaître que sur route dégagée, la majorité du temps est passé à « fixer », à regarder « loin devant ». On note le faible pourcentage (2,2 %) passé sur la route. Ces deux résultats confirment ce qui a été dit des patterns de mouvements oculaires en ligne droite. La signalisation routière est faiblement représentée (7,5 %). Dans une étude comparable, KOBAYASHI et MURATA (1972) analysent, pour deux situations (conduite sur route, conduite en ville) le pourcentage du nombre de fixations, le pourcentage du temps de fixation et la durée moyenne des fixations, relatifs aux différents objets :

- **Fréquence de fixations (en pourcentage)** : les auteurs considèrent que la fixation se prolonge sur un objet nécessitant une plus grande attention.

	Fréquence de fixation (en %)	Durée moyenne
Eléments de guidage (rails de sécurité, lignes médianes, marquages des voies)	54,3 %	210 ms
Signalisation	4,8 %	400 ms
Autres véhicules	6,7 %	410 ms
Tachymètre	13,8 %	740 ms
Autres	18,3 %	

Ces résultats, en situation de route dégagée avec trafic, montrent par exemple que la signalisation est peu fixée, mais que tous les paramètres de guidage du véhicule sont fréquemment fixés. Ils font aussi apparaître que des éléments moins fixés peuvent l'être avec des fixations de plus longue durée (tachymètre, et même signalisation ou autres véhicules) et qu'à l'inverse, des éléments fréquemment fixés peuvent donner lieu à des fixations courtes (éléments de guidage). Ce résultat montre l'importance d'une analyse corrélative des différents paramètres de la fixation si on veut en définir le statut dans une tâche donnée (NEBOIT, 1980 a).

- **Pourcentage du temps par catégorie d'objets** : En situation de route dégagée 5 % du temps de fixation est consacré aux autres véhicules, contre 54 % du temps en ville. Ce qui montre l'intérêt de la comparaison inter-situations à condition de tenir compte du nombre de véhicules effectivement rencontrés.
- **Durée moyenne des fixations** : il est intéressant de noter que les durées moyennes des fixations semblent liées à certaines caractéristiques des objets fixés ou à la tâche visuelle impliquée. Par exemple, les durées moyennes de fixation sur les éléments permettant le guidage sur la trajectoire (lignes blanches, rails de sécurité), sont généralement courtes (de l'ordre de 250 ms) ; la signalisation est l'objet de fixation de durée plus longue (de l'ordre de 400 ms) ; Les autres véhicules sont fixés en moyenne pendant 410 ms (jusqu'à 1 seconde) ; Le tachymètre en moyenne 740 ms. L'indicateur « durée moyenne » paraît un paramètre permettant une discrimination des objets fixés. Ce problème devrait être un point sur lequel l'analyse mériterait un approfondissement. En effet, la durée de fixation, dans la mesure où elle peut rendre compte du traitement de l'information fixée (VIDAL-MADIAR et col. 1980) pourrait être un indicateur utile du processus de prise d'information en conduite. On verra d'ailleurs plus loin que cette durée de fixation n'est pas indépendante de l'expérience du conducteur et de son niveau d'apprentissage.

d) Analyse des mouvements oculaires dans diverses situations complexes.

Une des caractéristiques de la tâche de conduite est sa **complexité** au sens où elle met en jeu un **grand nombre d'opérations différentes** dans des situations en nombre théoriquement infini (si on envisage la combinaison de toutes les conditions de circulation).

L'analyse de la tâche de conduite peut donc difficilement se réduire, même sous son aspect perceptif, à l'énumération de quelques situations.

On distingue pourtant couramment les situations d'intersection, de dépassement, etc... la conduite de nuit, la conduite sur autoroute etc... (pour une analyse des situations de conduite cf. NEBOIT 1977 a). Certaines situations ont donné lieu à une analyse de l'exploration visuelle.

HELANDER et SODERBERG (1972) enregistrant les mouvements oculaires (et la réponse électrodermale) de 11 sujets sur une route à deux voies de 7 km dans différentes configurations (lignes droites, virages, intersections, etc...) concluent à une grande variabilité dans les patterns de mouvement oculaire intra situation et inter sujet. Les auteurs précisent qu'il leur a été impossible de faire des analyses sans programme d'analyse sur ordinateur. Ils ne présentent en effet que des descriptions verbales, par sujet, à partir desquelles il est difficile de tirer des conclusions. HELANDER et SODERBERG estiment que « sans une technique d'analyse par ordinateur et sans une réduction fondée des variables en laboratoire, la méthode donne plus de travail que de résultats ».

Pourtant, la première étude menée en situation de conduite simulée (WALDRAM 1960), bien qu'essentiellement qualitative soulignait déjà que les patterns de mouvements oculaires de plusieurs sujets étaient relativement comparables pour une situation d'un sujet à l'autre et pour un même sujet. Dans ses commentaires, l'auteur signale également que l'analyse des mouvements oculaires peut permettre de faire apparaître l'importance relative des objets. Il cite le cas des piétons qui font tous l'objet de fixations de la part de tous les sujets. Ce résultat est confirmé par ceux de NEBOIT (1975) obtenus par des méthodes de rappel d'informations vues après présentation de diapositives prises en situation.

RUTLEY et MACE (1968) trouvent également que les histogrammes d'amplitude des fixations sont comparables pour les différents sujets dans chaque situation, en conduite réelle sur route.

De la même manière le taux de fixation par minute semble caractériser une situation donnée pour l'ensemble des sujets. Dans la mesure où l'enregistrement des mouvements oculaires a été réalisé, dans cette étude, indépendamment de la scène visuelle (électro oculographie), les auteurs ne présentent pas de résultats concernant les objets fixés.

Comparant des situations de « conduite libre » (open driving) à des situations de « conduite en file » (car following), MOURANT et ROCKWELL (1970 b) montrent qu'en situation de conduite en file, sur 196 fixations par minute, 76,7 (par minute) sont consacrées au véhicule qui précède. De plus, la dispersion spatiale des fixations est moins grande que sur route dégagée. Dans la même expérience, la comparaison de passages successifs à travers les mêmes situations montre dans les deux cas une diminution de la dispersion spatiale des fixations avec la répétition ce qui suggère l'importance du facteur « familiarité avec la situation » dans l'exploration visuelle du conducteur.

Les auteurs en déduisent que les patterns d'exploration reflètent bien les différences dans les niveaux de familiarité avec la route, et des différences dans les conditions de conduite.

En situation de traversée d'intersection avec stop, ROBINSON et col. (1972) ont étudié la prise d'information en analysant par observation extérieure les déplacements de tête (et non les mouvements des yeux). Les auteurs observent sur une intersection de l'extérieur du véhicule, les mouvements de tête de 362 conducteurs, faisant l'hypothèse que dans ce type de situation, les fixations faisant plus de 20 ou 30 degrés, on peut les déduire des mouvements de tête. Les auteurs trouvent des patterns de prise d'information bien différenciés selon que le conducteur tourne à droite ou à gauche (intersection en T) et selon le trafic existant à droite ou à gauche. Le type de trafic (venant de droite, venant de gauche, ou les deux) influence plus le nombre de déplacements de la tête que la durée de vision. Le nombre de « fixations » est plus important pour les virages à gauche (traversée de deux voies de circulation). Le temps global de vision est augmenté par la présence de trafic à gauche (et dans les deux sens à la fois) ; il est plus élevé dans le cas où le conducteur tourne à droite. Il semble que la prise d'information reflète bien à la fois la probabilité de présence d'un véhicule (augmentation du nombre de fixations), et l'évaluation de vitesse de rapprochement des véhicules (temps de « fixation » augmenté).

Les mêmes auteurs ont analysé, par la même méthode, une situation de changement de voie, cette fois par observation des mouvements des yeux et de la tête, de l'intérieur du véhicule. Les conducteurs devaient, à la demande de l'expérimentateur, en situation réelle, effectuer des changements de voie. La présence de trafic provoque une augmentation de 50 à 80 % de la durée de vision en arrière (rétroviseurs et coup d'œil latéral). Le rétroviseur extérieur est utilisé systématiquement pour les changements de voie à gauche, par contre, pour les changements de voie à droite un « coup d'œil » vers l'arrière est fréquemment utilisé.

De ces deux études, les auteurs concluent que l'augmentation de la complexité de la tâche (augmentation du trafic) provoque une recherche visuelle plus active et de façon moins marquée, des durées de « fixation » plus longues.

MOURANT et Col. (1970 b) ont analysé les mouvements des yeux de huit sujets en leur donnant trois consignes différentes : lire tous les éléments de signalisation possible, lire seulement la signalisation pertinente à la route suivie, ne lire que les signaux strictement nécessaires pour suivre l'itinéraire. Pour ces auteurs les trois consignes sont censées refléter des niveaux de charge différents, liés à la connaissance du circuit. Les variations enregistrées vont dans le sens d'une augmentation des fixations « loin devant », d'une diminution du pourcentage des fixations sur la signalisation. Les auteurs extrapolent ces résultats à des effets de la charge et de la connaissance du parcours, alors qu'il est probable que ceux-ci ne reflètent finalement que l'effet de la consigne.

Dans une étude menée également en situation réelle COHEN (1976) pose le problème important (et difficile) de la signification des fixations de la façon suivante : les situations courantes rendent difficile l'interprétation des fixations ; par contre trois conditions facilitent cette interprétation :

- Si la résolution du problème nécessite une vision fovéale ;
- Si l'imprévisibilité de la situation fait que le programme d'exploration n'est pas lié à une mémorisation antérieure ;
- Si une contrainte temporelle forte élimine les fixations « gratuites ».

Selon COHEN, ces trois conditions limitent les interprétations possibles et peuvent faire apparaître une relation plus étroite entre séquence de fixations et collecte d'informations. Les auteurs analysent les mouvements oculaires des conducteurs arrivant brusquement dans une situation de chaussée rétrécie par des travaux, impliquant un changement de voie (prendre la voie de gauche, monter sur le trottoir gauche) pour contourner l'obstacle. Le temps pris pour traverser la situation (ou la vitesse moyenne pendant la situation) est également pris en compte.

Les résultats sont intéressants de plusieurs points de vue. D'abord les auteurs ne trouvent pas de relation entre la durée de traversée de la situation et le niveau d'expérience des sujets, ce temps est très différent selon les sujets.

De plus si on classe les sujets sur les critères temps de traversée de la situation, durée moyenne de fixations et nombre de fixations, on obtient le même classement. Il semble donc exister une corrélation étroite entre durée globale de traversée, nombre de fixations, et durée moyenne des fixations. En d'autres termes, les sujets qui traversent la situation en peu de temps (qui vont le plus vite), font peu de fixations et font des fixations de faible durée. Inversement à faible vitesse (durée globale plus longue) les durées des fixations sont plus grandes, et leur nombre plus élevé.

