



**CAHIERS
D'ÉTUDES**

*Cahier d'Etude n° 57
Septembre 1982*

**INTÉRÊT ET LIMITES DE LA SIMULATION
DANS LES ETUDES SUR LE COMPORTEMENT
DES CONDUCTEURS**

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 .

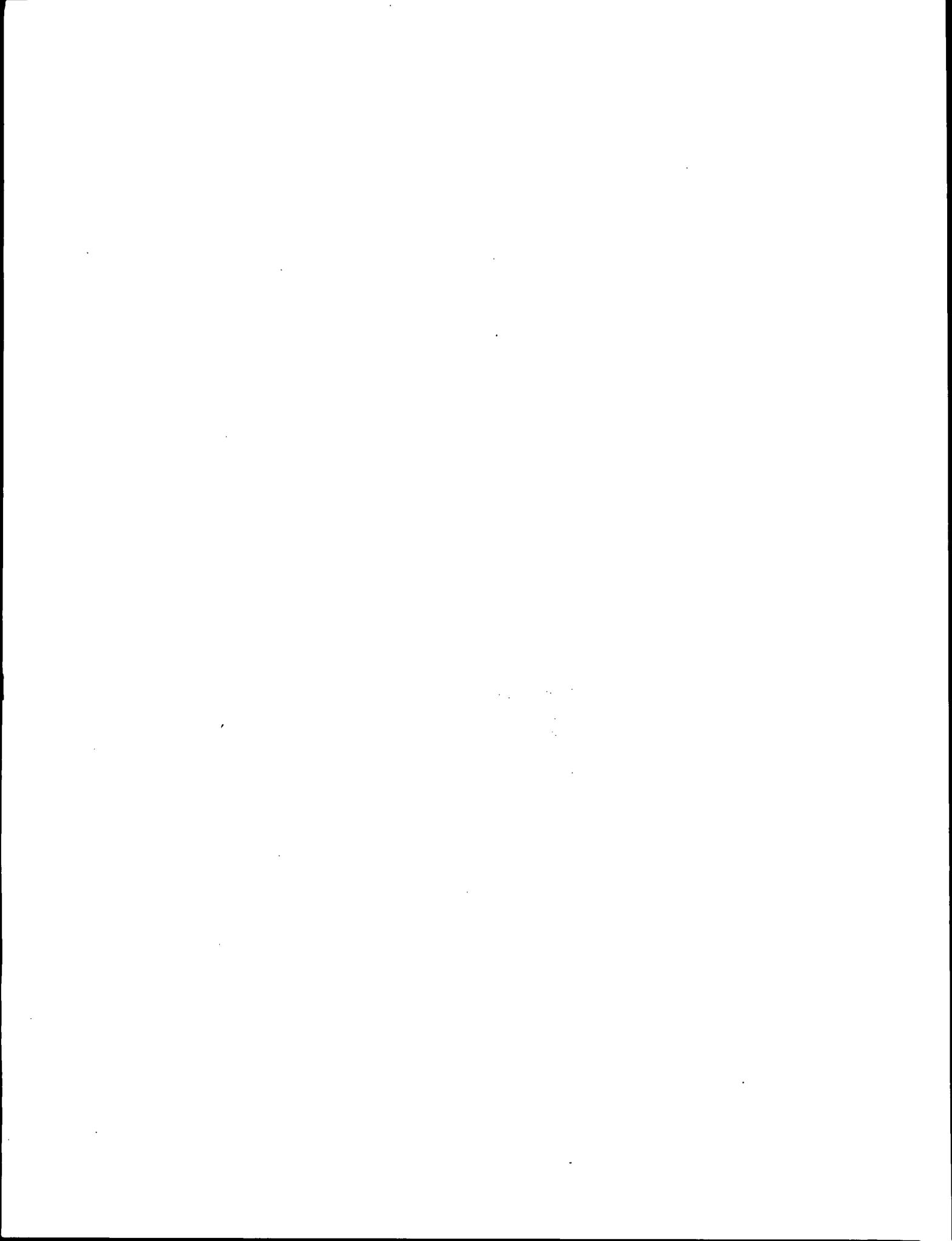
2, avenue du Général-Malleret - Joinville, 94114 Arcueil Cédex.

**INTÉRÊT ET LIMITES
DE LA SIMULATION DANS LES ETUDES
SUR LE COMPORTEMENT DES CONDUCTEURS**

ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

*M. NEBOIT, Docteur en psychologie Chargé d'études
et O. LAYA, Assistant d'Etudes
Laboratoire de Psychologie de l'ONSER*

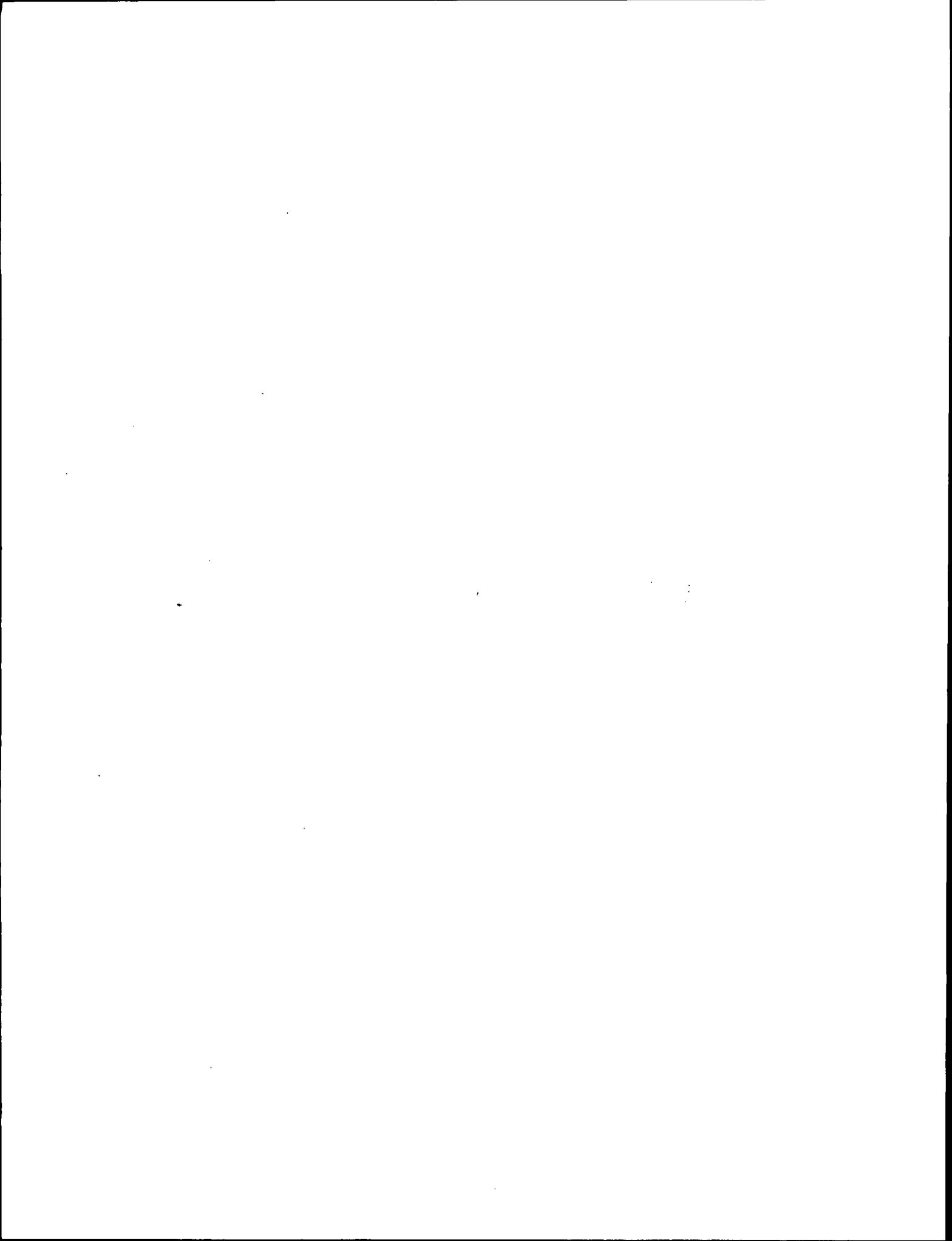
*Etude réalisée de 1980 à 1982 pour le compte de la Direction des Routes et de la Circulation Routière
(DRCR), dans le cadre d'une convention avec le Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes
(S.E.T.R.A.)*