Les auteurs posent alors le problème de la nature, et des niveaux d'efficacité du traitement de l'information. Dans ce cadre deux interprétations sont possibles :

- ou bien les conducteurs les plus rapides prennent plus de risque en faisant un traitement partiel de l'information (nombre de fixations plus faible et durée des fixations plus courte), les plus lents prennent moins de risque en effectuant un traitement plus complet (plus grand nombre de fixations et durée des fixations plus grande).
- ou bien les conducteurs plus rapides sont capables d'un traitement d'information moins coûteux et plus efficace (même taux d'analyse de l'information mais avec moins de fixations de plus courtes durées).

De plus les auteurs font l'hypothèse que ces relations entre la durée globale de la traversée et les paramètres de l'exploration (augmentation des durées moyennes et du nombre de fixations) sont liées à la charge temporelle (grand nombre d'informations à traiter dans peu de temps). En effet, les mêmes mesures effectuées en situation de faible charge montrent qu'on ne retrouve pas ces deux types de tactique. Donc, la capacité de traiter l'information varie selon les sujets, mais n'est révélée que dans des situations à forte contrainte temporelle. Dans ce cas on observe bien deux stratégies possibles :

- changer les stratégies de fixation, qui serait la stratégie employée par les sujets les plus « rapides » ;
- changer (réduire) la vitesse du véhicule, ce qui feraient les sujets plus « lents ».

Les résultats montrent de plus l'intérêt de l'analyse des activités perceptives dans des situations à forte contrainte temporelle, celles-ci étant susceptibles de faire ressortir des différences éventuelles dans les stratégies globales de conduite et donc dans les stratégies de prise d'information.

Des études en situations dangereuses simulées ont été menées par SCHROEDER et col. (1973) pour étudier plus spécifiquement les perturbations que provoque une « fixation » de la tête sur les mouvements oculaires en conduite. Pour ce faire on projette un film présentant des situations dangereuses de plusieurs types. Le conducteur, au volant du simulateur, doit effectuer les opérations nécessaires pour éviter les accidents. La restriction des mouvements de tête apporte des changements au niveau des patterns oculo-moteurs, ce qui incite les auteurs à déconseiller les techniques exigeant une immobilisation de la tête. Mais surtout, ils trouvent des relations étroites entre nombre de fixations et ajustements aux situations (mesurées en nombre d'opérations d'évitement) : plus le nombre de fixations est élevé, plus le nombre d'ajustements à la situation est grand. De même, plus le nombre de fixations est faible, et plus sont nombreuses les erreurs de conduite (grand nombre d'ajustements, et absence d'erreur) soit liée à un taux d'exploration élevé, dans les situations d'urgence simulées.

e) L'exploration visuelle en situation de conduite de nuit.

Peu d'expérience ont été menées en situation nocturne, essentiellement à cause de difficultés techniques importantes : enregistrement en situation de faible luminance et de contraste élevé. Or, c'est précisément cette même difficulté, rencontrée au niveau des appareils d'enregistrement, qui rend difficile la conduite de nuit, c'est-à-dire : indices moins nombreux et plus « camouflés » dans un fond obscur, présence de sources lumineuses éblouissantes. (cf. plus haut chapitre I).

L'importance du taux d'accident, la nuit, et le fait que les indices prélevés, en vision diurne ne peuvent plus être utilisés, rendent pourtant importante l'analyse de la conduite de nuit, sans que l'on puisse prétendre d'ailleurs que ce taux élevé d'accidents la nuit soit strictement lié à des problèmes visuels ou perceptifs.

Quels sont les résultats apportés par l'enregistrement des mouvements oculaires dans la connaissance de la conduite nocturne ?

Une des premières études orientée vers l'analyse des indices utilisés par le conducteur, la nuit, est celle de PARKER et col. (1968) dans laquelle les auteurs comparent l'efficacité, pour une décision de dépassement, de trois indices :

- la surface ou la taille des phares du véhicule arrivant en face ;
- la brillance des phares ;
- l'angle visuel sous tendu par les deux phares.

Le plan expérimental inclut des niveaux différents pour chaque indice et des vitesses d'approche différentes. La tâche du sujet consiste à décider du moment opportun pour éviter le véhicule à dépasser porteur des indices « simulés ». Le temps restant jusqu'à la rencontre éventuelle du véhicule est pris comme variable dépendante. Les mouvements oculaires ne sont pas analysés, mais le type « psychophysique » de cette expérimentation a paru assez intéressant pour être cité ici.

Les résultats montrent que l'indice « angle visuel formé par les phares » semble celui qui permet d'estimer le plus facilement un taux de rapprochement du véhicule, le niveau de brillance étant néanmoins supérieur à la taille des phares. De plus les résultats montrent que la sensibilité au changement de l'indice angle visuel suit la loi de WEBER.

En termes d'exploration visuelle on pourrait en déduire :

- que la finesse d'estimation de cette variation d'angle visuel sera d'autant plus grande que les phares seront projetés sur la fovéa, donc qu'ils feront l'objet de fixations, ce qui, inversement, va provoquer un éblouissement.

– que cette estimation est d'autant plus facile que le véhicule se déplace rapidement, et qu'il est plus proche du véhicule du sujet estimant.

Il apparaît bien que la situation de nuit soit une situation de conduite difficile, non seulement parce que les indices sont moins nombreux, mais aussi parce que, en présence d'autres véhicules, les indices sont précisément des indices lumineux (voire éblouissants) par rapport à un fond obscur.

Déjà, pour cette seule raison, les situations les moins « gênantes » et les moins perturbantes sur le plan visuel seraient de deux types :

- ensemble d'indices éclairés « a giorno » de l'extérieur et éclairage faible des véhicules (zone urbaine bien éclairée).
- ensemble de l'environnement éclairé par les phares du véhicule, les systèmes d'éclairage des autres véhicules étant masqués (autoroutes à « masquage central »).

Les situations dans lesquelles on trouve à la fois des phares des autres véhicules et un faible éclairage du fond sont par définition des situations conflictuelles sur le plan visuel. La distance à laquelle une cible est détectée diminue d'ailleurs considérablement en situation d'éblouissement (JOHANNSON et RUMAR (1968), HULL et HEMION et al (1971).

Les mouvements des yeux de quatre étudiants ont été enregistrés sur trois types de route (grande route éclairée, grande route non éclairée et route rurale) en condition diurne et nocturne (RACKOFF et ROCKWELL, 1975).

Les premiers résultats de cette étude est que la plus grande proportion des fixations a lieu, au point d'expansion dans toutes les situations, de jour, comme de nuit. Or, il faut noter que de nuit, sur une route non éclairée, le point d'expansion n'existe pas physiquement, mais ne peut être qu'inféré à partir des défilements en périphérie. Ce qui viendrait à l'appui de la thèse de l'utilisation par le conducteur d'un point fictif, ou plutôt reconstruit, et non d'un indice physique analysé en fovéa (cf. situation de ligne droite).

L'analyse de la répartition spatiale globale des fixations, la nuit, fait également apparaître une plus grande dispersion que le jour. De plus 20 % du temps global de fixation est consacré aux véhicules arrivant en face, ce qui confirme l'effet d'éblouissement éventuel.

D'autre part, le nombre de fixations sur la trajectoire dans une zone proche du véhicule augmente. Il semble que les conducteurs restreignent leur exploration à la zone éclairée par les phares.

Enfin, sur les routes éclairées, les patterns de fixations sont peu différents de ceux rencontrés le jour.

Les mêmes auteurs, dans une deuxième expérience ont comparé l'exploration oculaire dans différentes conditions :

- nuit/jour
- intersection avec taux important d'accidents la nuit/intersection avec peu d'accidents la nuit.

- **Comparaison nuit/jour.**

La différence la plus importante porte sur la durée moyenne des fixations, celle-ci étant plus élevée la nuit (1200 ms) que le jour (920 ms). Les auteurs, interprètent cette différence en invoquant un processus de traitement plus long, de nuit, en conditions de faible luminance.

- **Relations avec le taux d'accident, de nuit.**

La nuit, la durée moyenne des fixations, sur les intersections à taux élevé d'accidents, est un peu plus élevée que sur les intersections à faible taux d'accidents. Cette différence est significative pour les fixations sur les indices d'identification de l'intersection (berges, et épaulements). Ce qui suggérerait une plus grande difficulté d'analyse de l'information sur ces intersections.

De jour, la distribution des fixations est différente sur les deux catégories d'intersections : les intersections à fort taux d'accidents de nuit donnent lieu à un taux de fixations important sur la partie gauche du champ, et ces fixations sont également de plus longue durée, comparées aux fixations sur le même objet sur les intersections à faible taux d'accidents.

Bien que les résultats de cette comparaison entre catégories d'intersections (sur le critère accidents) soient difficiles à interpréter, on retrouve certains résultats (SHINAR et col. 1977) confirmant une augmentation des durées moyennes de fixations pouvant être interprétées comme des allongements du temps nécessaire pour recueillir l'information.

- **Effet de la présence ou de l'absence d'éclairage.**

Les intersections éclairées non signalées donnent lieu à moins de fixations sur la partie gauche du champ, et les fixations sont en moyenne plus courtes que sur les intersections non éclairées, dans les configurations étudiées ici.

Dans une troisième étude, ROCKWELL et col. (1976) ont cherché à évaluer l'efficacité de divers types de signalisation et d'illumination, en analysant les mouvements oculaires et différents paramètres de contrôle du véhicule tels que les taux de décélération, vitesse du véhicule, etc... Les sujets avaient comme consigne de tourner à gauche aux intersections rencontrées. Les résultats montrent que l'éclairage « a giorno » de l'intersection est plus efficace que la signalisation (le ralentissement a lieu plus tôt, les hésitations sont moins nombreuses, les fixations ont des durées moyennes plus courtes). De plus les marquages latéraux ont peu d'effet sur les mouvements oculaires et sur la performance globale. Selon les auteurs, le seul marquage au sol ne permet pas d'identifier les caractéristiques de l'intersection alors qu'un éclairage puissant apporte plus d'indices et permet une anticipation. La phase importante pour la sécurité serait la détection de l'intersection (rendue possible par un bon éclairage), puis l'ajustement du véhicule sur sa nouvelle trajectoire en fonction du marquage au sol.

- **Effet du type de phares sur les patterns visuels d'exploration.**

Dans une étude de grande envergure, GRAF et KREBS (1976) cherchent à utiliser les patterns de mouvements oculaires comme variables dépendantes des différences d'éclairages produits par différents types de phares définis par l'intensité du faisceau lumineux et par la forme du faisceau.

Les auteurs font conduire 18 sujets sur une route rurale à deux voies sur laquelle ont été disposées des « cibles » étalonnées (différents objets de différentes tailles et de taux de réflexion différents).

Les variables indépendantes manipulées sont :

- le type de phare, le type de cible, la géométrie routière, le taux d'éblouissement. Les variables dépendantes mesurées sont les mouvements oculaires (points de fixation, distribution des fixations), les paramètres du véhicule (vitesse, mouvement de volant, freinage), les distances de détection des différentes cibles.