**INTERET ET LIMITES DE LA SIMULATION
DANS LES ETUDES SUR LE COMPORTEMENT DU CONDUCTEUR**

PLAN DU RAPPORT

	Pages
RESUME	1
ABSTRACT	2
INTRODUCTION	3
I – PLACE DE LA SIMULATION DANS L'ANALYSE DU COMPORTEMENT DU CONDUCTEUR : DE LA ROUTE AU LABORATOIRE	4
1. L'observation sur route à l'extérieur du véhicule	4
2. L'observation sur route avec l'aide d'un véhicule - laboratoire	5
3. Etudes sur piste	5
4. Etudes en laboratoire	6
– simulation partielle	6
– simulation globale	7
5. Problèmes méthodologiques, recherche de l'équivalence terrain-laboratoire	7
II – APPORTS DE LA SIMULATION DANS L'ETUDE DU COMPORTEMENT VISUEL DU CONDUCTEUR	9
1. Simulation par photographies fixes	9
2. Simulation par films	11
3. Simulateurs utilisant le support filmique	11
4. Simulateurs à images vidéo (calculée ou sur maquette)	12
III – EXIGENCES D'UNE SIMULATION DE LA CONDUITE POUR DES ETUDES DES ACTIVITES PERCEPTIVES DU CONDUCTEUR	13
1. Définition de l'image	14
2. Champ horizontal important	15
3. Variations angulaires relatives respectées	15
4. Prise de vue de la place du conducteur	15
5. Asservissement de l'image au contrôle du volant	16
IV – CONCLUSION : PERSPECTIVES ENVISAGEES	16
1. Les objectifs de la simulation	16
2. Les domaines d'étude intéressés	17
3. "Simulateur total" ou "simulations partielles"	18
4. Système de recueil, d'analyse et de traitement des données	18
ANNEXE	20
BIBLIOGRAPHIE	23



RÉSUMÉ

Le comportement du conducteur a fait l'objet de différentes études utilisant des méthodes extrêmement diverses : observations sur route, comptages, observations dans un véhicule laboratoire pouvant lui-même évoluer sur la route ou sur piste, simulations des plus simples aux plus complexes.

La première partie du rapport présente rapidement les différentes méthodes et situe la simulation comme méthode de laboratoire permettant de façon la plus commode le **contrôle des variables de la situation.**

La nécessité d'une validation de la simulation est soulignée, aussi bien dans le cadre d'études de la tâche, que dans le cas de réalisations de simulations pédagogiques.

Dans la deuxième partie, différentes méthodes de présentation de l'information visuelle sont analysées sous l'angle de leur validité et de leur équivalence avec la situation réelle. Ce qui amène à préciser l'intérêt spécifique de chaque méthode pour différents objectifs d'études.

En troisième partie sont présentées les exigences minimales d'une simulation par film.

En conclusion, différentes perspectives d'étude en situations simulées sont envisagées.

ABSTRACT

Drivers' behaviour has been studied through very different methods : on-the-road analysis, instrumented car on the road or on a driving area, simulators.

The first part of the report summarizes the different methods used and defines the simulation as the more useful in experimental studies. The necessity of an experimental mesure of the validity of the simulation is emphasized in both cases : simulation for task analysis and simulation for pedagogy.

In the second part, different visual displays are analysed with regard to their similarity with real world driving. These considerations lead to specify the usefulness of different methods according to specific areas of research.

The third part of the report presents the minimal requirements for a simulation with moving picture.

As a conclusion, the last part presents various possible studies which could benefit from simulation techniques.

INTRODUCTION

Un grand nombre de chercheurs orientés vers l'étude des problèmes de sécurité routière ont exprimé la nécessité de disposer de situations simulées, pour plusieurs raisons (MICHAUT, 1970) :

- L'expérimentation sur le terrain est souvent difficile pour des raisons matérielles et situationnelles : liberté d'intervention sur la voie publique entre autres.
- L'expérimentation sur la route ne permet pas le contrôle des différentes variables entrant en jeu dans la conduite automobile, ces variables étant constamment en interaction, ce qui rend difficile une analyse des rôles spécifiques de chacune d'elles.
- Certaines situations (quasi accidents par exemple) posent des problèmes insolubles quand on cherche à les analyser finement.

Par contre, en principe, l'analyse du comportement du conducteur en situation simulée permet plus facilement (FOX, 1960) :

- Des études que l'on pourrait difficilement pousser très loin (études sur l'effet de l'alcool, des drogues, de la fatigue), de situations potentiellement dangereuses.
- Un contrôle plus strict des variables en jeu.

Enfin, comme le précise MICHAELS (1960), " le fait de posséder un instrument de recherche perfectionné fera progresser la recherche elle-même, qui deviendra sans doute plus élaborée ".