Les résultats font apparaître :

- des patterns d'explorations différents le jour par rapport à la nuit, l'anticipation étant plus grande de jour,
- des effets nuancés des différents types de phares sur les mouvements oculaires,
- des patterns oculomoteurs stables pour un type de phare.

De plus, en situation d'éblouissement, l'enregistrement des mouvements des yeux fait apparaître des perturbations que les auteurs expliquent par la double gestion de la surveillance du véhicule arrivant en face et du véhicule conduit par le sujet, ceci au détriment des tâches de détection de cibles. De plus, les distances de détection des différentes cibles varient avec le niveau de réflectivité de celui-ci.

Enfin, les auteurs soulignent que les paramètres enregistrés sur le véhicule (mouvements de volant, vitesse, freinage) ne sont pas aussi sensibles aux différences d'éclairage que les mouvements oculaires.

L'ensemble de ces résultats montrent des différences dans les patterns d'exploration visuelle en situation de nuit, mais leur analyse et leur interprétation sont actuellement loin d'être simples, de par la complexité des paramètres mis en jeu.

E. EXPLORATION VISUELLE ET « ETAT » DU CONDUCTEUR.

Les mouvements oculaires, et donc, par hypothèse, la prise d'information, sont influencés par l'état du conducteur : fatigue, absorption d'alcool, mais aussi, peut être par sa personnalité.

a) Mouvements oculaires et « style perceptif »

Parmi les facteurs liés au conducteur, le style perceptif a été étudié en tant que variable de personnalité pouvant avoir un effet sur le comportement visuel par SHINAR et col. (1978). La dépendance du champ, en tant que style perceptif, se réfère à la capacité, pour un sujet, d'analyser les éléments pertinents dans une figure complexe. Les études de WITKIN et col. (1964) ont montré que les variations inter-individuelles sont importantes dans l'aptitude à reconnaître une forme simple imbriquée dans une forme plus complexe. Les sujets arrivant à retrouver rapidement la figure simple sont dits « indépendants du champ ». Une revue importante a été faite des différents tests de dépendance-indépendance du champ par HUTEAU (1975).

Plusieurs études ont rapporté des relations entre la dépendance du champ et le comportement de conduite dont on trouvera des synthèses dans GOODENOUGH (1976) et ROZESTRATEN (1980).

Puisque de nombreuses études indiquent que la recherche visuelle correspond aux stratégies de traitement d'information, on peut faire l'hypothèse de relations entre comportement visuel et niveau de dépendance du champ.

SHINAR et col. (1978) comparent les résultats au « test de la figure cachée » (Embedded Figure test) de conducteurs dont les mouvements des yeux ont été enregistrés sur des parcours routiers. Les auteurs trouvent que les sujets dépendants du champ (ceux qui ont plus de mal à trouver les figures simples dans les figures complexes) présentent des patterns de mouvements oculaires relativement stéréotypés. Les fixations sont plus groupées sur une partie du champ et changent peu à l'approche d'une courbe. D'autre part la fréquence des fixations est plus grande chez les sujets indépendants du champ ; ce qui pourrait être interprété comme une plus grande rapidité du processus de traitement chez les indépendants du champ.

Dans une autre étude les auteurs comparent des sujets âgés ($m = 65$ ans) et des sujets jeunes ($m = 22,5$ ans) sur plusieurs épreuves :

- le test des « figures cachées »
- un test de détection de figures en laboratoire (détecter les cercles barrés dans un ensemble de cercles)
- une épreuve de conduite dans laquelle on demande au conducteur de rester les yeux fermés autant qu'il lui est possible en préservant la sécurité.
- mesure des mouvements oculaires en conduite réelle.

Les résultats montrent que les sujets plus âgés sont plutôt dépendants du champ (mettent plus de temps à trouver les figures simples cachés dans des figures complexes), mettent plus de temps à détecter les figures en laboratoire, restent plus longtemps les yeux ouverts dans l'épreuve de conduite. Par contre les mesures de mouvements oculaires ne se différencient pas par les mesures classiques (durées moyennes des fixations, nombre de fixations), ce qui s'expliquerait par le fait que dans les trois premières épreuves, la charge est forte, ce qui n'est pas le cas dans cette dernière situation en conduite « normale ».

Les auteurs concluent que, en situation de charge ou plus exactement de contrainte temporelle forte, les sujets dépendant du champ mettent plus de temps à traiter l'information que les sujets indépendants.

Cette étude ouvre des voies de recherche intéressantes qui sont actuellement en cours d'exploration (ROZESTRATEN 1980).

b) Effet de la fatigue :

L'état de fatigue, qu'il soit la conséquence d'une durée prolongée de conduite, d'une perturbation du rythme nycthéral, ou d'un manque de sommeil, est un problème important pour la sécurité des conducteurs.

Des études physiologiques ont montré que la conduite sur longs trajets monotones sur autoroute de nuit provoque des baisses de vigilance se traduisant par une augmentation de l'activité alpha de l'E.E.G. (WILLIAMS et col. 1959, LECRET 1973), une augmentation des clignements palpébraux (LECRET et col. 1968, PARROT et col. 1965).

Or, paradoxalement, peu de travaux ont été menés sur l'analyse de l'effet d'une baisse de vigilance sur l'activité de saisie visuelle de l'information en conduite.

MACWORTH (1950) avait déjà constaté que lorsque la tâche se prolonge (consistant à percevoir des signaux irréguliers), l'aptitude à percevoir les signaux est affectée. De plus on sait que les détériorations du positionnement oculaire apparaissent lors des dégradations du niveau d'éveil (ASCHOFF 1970 ; ANGIBOUST 1973). Les mêmes anomalies du positionnement oculaire par saccades ont été observées après privation ou perturbation de sommeil naturel (ANGIBOUST et col. 1971) GAARDER (1966) avait déjà montré qu'au cours d'états dits « d'inattention », on obtient des tracés de mouvements oculaires très différents de ceux que l'on observe sous forte charge attentionnelle : les saccades sont très rares et sont remplacées par des oscillations lentes et irrégulières. Ce fait peut avoir des conséquences importantes en situation de conduite et à fait, à notre connaissance, l'objet d'une seule étude (KALUGER et SMITH 1970). Ces auteurs comparent les mouvements oculaires sujets à l'état normal et des mêmes sujets après privation de sommeil, en situation de conduite réelle, sur voie rapide. Ils constatent que les sujets, après privation de sommeil, fixent les bordures de voie proches du véhicule plus fréquemment, et fixent moins souvent le « point d'expansion ». De plus la durée moyenne des pauses oculaires est plus élevée, ce qui pourrait signifier une difficulté plus grande à traiter l'information fixée. Enfin des sujets présentent des « pistages » (suivis d'éléments mobiles) plus fréquents, ce qui pourrait s'interpréter comme une plus grande dépendance par rapport aux stimulus (phénomène que l'on retrouve d'ailleurs chez les conducteurs débutants).

Il semble bien, malgré le peu de données disponibles, que la fatigue diminuerait les capacités de traitement de l'information, dont témoigneraient les changements dans les patterns de mouvements des yeux, mais là encore les études manquent pour que l'on puisse disposer des résultats exploitables.

c) Effet de l'alcool et de différentes « drogues ».

Les études épidémiologiques ont montré clairement que l'alcool était un facteur important d'insécurité sur la route. Là encore on peut faire l'hypothèse que l'ingestion d'alcool aura un effet non seulement au niveau sensori-moteur (sur les « réflexes ») mais aussi et surtout au niveau du processus de prise d'information et de décision.

Des erreurs perceptives ont été fréquemment invoquées comme étant à l'origine d'accidents sous l'emprise de l'alcool (CLAYTON 1972, PERCHONOCK 1972).

L'étude la plus ancienne (BELT, 1969) a montré que chez des conducteurs très expérimentés, des changements des patterns oculaires apparaissent dès 0,4 % de concentration d'alcool dans le sang, et se manifestent par un rétrécissement de l'espace exploré, par une augmentation des durées moyennes de fixation, ces transformations apparaissant bien avant les premières dégradations comportementales.

Une étude de BUIKUISEN et JONGMAN (1972), en situation simulée sur films, a cherché, en utilisant l'enregistrement des mouvements oculaires, à vérifier plusieurs hypothèses concernant l'effet de l'alcool sur la perception en conduite. La première hypothèse était que les sujets à jeun observent les aspects pertinents du trafic plus fréquem-

ment que les sujets sous alcool ; ce que les auteurs vérifient effectivement : les sujets sans alcool regardent moins souvent les indices pertinents, et sur les 70 « indices » pertinents retenus par un groupe d'experts, 46 sont effectivement fixés fréquemment par le groupe « à jeun » alors que 17 sont pris en compte par le groupe sous alcool. De plus, tous les indices situés de part et d'autre de l'axe central de la route sont plus fréquemment négligés par les sujets sous alcool, ce qui amène les auteurs à parler de « vision en tunnel ». Enfin, si les objets en mouvement sont fixés aussi fréquemment par les deux groupes, les objets fixes (par rapport à l'environnement) sont « négligés » par les sujets sous alcool.

Les mêmes auteurs cherchent aussi à vérifier si les sujets « à jeun » perçoivent les indices pertinents plus tôt que les sujets sous alcool, en comparant la distance à laquelle la première fixation a eu lieu. Là encore, l'hypothèse est vérifiée : les sujets à jeun fixent plus tôt une plus grande proportion d'indices que les sujets sous alcool.

Dans des situations dangereuses, les auteurs font l'hypothèse que les sujets « à jeun » sont capables de distribuer leur attention visuelle plus efficacement dans une durée courte, ce qu'ils vérifient en analysant, dans certaines situations la distribution spatiale et le nombre de fixations pour une durée identique : les sujets sous alcool font effectivement moins de fixations que les sujets à jeun.

Enfin, les auteurs mesurent la « flexibilité » (la « souplesse ») de l'exploration visuelle en analysant la variance des distributions spatiales : les sujets sous alcool paraissent avoir, sur ce critère, des stratégies plus rigides, plus stéréotypées que les sujets à jeun.

Ces résultats montreraient donc que les mouvements des yeux sont affectés par l'ingestion d'alcool, sur le plan purement physiologique (au niveau de la dynamique de la saccade) mais aussi au niveau cognitif de la recherche d'information.

Une autre étude (MOSKOWITZ et col. 1976) reprenant les différents paramètres des mouvements oculaires, confirme une augmentation des durées moyennes de fixations sous alcool et une diminution du nombre des fixations. De plus, une analyse spécifique par objet fixé, montre que le changement dans les stratégies de fixation, porte également sur le type d'événement fixé, et sur sa signification pour le conducteur sous l'influence de l'alcool.

Un aspect important des résultats d'une étude de SCHROEDER et col. (1974) est que l'enregistrement des mouvements oculaires permet de révéler des différences là où d'autres paramètres tels que l'ajustement de vitesse, ou les erreurs de conduite, ne montrent pas de différence.

Par exemple, l'effet de « drogues médicamenteuses » (Librium) même à faible dose, est important sur les patterns oculomoteurs, alors que les réponses motrices ne sont pas affectées. Ce constat méthodologique avait déjà été fait par ROCKWELL (1972) pour qui l'enregistrement des mouvements oculaires, puisqu'il permet d'analyser les variations fines des stratégies de prise d'information, est susceptible de révéler des effets non mesurables par d'autres méthodes.

d) Evolution de l'exploration visuelle avec l'apprentissage et l'expérience.

Bon nombre d'études ont déjà montré que l'exploration visuelle changeait au cours du développement chez l'enfant. Cette évolution, dans ce cas, est le résultat de l'action conjuguée de la maturation (mise en place définitive des structures nerveuses) et de l'apprentissage, c'est-à-dire de la familiarité de l'enfant avec les objets qui l'entourent. Or, bien que chez l'adulte le processus de maturation soit achevé, la familiarité du sujet avec les stimulus de l'environnement va être différente selon le « milieu » où évolue l'individu.

On peut donc 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 traitement de l'information adaptés et que ces mécanismes vont se développer tout au long des premiers kilomètres. Il est même probable que l'apprentissage du traitement de l'information demande plusieurs mois de pratique alors que le contrôle élémentaire du véhicule est appris très rapidement (au cours des premières heures de conduite).

Il est donc important de savoir comment se développe le recueil d'information chez le conducteur débutant, pour aménager des aides à l'enseignement efficaces, mais aussi pour mieux comprendre le fonctionnement des processus perceptifs lorsqu'ils sont « élaborés » chez l'expérimenté.

Récemment de nombreuses études ont étudié ce développement en analysant l'évolution de l'exploration visuelle au fur et à mesure de l'apprentissage et 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 de patterns oculomoteurs chez les conducteurs débutants, quelle est leur « vitesse » de développement, et à partir de quel niveau d'expérience on peut considérer que les débutants ont des patterns d'exploration semblables à ceux 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 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. L'exploration est moins dispersée au fur et à mesure de l'acquisition.

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 égale quelle que soit la vitesse.

ZELL ne trouve pas de différence quant aux durées moyennes de fixation 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. Il est probable que ce résultat soit dû au fait que l'auteur a regroupé tous les objets fixés. En effet, d'autres études que nous verrons plus loin ont montré que pour certaines tâches les durées de fixation sont susceptibles d'augmenter ou de diminuer avec l'apprentissage (NEBOIT 1978).

Essayant d'analyser séparément les objets fixés, dans une tâche de contrôle de trajectoire, 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 préciser l'évolution des stratégies oculomotrices dans une tâche simple (contrôle de trajectoire en ligne droite contraignant), NEBOIT (1979) a enregistré simultanément les mouvements du volant et les mouvements des yeux de conducteurs en cours de formation par stage (7 jours).

Les sujets ont été « testés » à trois niveaux du stage : 1er, 3ème et 5ème jour, sur une trajectoire rectiligne. L'évolution se caractérise par :

- une diminution de l'amplitude, et de la variabilité des amplitudes des mouvements de correction sur le volant (dès le 3ème jour). Sur ce paramètre on peut préciser que la comparaison avec des sujets expérimentés montre chez ces derniers des corrections de faible amplitude et de faible variabilité (NEBOIT 1971).

- une augmentation du nombre et, dans une moindre mesure, de la durée moyenne de fixations « loin », et une diminution importante des fixations « près » sur les bordures de voie.

Là encore, la comparaison avec des sujets expérimentés montre que cette évolution va vers un pattern comparable aux patterns des expérimentés.

En ce qui concerne l'activité de base, c'est-à-dire le contrôle de trajectoire, il semble donc que les mécanismes sensori-moteurs et les processus d'analyse de l'information se mettent en place très rapidement, dès les premiers entraînements sur véhicule.

En est-il de même dans des situations plus complexes ? C'est ce que nous avons tenté de voir dans une expérience sur piste dans une situation de dépassement simulé (NEBOIT 1978). La comparaison des stratégies de fixation oculaire de deux groupes de sujets (débutants après permis et expérimentés ayant au moins parcouru 100.000 k), effectuant une tâche de dépassement d'un véhicule arrêté alors qu'un véhicule arrive en face, montre que :

- le nombre de fixations est plus élevé, par unité de temps, chez les débutants que chez les expérimentés. De plus la fréquence de fixation sur la chaussée est plus importante chez les débutants (ce qui confirme les résultats d'autres auteurs).
- la durée moyenne des fixations est très différenciée selon les objets chez les expérimentés alors qu'elle l'est peu chez les débutants. Les expérimentés fixent plus souvent et plus longtemps à chaque fixation le véhicule arrivant en face.

De plus, devant des situations différentes (contrainte temporelle croissante) les expérimentés modifient leur stratégie d'exploration oculaire alors que les débutants gardent des patterns plus stéréotypés.

En résumé, les débutants adoptent une stratégie d'exploration et la modifient peu en fonction des situations. Par contre les expérimentés auraient la possibilité d'adapter leur stratégie de fixation en modifiant le nombre de fixations ou la durée moyenne des fixations. L'apprentissage aurait probablement lieu sur la nature des indices prélevés et sur l'adéquation de l'activité perceptive aux indices (NEBOIT, 1980 ; 1981).

Enfin, il semble que, chez le débutant, l'activité perceptive serait centrée sur le maintien de la trajectoire, ce qui expliquerait que les autres indices liés au trafic sont moins fixés (exemple : véhicule arrivant en face). Des résultats comparables ont été obtenus par MOURANT et ROCKWELL (1972) en situation réelle de conduite. Les auteurs trouvent que les débutants concentrent la majorité des fixations sur les indices visuels de position sur la chaussée. Ils montrent également que, même après avoir passé le permis de conduire, les débutants sont loin de présenter des stratégies visuelles comparables à celles des expérimentés.

Pour analyser les effets de l'entraînement sur les patterns de mouvements oculaires et sur les erreurs de conduite, ALLEN et col. (1978) comparent 15 sujets possédant leur permis et 15 apprentis conducteur 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. 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, et 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 des tâches perceptives, nous paraît une voie plus prometteuse et plus représentative de l'activité 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) ce que

soit sur le nombre de fixation, le temps moyen de fixation 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, ou bien ne peuvent le faire à cause d'une trop grande charge perceptive globale, ou bien ne considèrent pas cette information comme importante.

Pour conclure sur le problème du rôle de l'expérience dans les mécanismes d'exploration visuelle, on peut affirmer que le débutant ne peut traiter que peu d'informations à la fois, il lui faut donc plus longtemps qu'à un expérimenté pour extraire l'information nécessaire.

Ceci a pour conséquence que le débutant sera sensible à toute augmentation de la densité de l'information ou à toute diminution du temps disponible (charge visuelle). De plus, le débutant utilisant surtout la vision fovéale ne peut relier les contenus des stimulus proximaux successifs qu'en rapprochant et en multipliant les fixations. Pour récolter toute l'information voulue, le débutant met donc plus de temps et fait plus de fixations que l'expérimenté.

D'autre part l'évolution des stratégies d'exploration visuelle témoignerait :

- d'une meilleure utilisation de l'information recueillie en vision périphérique ;
- d'une évolution de l'aptitude à organiser un schéma prévisionnel des événements, donc de l'information pertinente à rechercher ;
- d'une évolution de l'aptitude à discriminer les indices pertinents ;
- d'une meilleure connaissance des modes d'exploration liés à la tâche spécifique par interiorisation des propriétés de l'appareil de saisie visuelle.

L'ensemble de ces considérations est encore en partie hypothétique et seules des études expérimentales approfondies de l'évolution des stratégies d'exploration visuelle avec l'apprentissage peuvent confirmer ou infirmer ces hypothèses.

Ces études nous paraissent fondamentales si on veut aménager des entraînements perceptifs efficaces pour l'apprentissage de ce qui est probablement l'activité fondamentale de la conduite automobile.

e) Conclusion

Les analyses du « comportement visuel » du conducteur ont donc amené un certain nombre de résultats que l'on peut résumer de la façon suivante :

La collecte d'information n'est pas aléatoire : le conducteur recherche dans l'environnement les informations dont il a besoin à partir d'un tri initial. La sélection d'informations s'opère à partir des connaissances antérieures acquises au contact de la tâche (rôle de l'expérience). Elle est structurée par la nature de l'environnement physique : (par exemple les patterns d'exploration sont différents en ligne droite et en courbe), par la nature des stimulus (des stimulus à forte valeur d'appel déclenchent des fixations), par les conditions de la recherche d'information (conditions de visibilité, conduite de nuit, difficultés de lecture, etc...). De plus, cette sélection de l'information est également structurée par les activités représentatives du sujet : elle est transformée par l'apprentissage. Enfin, le comportement visuel du conducteur peut être dégradé par l'effet de la fatigue, ou par l'effet de facteurs exogènes (ingestion d'alcool, de drogues).

L'analyse de l'exploration visuelle peut donc être considérée comme l'étude d'un indicateur complémentaire intermédiaire entre l'environnement et la réponse du conducteur à un état donné du système.

F. VISION FOVEALE « CENTRALE » ET VISION PERIPHERIQUE « AMBIANTE » : LEURS RELATIONS FONCTIONNELLES DANS LA CONDUITE.

Il est certain que la compréhension des mécanismes d'exploration visuelle passe par la compréhension des relations fonctionnelles entre les deux systèmes visuels : vision fovéale et vision périphérique.

En effet, au niveau fonctionnel, comme cela a déjà été rappelé plus haut, la **région périphérique de la rétine** aurait une fonction d'analyse spatiale de la position des objets, permettrait de faire une présélection des sources d'information « à fixer », et préparerait le réflexe de fixation, c'est-à-dire le positionnement de l'image de l'objet sélectionné sur la **région fovéale**. Cette dernière aurait alors une fonction d'analyse plus fine, plus détaillée, et une fonction d'identification du stimulus fixé.

Bon nombre d'études de l'exploration visuelle ont donné lieu à des résultats que les auteurs interprètent à la lumière des rôles de la fovéa et de la périphérie.

L'augmentation des durées de fixation sous alcool (BELT 1969) et la grande concentration des fixations, sont interprétées comme un rétrécissement du champ visuel, dû à une perte de l'efficacité de la vision périphérique. Le même auteur interprète également les pertes de contrôle du véhicule, précédées par de courtes fixations dispersées dans un grand champ, par une destructuration de la localisation spatiale liée à cette perte d'efficacité de la vision périphérique.

L'effet de la fatigue, à savoir l'augmentation du nombre des fixations sur les bords de voie est également interprété par KALUGER et SMITH (1970) comme une compensation par la vision fovéale, de la diminution de l'efficacité de la périphérie. MOURANT et col. (1972) constatant que les débutants font plus de fixations sur un plus grand nombre d'objets, en déduit que les débutants utilisent moins leur vision périphérique que les expérimentés.

Bien que l'éclaircissement des rôles de la fovéa et de la périphérie paraisse un point clé de la compréhension des mécanismes d'exploration visuelle en général, et des stratégies visuelles du conducteur en particulier, peu d'études ont été menées dans ce domaine.