L'intérêt porté à la simulation n'est donc pas nouveau. Des études bibliographiques déjà anciennes, mais fort complètes ont été faites par l'O.N.S.E.R. (MICHAUT, 1970, sur la simulation en général ; NEBOIT, 1977 sur son application à l'enseignement de la conduite automobile).

Nous envisageons ici un point de vue un peu différent en posant non seulement le problème des simulateurs, mais aussi celui, plus général, de la simulation, et en ajoutant des données plus récentes sur le plan technologique et sur le plan des résultats, concernant la simulation comme moyen d'étude de la conduite automobile.

Nous verrons donc, successivement, la place des systèmes de simulation dans l'ensemble des méthodes d'analyse du comportement du conducteur (Chapitre I). Puis des études présentant les résultats les plus récents sur la simulation seront analysés en ce qu'elles apportent à l'étude du comportement visuel du conducteur (Chapitre II).

Nous chercherons à définir les exigences d'une simulation comme moyen d'étude des activités perceptives du conducteur (Chapitre III).

Enfin, en conclusion, nous préciserons les axes d'étude qui pourraient bénéficier d'analyses en situation simulée, en précisant les voies d'approche les plus prometteuses et les contre-indications les plus nettes.

I - PLACE DE LA SIMULATION DANS L'ANALYSE DU COMPORTEMENT DU CONDUCTEUR : DE LA ROUTE AU LABORATOIRE

La complexité du comportement du conducteur et de son action sur le système véhicule-route, a amené plusieurs voies d'analyse de l'interaction conducteur - véhicule - environnement.

Dans l'ensemble des méthodes d'étude du comportement du conducteur, on peut définir deux extrêmes : **la recherche sur le terrain**, se caractérisant par une analyse " in situ " et **la recherche en laboratoire** dans laquelle on étudie le comportement sur des dispositifs simulant un ou plusieurs aspects de la tâche de conduite.

En s'inspirant de SHINAR, D. (1978), on peut distinguer :

- Les **observations sur route, de l'extérieur du véhicule**, le conducteur n'étant pas averti que son comportement est analysé.
- Les **observations sur route, avec un véhicule-laboratoire**, le conducteur conduisant un véhicule instrumenté permettant d'enregistrer différentes manifestations comportementales.
- Les **études en situation simulée sur piste**.
- Les **études en laboratoire** qui comprennent :
 - . Les **simulations partielles** mettant en jeu des tâches isolées du contexte global de la conduite.
 - . La **simulation globale** utilisant les simulateurs au sens strict.

1) L'observation sur route à l'extérieur du véhicule

Plutôt que d'attendre pendant plusieurs années pour évaluer l'impact du marquage au sol sur la fréquence des accidents dans une courbe, SHINARD, et col (1975) enregistrent les vitesses des conducteurs entrant dans une courbe, **avant puis après** modification du marquage. Les auteurs notent une légère diminution de vitesse, ce qui était l'objectif du nouveau marquage.

Une autre technique a été proposée par PERKINS (1969) et fait l'objet d'études à l'O.N.S.E.R. (MALATERRE et col 1979) et consiste à mesurer et à classer les conflits entre véhicules (ou piétons) sur un point singulier. C'est la méthode des " conflits de trafic ", l'hypothèse étant que l'analyse des conflits peut donner une idée du niveau de danger au point analysé, dans la mesure où les mêmes facteurs seraient responsables des presque accidents et des accidents.

Cette hypothèse a été soutenue par OLDER et SPICER (1976) qui ont montré une forte corrélation entre le nombre de blessés dans des accidents et les conflits graves analysés sur 6 intersections. L'analyse détaillée des conflits peut aussi fournir un aperçu des problèmes rencontrés par les conducteurs, et des contre-mesures éventuelles : par exemple BAKER (1972) a pu montrer que, à la suite d'une étude de ce type, des signalisations d'intersections rurales réduisaient les conflits entre véhicules.

La méthode générale qui consiste à observer sur un point singulier le comportement de conducteurs non avertis a donc donné lieu à de nombreuses études qu'il nous serait impossible de mentionner ici.

Nous retiendrons que cette pratique peut être le point de départ d'expérimentations plus poussées qui serviront alors à vérifier une hypothèse issue de ces observations, mais aussi peut servir de vérification finale d'une hypothèse vérifiée en laboratoire, car finalement c'est bien la situation en terrain qui est l'objet d'étude même si son analyse nécessite provisoirement un détour par le laboratoire.