On sait que la vision périphérique joue un rôle important dans l'évaluation des mouvements linéaires (PAVARD et col. 1976) qui est une des activités mises en jeu dans le contrôle de trajectoire.

BHISE (1971) a montré que la performance de détection d'une variation de mouvement par la périphérie diminue plus vite que la performance en fovéa si on augmente l'excentricité des stimulus.

De façon générale, une augmentation des exigences de la tâche fovéale amène une diminution des détections en périphérie (ROCKWELL et col., 1977). Il apparaît que toute « diminution » du champ visuel sous l'effet d'une charge fovéale serait un effet psychologique mettant en jeu le contrôle cortical, et non un effet rétinien.

Enfin, la détection d'objets en périphérie sous charge fovéale dépend étroitement de la pertinence des stimuli périphérique.

L'utilisation de la fovéa et de la périphérie reposerait bien sûr, sur les bases neurophysiologiques « précablées », mais serait liée à la « pertinence » des stimuli, donc au degré de familiarité du sujet avec la tâche.

De nombreuses zones d'ombre subsistent encore sur ce problème et des études seraient nécessaires pour analyser les fonctions spécifiques de la fovéa et de la périphérie en conduite, leurs inter-relations, ainsi que l'effet de divers facteurs énumérés précédemment (apprentissage et expérience, fatigue, alcool, etc...).

III – CONCLUSION : APPLICATIONS POSSIBLES

Plutôt que de faire ici le résumé des principaux résultats apportés par l'étude des mouvements oculaires du conducteur, nous présenterons les grandes lignes d'applications qui peuvent être l'aboutissement de telles études.

Nous pensons que l'étude des mécanismes perceptifs visuels en conduite automobile peut déboucher sur trois grandes catégories d'applications :

- **L'analyse de la tâche de conduite** plus particulièrement dans son versant perceptif visuel, est la première catégorie d'application possible. L'exploration visuelle est le meilleur intermédiaire dans la chaîne Environnement - Réponse du conducteur. A ce titre l'analyse des mouvements des yeux peut apporter des éléments supplémentaires dans la connaissance des réponses du conducteur à un type d'environnement donné, précisément parce que dans de nombreux cas, la seule réponse comportementale ne suffit pas, ou est inobservable. Dans ce cas les mouvements des yeux deviennent des indicateurs intermédiaires indispensables.
- **L'ergonomie de la conduite** peut également bénéficier de cette méthode puisqu'il est important de connaître le « comportement visuel » des conducteurs devant divers types de tableaux de bord, devant différentes structures de route, et surtout devant différents types de signalisation routière, pour pouvoir en tenir compte dans l'élaboration de normes de construction des différents éléments apportant de l'information au conducteur.
- **La pédagogie des activités perceptives visuelles** est également un domaine où devrait se développer une analyse de l'exploration visuelle pour comprendre les problèmes perceptifs rencontrés par les débutants, pour connaître la loi de l'évolution de ces processus perceptifs avec l'expérience et pour servir d'instrument de mesure de la validité d'aides visuelles à l'apprentissage.

Ce sont ces trois domaines d'applications que nous allons développer maintenant.

A. L'ANALYSE DE LA TACHE DE CONDUITE SOUS L'ASPECT SAISIE ET TRAITEMENT D'INFORMATION.

Bien que l'analyse de la tâche de conduite (ou des activités mises en jeu dans la conduite d'un véhicule) ne soit pas à elle seule une voie d'application, elle est la première étape nécessaire à toute application et permet d'en assurer les fondements.

L'analyse du travail, pour employer un terme plus général, est la phase préliminaire à toute intervention de type ergonomique et à toute proposition d'application pédagogique. Nous nous limiterons ici aux activités perceptives de saisie et de traitement de l'information, et nous ne présenterons qu'un point de vue.

Dans la tâche de conduite, les aspects informatifs sont, pour le conducteur expérimenté, très redondants, c'est-à-dire contiennent beaucoup d'information « superflue ». C'est cette redondance qui permet l'identification des objets ou des événements à l'aide d'un nombre d'indices très restreint. Le conducteur, comme tout sujet humain placé dans une situation « connue », procède donc par échantillonnage. L'information captée par le conducteur ne constitue qu'un « échantillon » restreint de l'information disponible dans l'environnement. Ce fait est clairement attesté par l'enregistrement des mouvements oculaires.

Mais en procédant par échantillonnage, le conducteur court le risque d'une fausse identification de l'objet ou de l'événement. Certes, plus le conducteur rassemble d'indices, plus il diminue ce risque d'erreur, mais, en contre-partie, prendre beaucoup d'indices exige beaucoup de temps et retarde donc la réponse (l'action).

Le conducteur se trouve donc devant deux stratégies contradictoires : recueillir le maximum d'indices pour minimiser le risque d'erreur, ou recueillir le minimum d'indices pour que le délai de réponse soit court.

Selon que le conducteur privilégie l'une de ces exigences, il diminue évidemment l'autre. Mais le conducteur expérimenté est capable de sélectionner les indices pertinents, car cet échantillonnage visuel n'est pas aléatoire ; il dépend des hypothèses élaborées à propos d'une situation donnée. C'est précisément la vérification de ces hypothèses qui va se traduire par un tri des indices pertinents et par une exploration sélective. C'est donc au niveau de l'articulation entre l'émission d'hypothèses et sa vérification par le prélèvement d'indices sélectionnés que se pose le problème de l'analyse des activités perceptives du conducteur, et en particulier au niveau de sa traduction en termes de hiérarchisation de l'information.

C'est probablement à ces deux niveaux : hypothèses concernant une situation, et choix d'une stratégie de prise d'information adéquate que vont agir les différents facteurs influençant le comportement du conducteur : situations rencontrées, vitesse pratiquée, expérience, charge, fatigue, alcool, etc...

L'analyse conjointe de l'exploration visuelle, et son résultat en termes comportementaux (ou décisionnels) paraît la méthodologie la plus adéquate dans la mesure où elle permettrait de quantifier cette procédure d'échantillonnage visuel.

Cette façon de poser le problème devrait être riche en résultats en particulier en ce qui concerne l'étude de la charge par l'augmentation de la vitesse de présentation des indices visuels (ou de la vitesse de variation des variables) et/ou par l'augmentation du nombre de sources d'informations à traiter. Il devrait être possible de décrire les différentes situations de conduite grâce à ce modèle et d'analyser les conséquences d'une augmentation de la charge sur le comportement d'échantillonnage ou inversement les conséquences d'un changement de stratégie d'exploration visuelle sur le niveau de charge visuelle.

B. L'ERGONOMIE DE LA PRESENTATION DE L'INFORMATION.

Puisque les informations prélevées par le conducteur et la procédure qu'il emploie pour saisir ces informations, ont des conséquences sur ses décisions et ses actions futures, leur analyse va apporter des résultats directement applicables à l'aménagement du véhicule (tableau de bord, informations diverses sur l'état du véhicule), de l'infrastructure routière (profils de routes, perspectives de virages, environnement routier) et de la signalisation routière.

Il s'agira donc plus particulièrement d'ergonomie de la présentation de l'ensemble des informations utilisées (ou utilisables) par le conducteur. Jusqu'ici ces aménagements ont été, dans le meilleur des cas, réalisés en fonction des caractéristiques des panneaux en termes de visibilité, lisibilité (MOUKHWAS 1980). Il a rarement été tenu compte de l'utilisation réelle des différentes informations par les conducteurs.

En particulier les contraintes évoquées plus haut en termes d'exigences de la tâche visuelle n'ont pas ou peu été étudiées dans l'ensemble des paramètres situationnels (densité du trafic, vitesse du flux, etc...).

Dans ce contexte, diverses études sont possibles :

a) Aménagement ergonomique du poste de conduite.

Ce problème de l'aménagement rationnel des tableaux de bord a déjà été abordé depuis longtemps dans l'aéronautique et bon nombre de résultats sont déjà directement applicables. L'analyse des mouvements des yeux dans une perspective ergonomique de comparaison des différents types de présentation de l'information (affichage analogique ou digital, position des cadrans sur le tableau de bord, utilisation réelle des informations) est plus récente dans son utilisation systématique. Aucune application, à notre connaissance, n'a été faite jusqu'à ce jour pour l'aménagement du tableau de bord des véhicules.

Bien sûr l'importance des « instruments » de pilotage n'a rien de commun avec celle des cadrans d'un véhicule automobile, mais de telles études permettraient néanmoins de préciser utilement l'intérêt et l'efficacité relative de diverses présentations.

b) Ergonomie de la structure routière.

Certaines études (SHINAR, 1977b) ont montré que la structure routière, et en particulier la vue perspective de virages, telle que la perçoit le conducteur, peut provoquer des estimations fausses de la courbure du virage. Certains virages seraient dangereux parce que la perspective qu'ils présentent provoquerait une sous-estimation de leur courbure, ce qui se traduit par une vitesse trop élevée dans la courbe et le risque de sortie de virage. L'auteur a montré que, dans ce cas, les mouvements des yeux présentaient des caractéristiques différentes de celles présentées dans des virages non dangereux.

Il est donc possible d'évaluer le comportement visuel des conducteurs sur des sections de route posant problème, dans la mesure où ces problèmes paraissent relever du niveau perceptif.

La même méthodologie pourrait être appliquée à différentes situations routières et à différents types d'infrastructure.

Les mêmes techniques pourraient être appliquées à des routes achevées mais non encore ouvertes à la circulation. Par exemple BLAAW et RIEMERSMAA (1975) ont fait passer des conducteurs sur des sections de route déjà construites et non encore ouvertes à la circulation, afin d'analyser, au moyen d'un véhicule équipé, le comportement du conducteur (vitesse pratiquée, trajectoire effectuée, comportement visuel). Ces résultats permettent d'apporter des corrections éventuelles en termes de tracés de la route ou d'aménagement de signalisation.

Ces différentes méthodes font partie de ce que l'on a appelé une **ergonomie de correction**. Mais il serait également possible de concevoir dans ce domaine une véritable **ergonomie de conception**, c'est-à-dire une analyse du comportement des conducteurs avant même la construction d'une nouvelle route. Jusqu'ici la réalisation d'un tracé de route a surtout pris en compte les paramètres utilisés par les ingénieurs routiers (matériaux utilisés, trafic prévu, dynamique des véhicules, coût, etc ...). Ce n'est qu'assez rarement que l'on concrétise les projets de route sous forme de maquettes, ou de vues photographiques donnant une vue « du volant ». Le développement actuel des simulateurs, sous forme d'image dynamique générée par ordinateur, devrait rendre possible la présentation à des conducteurs, de sections de routes en projet, et l'analyse de leur comportement (contrôle de trajectoire, comportement visuel) en situation simulée.

Ce type d'étude, portant sur des projets de routes, serait d'un intérêt considérable puisqu'il serait possible d'évaluer le comportement du conducteur sur une route avant même que celle-ci soit réalisée, et permettrait donc des corrections éventuelles ou des comparaisons de différents tracés quant à leur efficacité sur le plan de « guidage visuel » du conducteur. Il n'existe pas, à notre connaissance, d'étude ergonomique de ce type.

c) Ergonomie de la signalisation routière.