2) Les observations sur route avec l'aide d'un véhicule-laboratoire

Certaines variations comportementales, ou plutôt certains paramètres explicatifs des variations comportementales sont difficilement analysables " de l'extérieur " et leur étude nécessite le recours à des instruments de mesure plus précis. C'est le cas, par exemple, des variations de vigilance, du comportement visuel, des variations de rythme cardiaque etc...

C'est ce qui a amené des équipes de recherche à aménager des véhicules instrumentés (MICHAUT G. 1962, PLATT F.N. 1970, HELANDER et SODERBERG 1972, I.R.T., 1976 ; T.N.O., 1978, entre autres).

Des capteurs et enregistreurs installés dans la voiture sont capables d'enregistrer aussi bien les **paramètres de l'environnement** (par caméra par exemple), les **paramètres des véhicules** (mouvements du volant et des différentes commandes, accélérations longitudinales et latérales), que les **paramètres du conducteur** (électro-encéphalogramme, électro-dermogramme, rythme cardiaque, etc...).

Un tel système d'analyse permet de faire des descriptions très complètes et synchrones, des éléments de la route, du trafic, des réactions du véhicule, et des actions du conducteur.

Plus récemment, des études des mouvements des yeux représentent une technique extrêmement élaborée pour analyser le " comportement visuel " du conducteur. Grâce à ces techniques, on a pu montrer le rôle, sur le comportement visuel, de la structure de la route (COHEN et STUDACH, 1977) de la fatigue (KALUGER et SMITH, 1970), de l'alcool (BELT, 1969, BUIKUISEN et JONGMAN, 1972 ; MOSKOWITZ, 1976) de l'inexpérience (ZELL, 1969 ; MOURANT et ROCKWELL, 1972 ; NEBOIT 1978, 1979), de la charge de travail (NEBOIT, 1980).

D'une façon générale la diffusion de la miniaturisation des systèmes électroniques et l'analyse on-line devraient permettre l'équipement de véhicules expérimentaux qui devraient présenter une sophistication assez poussée pour permettre d'enregistrer le maximum de paramètres, tout en gardant la souplesse nécessaire à la multiplicité des objectifs exigés, en permettant une manipulation aisée et des traitements rapides de données.

3) Les études sur piste

Un des inconvénients de l'analyse sur route, même avec un véhicule équipé, est la difficulté de standardisation des situations de conduite et l'impossibilité d'analyse séparée des divers facteurs mis en jeu. La solution passe alors par la simulation, que celle-ci soit une simulation au sens strict, ou l'analyse de situations standardisées sur piste. Dans ce cas on peut contrôler les variables en jeu dans la situation, en réduisant le nombre des facteurs et en provoquant des situations choisies et distribuées dans un plan expérimental.

Par exemple BHISE (1971) analysant le rôle de la charge visuelle fovéale sur la détection de variations de vitesse en périphérie a pu mettre en évidence, grâce à des situations simulées sur piste une détérioration de la performance de détection de variation de vitesse en périphérie sous l'effet d'une charge fovéale.

De même des analyses comparées des mouvements oculaires des conducteurs expérimentés et des conducteurs débutants, en situation simulée de dépassement sur piste, ont fait apparaître des différences au niveau des modes d'exploration de ces deux catégories de conducteurs (NEBOIT, 1978).

On peut considérer que la simulation de situations de conduite sur piste reste une des méthodes de recherche importante et nécessaire dans le domaine de l'étude de la conduite des véhicules. C'est de plus une méthode intermédiaire entre l'analyse sur route réelle et la simulation stricto sensu, et qui, à ce titre, peut apporter des éléments importants au niveau de la validation partielle des simulations. Malheureusement, le coût de telles simulations sur piste devient vite important puisqu'elles exigent des infrastructures lourdes, plusieurs véhicules (dont un véhicule équipé), plusieurs personnes au volant des véhicules simulant le trafic et provoquant les situations recherchées.

4) Les études en laboratoire

Toute étude hors de l'environnement réel peut être considérée comme une simulation.

Une première démarche consiste à essayer de généraliser les résultats des recherches de base sur le comportement humain, obtenus en laboratoire, en les appliquant au comportement du conducteur sur la route. Ce mode d'approche permet dans une première étape de classer et de sérier les problèmes, de donner un cadre général à l'analyse proposée. Mais l'application ne peut se faire directement.