De la même manière, on peut concevoir une ergonomie de correction (analyse et correction de signalisation à des points dangereux) et une ergonomie de conception (analyse d'un nouveau système) appliquée à la signalisation routière. C'est d'ailleurs ce principe général qui est appliqué actuellement pour l'aménagement correctif et pour la définition de nouveaux systèmes de signalisation (panneaux diagrammatiques, MOUKHWAS 1980). Mais actuellement on étudie le plus souvent le panneau en tant que tel et non l'utilisation qu'en fait le conducteur dans tel ou tel environnement. De plus, les critères utilisés (conditions de visibilité et de lisibilité : luminance, contraste, taille des messages, etc... sont nécessaires mais non suffisants.

L'évaluation de la signalisation routière doit prendre en compte les caractéristiques du signal, l'habileté (motrice, visuelle) du conducteur, la géométrie de la structure routière, les conditions de trafic (densité, vitesse du flux, etc...).

L'enregistrement du « comportement visuel » du conducteur ainsi que ses réponses (visuelles ou comportementales) à différents types de signalisation routière, devraient contribuer, pour une grande part à l'élaboration d'une méthodologie d'évaluation de la signalisation (NEBOIT 1980b).

En ce qui concerne l'utilisation de l'enregistrement des mouvements des yeux pour des évaluations de la signalisation, l'unique étude (BHISE et ROCKWELL 1972) qui ait abordé ce problème montre que la manière dont le conducteur explore visuellement la signalisation est influencée par un grand nombre de facteurs :

- Une plus grande lisibilité du signal donne au conducteur une marge temporelle théorique de traitement plus élevée, donc augmente la probabilité que le signal soit perçu et traité.
- Si la durée séparant la première fixation sur le signal, du point de rencontre effectif, est élevée, le conducteur dispose de plus de temps pour traiter l'information.
- Le temps minimum nécessaire pour extraire l'information d'un signal diminue avec l'expérience du conducteur.
- Ce temps augmente avec la longueur ou la complexité du message.

Ces résultats ne font que confirmer les évaluations en laboratoire.

Mais de plus,

- l'augmentation de la densité du trafic diminue globalement le temps passé à consulter la signalisation ;
- de même, l'augmentation du nombre d'information diminue d'autant la probabilité, pour chaque signal, d'être traité, puisque le conducteur traite l'ensemble des informations en temps partagé.

Une autre manière d'aborder le problème peut consister à postuler que sur un itinéraire donné, l'information (de type structure ou tracé et de type signalisation) est utilisée de façon très différente selon que le conducteur connaît ou ne connaît pas le site. En principe le conducteur local (connaissant le site) utilise peu les informations mais se sert plus de la connaissance antérieure qu'il a des sites. Inversement, le conducteur non local, que l'on supposera pour simplifier, expérimenté, dispose bien d'une connaissance générale du système de circulation, mais doit prélever l'information spécifique liée aux particularités de l'itinéraire (virage mal relevé, ou signalisation directionnelle). On peut donc faire l'hypothèse que la comparaison, chez ces deux groupes extrêmes, devrait amener des renseignements précieux sur l'information dont a besoin réellement le conducteur local pour effectuer son déplacement.

Ce dernier point de vue fait apparaître que la manière dont le conducteur explore visuellement l'environnement dépend bien sûr des caractéristiques du tracé et de la signalisation, mais aussi de sa connaissance éventuelle du système. Ce qui implique que ce type de facteur doit être pris en compte dans la conception de tracés et de signalisation routière.

Ces différentes considérations montrent l'importance d'études d'évaluations de la signalisation « in situ », sur des groupes de conducteurs différents, et dans les différentes conditions de trafic réel. C'est en particulier ce qui nous paraît être l'intérêt de l'analyse de l'exploration visuelle à condition qu'elle soit menée conjointement avec des analyses comportementales plus directes (régulation de la vitesse par le conducteur par exemple).

C. PEDAGOGIE DES ACTIVITES PERCEPTIVES VISUELLES.

Chacune des habiletés mises en jeu dans la conduite peut se comprendre comme un programme monté au cours des différents apprentissages antérieurs. Or, le déroulement de tels programmes exige que soient intégrés de manière continue des informations sur les différents paramètres de la situation.

Le conducteur expérimenté possède de tels programmes, mais ceux-ci ne se déroulent pas de façon mécanique, quoi qu'on en pense souvent (les fameux « réflexes »). Comme on l'a vu plus haut le conducteur doit recueillir les informations qui orientent ce programme ou qui lui permettent d'adopter tel ou tel programme d'action. Pour ce faire, il

sélectionne, il opère un filtrage qui renvoie à une capacité de type perceptif qui résulte d'un apprentissage. « Il faut apprendre à percevoir ce qui est utile à l'action... seule une intégration très poussée des aspects perceptifs et des aspects moteurs du comportement peut permettre à des habiletés de se réaliser à un très haut niveau d'efficacité ». (NOIZET 1975).

On voit donc l'importance que revêtent les apprentissages perceptifs en conduite. Or ces apprentissages ne font actuellement l'objet d'aucun véritable entraînement. Les conducteurs débutants n'apprennent à « voir et à regarder » que de façon « incidente ».

Il n'existe actuellement aucun entraînement systématique de la perception en conduite automobile. Par contre, curieusement il existe beaucoup de matériels et d'aides visuelles. Or la conduite automobile consiste précisément à réguler une trajectoire (direction, vitesse) en fonction d'indices visuels recueillis sur la situation. L'apprentissage de la conduite consiste à apprendre ce « catalogue » d'indices, et à assimiler les types de réponses correspondant aux différentes classes d'indices, mais aussi à anticiper en temps t dans une situation donnée les indices qu'il faudra analyser au temps $t + 1$. En ce sens on peut dire qu'une recherche globale d'information ne pourra se faire que si elle est guidée par des hypothèses pertinentes.

De ce point de vue, la connaissance des modes d'exploration visuelle de conducteurs expérimentés et de conducteurs en cours d'apprentissage est fondamentale pour proposer des entraînements perceptifs efficaces. Mais elle doit être constamment mise en relation avec les hypothèses qui ont guidé l'exploration.

De plus, des aides « visuelles » destinées à l'apprentissage de la conduite pourraient être analysées en tenant compte des comportements visuels des conducteurs « apprenant ». Par exemple, l'efficacité d'une séquence didactique utilisant des présentations de diapositives peut être évaluée à la fois par des 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 d'efficacité de la méthode proposée, quant à sa possibilité globale de transformer les stratégies de recherche d'information.

Enfin, et surtout, la comparaison des comportements visuels des conducteurs avant et après qu'ils aient subi un apprentissage apporte des critères 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 leur stratégie d'exploration visuelle.

Sur le plan de la pédagogie de la conduite, l'analyse du comportement visuel est donc utile :

- pour connaître les difficultés majeures du débutant,
- pour connaître son évolution au cours de l'apprentissage,
- pour vérifier l'efficacité de techniques didactiques destinées à l'entraînement perceptif,
- pour évaluer l'écart avec des conducteurs expérimentés.

Bien sûr, il ne peut être question d'utiliser systématiquement une telle méthodologie en auto-école. L'application envisagée ici consiste plus à disposer d'une méthode de mesure expérimentale dont les résultats, et non la méthode elle-même, soient applicables.

Pour conclure, par rapport aux applications dans le domaine de la conduite, il nous paraît clair que l'étude des activités perceptives du conducteur par le moyen de l'enregistrement des déplacements de la direction du regard, est un instrument d'analyse important dans la compréhension des mécanismes perceptifs mis en jeu par le conducteur. Les résultats n'ont pas encore, il est vrai, la cohérence interne qu'on serait en droit d'en exiger pour des applications à court terme. Néanmoins, ces résultats pourraient déjà être exploités. De plus cet instrument d'analyse devrait permettre, dans la mesure où les problèmes seront correctement posés, la résolution des problèmes concrets aussi bien au niveau de l'aménagement des informations présentées au conducteur (poste de conduite, structure routière, signalisation) qu'au niveau de la réalisation de progressions pédagogiques et d'aides à l'apprentissage au moins en ce qui concerne les activités perceptives mises en jeu dans la conduite des automobiles.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLEN, M.J. (1969) : Vision and driving
Traffic Safety, septembre 1969, 8.
- ALLEN, J.A., SCHROEDER, S.R., BALL, P.G. (1978) : 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.
- ANGIBOUST R., (1973) : Les conséquences des dégradations de l'état d'éveil sur les mouvements de positionnement oculaire par saccades.
Revue de Médecine Aéronautique et Spatiale. 1973, N° 49.
- ANGIBOUST R., REY, J., GODINOU, J.C., BOURDARIAS, J. (1971) : Une épreuve objective pour apprécier l'état fonctionnel du système oculomoteur au cours d'états de somnolence.
Société Française de Physiologie et de Médecine Aéronautique et Cosmonautique. Séance du 17 décembre 1971.
- ANGIBOUST R. et CAILLER B. (1972) : Intérêt de l'électro-oculographie en ergonomie.
Revue du corps de Santé 1972, 13, 5, p. 473-495.
- ANGIBOUST R. et HOC J.M., (1975) : Mouvements oculaires et modes opératoires dans une tâche expérimentale de codage.
Le Travail Humain, T 38 n° 2, 1975, p. 193 à 212.
- ASCHOFF J.C., (1970) : Characteristics of voluntary saccadic eye movements and their importance for pilot performance.
26ème Meeting AGARD - Aerospace Medical Manual - FLORENCE - 21, 24 octobre 1969. In AGARD Conference Proceedings n° 61 (9170).
- BELT B.L., (1969) : « Driver eye movement as a function of Low Alcohol Concentration ». The Ohio State University, Driving Research Laboratory, Technical Report, June 1969.
- BHISE V.D. (1971) : *The relationship of eye movements and perceptual capabilities to visual information acquisition in automobile driving.*
The Ohio state University. Ph D. 1971.
- BHISE V.D. and ROCKWELL T.H. (1972) : « Toward the development of a methodology for evaluating highway signs based on driver information acquisition ». *Highway Research Record n° 440 - 1972. Special Issue : Visibility and Driver Information.*
- BLAAW G.J. (1975) : Drivers examining behaviour on some curved and straight road sections.
1er Congrès International sur la Vision et la Sécurité Routière. Prévention Routière, O.M.S. PARIS, Février 1975.
- BLAAW G.J., RIEMERSMAA (1975) : *Interpretation of roadway design by an analysis of drivers' visual scanning and driving behavior on straight and curved roadway sections.*
Institute for perception TNO Soesterberg n° 12 F, 1975-C5.
- BLANCHARD C. (1978) : *Analyse des erreurs dans le processus d'apprentissage de la conduite automobile.*
Doc. ONSER 1978.

- BOUJU F. (1979) : Etude de l'activité visuelle des contrôleurs aéroportuaires.
Communication au Congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française. Paris 1979.
- BUIKUISEN W. and JONGMAN R.W. (1972) : Traffic perception under the Influence of Alcohol.
Quart. J. Stud. Alc. 33 : 800-806, 1972 n° 3.
- BURG A. (1967) : *The relationship between vision test scores and driving record : General findings.*
Report n° 67-24, LOS ANGELES : University of California Department of Engineering, June 1967.
- BURG A. (1968) : *Vision test scores and driving records : additional findings.*
Report n° 68-27, LOS ANGELES : University of California, Department of Engineering, December 1968.
- CLAYTON A.B. (1972) : An accident-based analysis of road user errors.
Journal of Safety Research, 1972, 4, 69-74.
- 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.
- COUNCIL F.M. and ALLEN J.A. Jr (1974) : *A study of the visual field of North Carolina drivers and their relationship to accidents.*
North Carolina University, Highway Safety Research Center, Chapel Hill, North Carolina, 1974.
- DITCHBURN R.W. (1973) : *Eye movements and visual perception.*
Clarendon Press. OXFORD 1973.
- ENGEL F.L. (1971) : Visual conspicuity, directed attention and retinal locus.
Vision Research, 1971, vol. 11, 563-576.
- FORBES T.W. (1972) : *Human Factors in Highway Traffic Safety Research.*
WILEY and SONS, NEW YORK 1972.
- FRY G.A. (1968) : The use of the eyes in steering a car on straight and curved roads.
American Journal of Optometry, June 1968.
- GAARDER K. (1966) : Fine eye movements during inattention.
Nature (G.B.), 209 (20/8) : 3-4 (1966).
- GIOIA A.J. and MORPHEW C.E. (1968) : *Evaluation of Driver Vision.*
General Motor Automobile Safety Seminar, July 1968.
- GIBSON J.J. (1966) : *The Senses considered as Perceptual System.*
Houghton Mifflin Company, 1966.
- GRIZE J.B. et MATALON B. (1962) : Introduction à une étude expérimentale et formelle du raisonnement naturel.
In : Implication, Formalisation et Logique Naturelle, PARIS, PUF 1962, pp. 9-68.
- GOODENOUGH D.R. (1976) : A review of individual differences in field dependence as a factor in auto safety.
Human Factors, 1976, 18, 53-62.

- GORDON D.A. (1966) : Experimental Isolation of Drivers' Visual Input.
Human Factors, April 1966, pp. 129-137.
- GORDON D.A. (1979) : Laboratory Studies of lane occupancy signs,
Public Roads, December 1979, vol. 43, n° 3.
- GRAF et KREBS (1976) : *Headlight factors and nighttime vision*.
Honeywell, Inc, Systems and Research Center.
Reports n° 76 SR C 13 - 1976.
- GUERIN F., PAVARD B., DURAFFOURG J. (1979)
Le travail sur terminal à écran de visualisation dans les imprimeries de presse.
Collection de Physiologie du Travail et d'Ergonomie du C.N.A.M. n° 61, 1979.
- HARTMANN E. (1970) : Driver vision requirements.
International Automobile Safety Conference. NEW YORK S.A.E. Inc. 1970.
- HEINZE W. (1974) : *Zur Methodik der Messung von Blickbewegungen an Piloten, Demonstriert am Beispiel des ILS-Anfluges*.
Tech. Universität BRAUNSCHWEIG. July 1974.
- HELANDER M. et SODERBERG S. (1972) : *Driver visual behavior and electrodermal response during highway driving*.
University of Göteborg. Report n° 4, vol. 2, 1972.
- HENDERSON R.L., BURG A. et BRAZELTON F.A. (1971) : *Development of an integrated vision testing device*.
Phase 1 final Report. TM (L) 4848/000/00. SANTA MONICA - California 1971.
- HENDERSON R.L., BURG A. (1974) : *Vision and Audition in driving*.
Final Report DOT HS, 005/1/009, Santa Monica, California, April 1974.
- HERRIN G.D. and NEUHARDT J.B. (1974) : An empirical model for automobile driver in horizontal curve negotiation.
Human Factors, 1974, 16, 129-133.
- HILLS B.L., BURG A. (1977) : *A reanalysis of California driver vision data general findings*.
TRRL Laboratory Report 768, 1977.
- HOFNER, HOSKOVEC (1975) : *Registrierung der Blickbewegungen des Autofahrers. Ein Review*.
Verkehrspsychologisches Institut. VPI Rapport 1. 1975. VIENNE.
- HULL, R.W., HEMION, R.H., CADENA, D.G., and DIAL, B.C. (1971)
Vehicle Forward Lighting Performance and Inspection Requirements.
Final Report, prepared for the National Highway Traffic Administration. Washington, 1971.
- HUTEAU M. (1975) : Un style cognitif : la dépendance-indépendance à l'égard du champ.
L'Année Psychologique, 1975, 75, 197-262.
- IOSIF G.H. (1971) : Aspects du diagnostic chez les opérateurs aux thermocentrales.
Revue Roumaine des Sciences Sociales 1971, 2, BUCAREST.
- JEANNEROD M. (1974) : Les deux mécanismes de la vision.
La recherche n° 42, Janvier 1974.
- JOHANNSON G. et RUMAR K. (1968) : Visible distances and safe approach Speeds for night driving -
Ergonomics, 1968, vol. 1 pp. 275-282.

- JOHNSTON L.R., WHITE G.R., CUMMING R.W. (1973) : The role of optical expansion patterns in locomotor control.
American Journal of Psychology, 1973, Vol. 86, n° 2, 311-324.
- KALUGER N.A. et SMITH G.L. (1970) : Driver eye-movement patterns under conditions of prolonged driving and sleep deprivation.
Highway Research Record 336, 92-106.
- KAHNEMAN D. (1970) : Remarks on attention control.
Acta Psychologica, 1970, 33, 118-131.
- KOBAYASCHI M. and MURATA T. (1972) : Evaluation of traffic visual environment through drivers' eye fixation.
OCDE Symposium on Road User Perception and Decision Making. ROME. Novembre 1972.
- LECRET F. (1973) : La conduite sur autoroute, effet de signaux lumineux sur le niveau de vigilance.
Communication au 5ème Congrès International d'Ergonomie. AMSTERDAM 1973.
- LECRET F., PIN M.C., CURA J.B., POTTIER M. (1968) : Les variations de la vigilance au cours de la conduite sur autoroute.
Communication au 6ème Congrès de la SELF. PARIS 1968.
- LECRET F. et NIEPOLD R. (1971) : Modifications de la posture du conducteur de poids lourds.
Communication au 3ème Congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française (SELF). LYON 1971.
- LEPLAT J. (1972) : Diagnostic et résolution de problèmes dans le travail. Rapport introductif.
XVII^è Congrès International de Psychologie Appliquée. Actes.
BRUXELLES – EDITEST 1972.
- LEPLAT J. et BISSERET A. (1965) : Analyse des processus de traitement de l'information chez le contrôleur de la navigation aérienne.
Bulletin du CERP 1965 – XIV – N° 1, 3, pp. 51 à 67.
- LEPLAT J. (1968) : *Attention et incertitude dans les travaux de surveillance et d'inspection*.
DUNOD – 1968 – PARIS
- LEPLAT J. et CUNY X. (1977) : *Contrôle de qualité et surveillance*.
Doc. ronéo du Laboratoire de Psychologie du travail de l'E.P.H.E. – Septembre 1977.
- LEVY-SCHOEN A. (1969) : *L'étude des mouvements oculaires. Revue des techniques et des connaissances*.
DUNOD, PARIS 1969.
- MACWORTH N.H. (1950) : *Research on the measurement of Human Performance*.
Medical Research Council. Special Report 268.
- MACWORTH N.H. (1965) : Visual noise causes tunnel vision.
Psychonomic Science, 1965, 3, 67-68.
- MACWORTH N.H. (1967) : A stand camera for line-of-sight recording.
Perception and Psychophysics. 1967, vol. 2, pp. 119-127.
- MACWORTH N.H. and BRUNER J.S. (1970) : How adults and children search and recognise pictures.
Human Development, 1970, 13, 149-177.

- MC KNIGHT A.J. (1971) : *Driver education task-analysis*.
Human Resources Research Organisation.
(HUMRRO), WASHINGTON DC, 1971.
- MC KNIGHT A.J. (1972) : The application of system task-analysis to the identification of driver perception and decision making process.
OCDE. Symposium on Road User Perception and Decision Making
ROME, Novembre 1972.
- MC KNIGHT A.J. (1973) : *Safe performance curriculum*.
Secondary school driver education curriculum.
Developpement and evaluation project. HUMRRO, WASHINGTON DC 1973.
- MEGAW E.D. and RICHARDSON J. (1979).
Eye movements and industrial inspection.
Applied Ergonomics, 1979, vol. 10, N° 3, 145-154.
- MICHAUT, G. (1968) : Etude de la tâche de conduite à l'aide d'une charge de distraction.
Le Travail Humain 1968, T. 31, N° 1-2, pp. 95-110.
- MONSEUR M. (1968) : Effet de la signalisation et de son environnement sur le ralentissement pratiqué par les conducteurs à l'abord des intersections.
Le Travail Humain 1968, N° 1-2, pp. 111-124.
- MOSKOWITZ H, ZIEDMAN K, SHARMA S. (1976) : Visual behavior while viewing driving scenes under the influence of alcohol and Marihuana.
Human factors 1976 - 18 (5) pp. 417-432.
- MOUKHWAS D. (1980) : Les différentes contraintes entrant dans la perception de la signalisation.
Conférence aux journées de Formation continue de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées 10 - 14 mars 1980 - PARIS.
- MOUKHWAS D., FORESTIER M., VERDIER R., LEGABELLEC D. COQUERY G. (1977) : *Evaluation expérimentale de la perception des messages sur différents panneaux de signalisation variable*.
Institut de recherche des Transports. ONSER. Rapport n° 2 « Lisibilité de jour » 1977.
- MOUKHWAS D. et PERROT C. (1978) : A new device for research on visual perception : the liquid crystals tachistoscope.
Ergonomics, 1978 Vol. 21, N° 4 pp. 309-312.
- MOURANT R.R. and ROCKWELL T.H. (1970 a) : Mapping eye movement patterns to the visual scene in driving : an exploratory study.
Human Factors, 1970 - 12 (1) pp. 81-87.
- MOURANT R.R., ROCKWELL T.H., RACKOFF M.J., (1970 b) : Drivers' eye movements and Visual workload.
Highway Research Record N° 247.
- MOURANT R.R. and ROCKWELL T.H. (1972) : Strategies of visual search by novice and experienced drivers.
Human Factors. 1972, 14 325-335.
- MOURANT R.R., DOMONUE 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. (1975) : *Analyse et tentative de pédagogie expérimentale des activités prévisionnelles du conducteur.*
Convention d'étude SETRA/ONSER. Rapport n° 184 - Mai 1975.
- NEBOIT M. (1976) : *Note technique sur l'utilisation du NAC EYE MARKER en conduite automobile.*
(rapport n° 275 - ONSER 1976).
- NEBOIT M. (1977 a) : « L'analyse psychologique des tâches, et de la définition des objectifs de la formation ».
in : BLANCHARD C. et NEBOIT M. : « La formation du conducteur, approche psychopédagogique de l'enseignement de la conduite automobile ». Cahier d'étude n° 41 - ONSER, Mai 1977.
- NEBOIT M. (1977 b) : *L'enregistrement de la direction du regard des pilotes d'avions. Une technique d'analyse de la préhension des données par l'opérateur humain.*
Doc. ONSER - Mars 1977.
- NEBOIT M. (1978) : *L'analyse des stratégies de fixation oculaire en situation simulée. de dépassement. Comparaison débutants-expérimentés.*
Doc. ronéo ONSER - Juin 1978.
- NEBOIT M. (1979) : *Analyse de l'évolution des stratégies visuelles avec l'apprentissage dans une tâche de contrôle de trajectoires en ligne droite.*
Doc. ronéo ONSER n° 441 - Avril 1979.
- NEBOIT M. (1980 a) : *L'interprétation des paramètres de l'exploration visuelle dans des tâches complexes.*
Communication aux journées « Exploration visuelle et prise d'information » de l'Institut National de Recherche en Informatique et Automatique. Janvier 1980.
- NEBOIT M. (1980 b) : *L'enregistrement du regard : une méthode d'analyse des informations visuelles utilisées par le conducteur.*
Conférence aux journées de Formation Continue de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées - 10-14 Mars 1980.
- NEBOIT M. (1980 c) : *L'exploration visuelle dans l'apprentissage de tâches complexes. L'exemple de la conduite automobile.*
Thèse de doctorat de 3ème cycle. Université René Descartes.
Sorbonne - Décembre 1980.
- NEBOIT M. (1981) : *Les stratégies visuelles du conducteur : rôle de l'apprentissage et de l'expérience.*
Cahier d'étude ONSER (à paraître 1981).
- NEBOIT M., LAYA O., (1980) : *L'enregistrement de la direction du regard du conducteur. Note technique -*
Avril 1980 - ONSER.
- NEBOIT M., PAPIN J.P., POTTIER A., PUIMEAU-CHIEZE J.P., VIARD. (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.
- NOIZET G. (1975) : *Les perceptions.*
Bulletin de Psychologie - N° 314 - 1 - 6 - 1974/1975.
- OYAMA T. and AOKI N. (1974) : *Reduction of acuity in a brightness contrast situation.*
Vision Research, 1974, 14, 267-269.

- 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.
L'année Psychologique, 1970, N°2, pp. 487-504.
- PARKER J.F., GILBERT R.R., DILLON R.F. (1968) : *Effectiveness of three visual cues in the detection of rate of closure at night.*
Biotechnology Inc. 3027 Rosemary Lane, Falls Church, Virginia.
- PARROT J., BAUMSTIMLER Y. (1965) : Evolution du clignement palpébral au cours de l'exécution prolongée d'une tâche d'attention visuelle soutenue.
Communication au 3ème Congrès de la SELF. PARIS 1965.
- PAVARD B., BERTHOZ A., LESTIENNE F. (1976) : Rôle de la vision périphérique dans l'évaluation de mouvements linéaires. Interaction visuo-vestibulaire et effet posturaux.
Le Travail Humain tome 39 - N° 1 - 1976, pp. 115 à 138.
- PERCHONOK K. (1972) : *Accident cause analysis.*
BUFFALO - Cornell Aeronautical Laboratory.
Report n° 2 M 5010 V3 - NTIS N° PB 212 830 (1972).
- PIRENNE M.H. (1967) : *L'œil et la vision.*
Traduit de l'anglais par R. CROUZY. GAUTHIER-VILLARS - Editeur - Paris - 1972.
- 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.
- RIMOLDI H.J.A. (1963) : Processus de décision et fonctions mentales complexes.
Revue de Psychologie Appliquée. 1963 vol. 13 N° 2 pp. 65-81.
- ROBINSON G.M., CLARK R.L., ERIKSON D.J. (1972) : Visual search by automobile driver.
Communication au « Symposium on Psychological Aspects of Driver Behaviour ». (1972).
- ROCKWELL T.H. (1972) : Eye movement analysis of visual information acquisition in driving : on overview.
6ème conférence de l'Australian Research Board. Camberra. August 1972.
- ROCKWELL T.H., OVERBY C., MOURANT R.R. (1968) : Drivers' eye movements. An apparatus and calibration.
Highway Research Record. N° 247, 1968 pp. 28-41.
- ROCKWELL T.H., BALA K.N., HUNGERFORD J.C. (1976) : *A comparison of lighting, signing and pavement marking methods for detecting rural intersections at night.*
Project EES 434 - Final Report.
Ohio State University - Columbus - OHIO 43210.
- ROCKWELL T.H., BALASUBRAMANIAN K.N., KRETOWICS T., WILPONG E. (1977) : *The utility of peripheral vision to motor vehicle Drivers.*
Ohio State University, Columbia.
Report : DOT HS 803 224 - August 1977.
- ROZESTRATEN J.R. (1980) : *La dépendance-indépendance à l'égard du champ et le comportement du conducteur.*
Doc. ronéoté ONSER 1980.
- RUMAR K. (1980) : Visual tasks in night driving.
Communication au 2ème congrès international sur la vision et la Sécurité Routière. Paris.
Novembre 1980.

- RUTLEY K.S. (1972) : An eye mark camera for use in driver behavior study.
Medical and biological Engineering. 1972-N° 10, pp. 101-103.
- RUTLEY K.S., MACE D. (1968) : *A preliminary investigation into the frequency of driver motor actions and eye movements*.
Road research Laboratory report LR 162 - 1968 CROWTHORNE.
- SAILOR A.L. (1973) : Effect of practice on expansion of peripheral vision.
Perceptual and Motor Skills. 1973, 37, 720-722.
- SCHMIDT I. (1961) : Are meaningful night-vision tests for drivers feasible ?
American Journal of Optometry, 1961, 38, 295-348.
- SCHMIDT I. (1966) : *Visual considerations of man, the vehicle and the highway*.
Part. I. Société of Automotive Engineering. Report SP 279, Mars 1966.
- SCHROEDER S.R., ALLEN J.A., BALL P.G., (1973) : *Effects of Head Restriction on drivers' Eye Movements and Errors In Simulated Dangerous situations*.
University of North Carolina Highway Safety Research Center. Chapel Hill, North Carolina.
- SCHROEDER S.R., EWING J.A., ALLEN J.A. (1974) : Combined Effects of Alcohol with Metapyrilene and chlordia-zepoxide on driver Eye movements and errors.
Journal of Safety Research, 1974, 06, vol. 6, N° 2.
- SENDERS, J.W. (1967) : The attentionnal demand of automobile driving.
Highway Research Record. 1967, N° 195, 15-53.
- SENDERS J.W., WARD J.L. (1968) : *Additional studies on driver information processing*.
Office of Research and Development. Bureau of Public Roads.
Report n° 1738 WASHINGTON Dc 20235, 1968.
- SHINAR D., (1976) : The effects of age on simple and complex visual skills.
Communication présentée au Congrès annuel de la Western Psychological Association.
LOS ANGELES 1976.
- SHINAR D., (1977 a) : *Driver visual Limitations Diagnosis and treatment*.
Final report DOT HS 5 1275, May 1977. Institute for Research in Public Safety. Indiana
University BLOOMINGTON Indiana 47, n° 1.
- SHINAR, D. (1977 b) : Curve Perception and Accidents in Curves : An illusive curve Phenomenon ?
Zeitschrift für Verkehrsicherheit. 23 (1977); 1, 17-21.
- SHINAR, D., MC DOWELL E.D., ROCKWELL T.H. (1977) : Eye movements in curve negotiation.
Human Factors 1977, 19 (1), 63-71.
- SHINAR, D., MC DOWELL E.D., RACKOFF N.S., ROCKWELL T.H. (1978) : Field-Dependance and driver Visual Search behavior.
Human Factors, 1978, 20 (5), 553-559.
- SMEED, R.J. (1953) : « Some factors affecting visibility from a drivers' seat and their effect on road Safety ». *British Journal Of Physiological Optics*, 1953, 10.
- SPERANDIO J.C. (1980) : *La psychologie en Ergonomie*.
PUF 1980, PARIS.

- TRONICK E. (1972) : Stimulus control and growth of the infant's effective visual field.
Perception and Psychophysics, 1972, Vol. 11 (5), 373-376.
- UNIVERSITE DE COLUMBUS - OHIO (1969) : *Specifications for Partially Automated Control Systems for the Driver*.
Report n° EES 2.77.B.3, Engineering Experiment Station. The OHIO STATE UNIVERSITY -
COLUMBUS, OHIO.
- VERRIEST, C. ; NEUBAUER, O. ; MARRE, M. ; UVJILS, A. ; (1980)
New investigations about the relations between congenital colour vision defects and road
traffic security.
Arts en Auto, n° 6, 15 Mars 1980 pp. 498-504.
- VIDAL-MADJAR, A. et LEVY-SCHOEN, A. (1980) : L'exploration oculaire est-elle un bon témoin de la prise d'infor-
mation et de son traitement ?
Premier Congrès de Psychologie du Travail de Langue Française, PARIS, 13/16 Février 1980.
- VURPILLOT E. (1969) : Activité oculomotrice et activité cognitive.
Bulletin de Psychologie, 1969, Vol. XXII, pp. 660-667.
- VURPILLOT E., CASTELLO., RENARD C. (1975).
Extension de l'exploration visuelle et nombre d'éléments présents sur des stimulus dans une
tâche de différenciation perceptive.
L'Année Psychologique, 1975, 75, pp. 355-373.
- WALDRAM, J.M. (1960) : « Vision and Eye movements of motor drivers ».
The New Scientist, vol. 8 n° 708, 10 Novembre 1960.
- WHALEN, J.T., ROCKWELL, T.H., MOURANT, R.R. (1968) : *A pilot study of drivers' eye movements*.
The ohio state university, COLUMBUS OHIO, Report n° EES 277-1, 1968.
- WHITE C.T. and FORD A. (1960).
Eye movements during simulated radar search.
Journal of the Optical Society of America, Vol. 50, n° 9.
Septembre 1960, pp. 909-913.
- WILLIAMS H.L., LUBIN, A. et GOODNOW, J.J. (1959) : Impaired performance with acute sleeploss.
Psychological Monographs, 73, N° 14.
- WITKIN, H.A., LEWIS, H.B., HERTZMAY, M., MACHOUER, K., MEISSNER, P.P., WAPNER, S. (1954)
Personality through perception, NEW YORK Harper, 1954.
- 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.F. (1969) : *Driver eye-movements as a function of driving experience*.
Technical Report IE, 16, Engineering Experimental station, OHIO State University.
COLUMBUS, 1969.