Une autre approche consiste à isoler certains paramètres du système routier, à les reproduire sur des structures de simulation, et à confronter le conducteur à la tâche ainsi "reconstruite". Il est d'ailleurs possible de simuler tout ou partie de la tâche, ce qui amène à la distinction faite couramment, entre **simulation partielle** et **simulation globale** (MICHAUT, 1970 ; NEBOIT, 1978).

La simulation partielle

La simulation partielle a été développée pour analyser des aspects limités du comportement du conducteur. Par exemple, on peut étudier, l'activité de contrôle de trajectoire contraignante sur piste, sans qu'intervienne d'autre élément de l'environnement routier habituel (signalisation, autres véhicules). En faisant un pas de plus, on peut assimiler la tâche de conduite à une activité de poursuite et faire effectuer une tâche de pistage sur un dispositif comparable aux jeux électroniques de "courses automobiles".

La reproduction de quelques uns des éléments de la conduite a guidé une recherche menée par STEPHENS et MICHAELS (1964) qui cherchent à analyser la tâche de conduite comme la résultante de 2 tâches : guidage d'un mobile et reconnaissance de signaux. Le sujet doit, à la fois, effectuer une tâche de poursuite d'une cible sur un écran cathodique et détecter des signaux apparaissant sur un écran. Les auteurs montrent que l'accomplissement de la combinaison des deux tâches donne des résultats plus mauvais que l'exécution d'une seule, que le temps de détection des signaux décroît si la vitesse de poursuite augmente, et que la tâche de poursuite n'est pas affectée par un accroissement du nombre de signaux présentés. Ce résultat montre, entre autre chose, que la tâche de maintien de trajectoire est considérée comme prioritaire par le conducteur par rapport au décodage de signaux. En conséquence toute augmentation du nombre de signaux entraîne un "plafonnement" de la tâche de détection mais n'affecte pas (ou peu) le contrôle de trajectoire. Ces résultats pourraient déjà être appliqués directement à l'étude de l'implantation de signalisation sur la route. Donc même une tâche simplifiée peut permettre d'obtenir des résultats importants définissant une loi générale qu'il s'agira d'affiner dans sa manifestation en situation réelle.

D'autres simulations partielles reproduisant l'environnement visuel selon différentes techniques (diapositives, films), seront analysées dans la chapitre III.

La simulation globale

La tentation est forte de vouloir simuler un environnement plus complexe et plus "proche de la réalité", incluant l'ensemble des différentes composantes de la situation routière : environnement visuel, environnement auditif, environnement kinesthésique ; c'est l'objectif visé par les simulateurs.

La recherche de l'exhaustivité en matière de simulation a amené un courant de réalisations de simulations hautement sophistiquées, techniquement très raffinées, qui visent à une reproduction aussi exhaustive et fidèle que possible de la réalité.

Différents cas de figures sont possibles, l'environnement visuel étant présenté par films ou par image T.V., la base du simulateur étant fixe ou mobile, l'ensemble étant interactif ou non (voir chapitre III).

Il faut noter que le coût de tels simulateurs, la complexité de leur fonctionnement, la lourdeur de leur utilisation et de leur entretien, les rend souvent difficilement utilisables et les résultats sont souvent peu nombreux en comparaison du coût de leur réalisation.

Comme le souligne MICHAUT (1970) : "s'il est vrai sans doute que qui peut le plus peut le moins, un simulateur exhaustif serait apte à toute recherche. En attendant de le posséder, et compte tenu des budgets disponibles, la nature de la simulation dépendra des études que l'on se propose d'entreprendre".

5) Problèmes méthodologiques, recherche de l'équivalence terrain-laboratoire

a) Conception de la simulation

En principe, la réalisation d'une situation simulée exige que l'on connaisse la tâche à simuler et l'ordre d'importance des différents facteurs susceptibles d'influencer sa réalisation. Or le but de la simulation est précisément aussi d'analyser la tâche. On se trouve alors devant le paradoxe suivant (LEPLAT, 1978) que ce sont précisément les difficultés d'analyse sur le terrain qui ont motivé le recours à la simulation. Ce paradoxe peut être levé partiellement si on accepte que les connaissances de la tâche, à un moment donné de l'étude, permettent de construire une situation simulée, et que c'est précisément dans la mesure où l'opérateur mettra en jeu des activités comparables, prévisibles par hypothèse, que la simulation sera correctement conçue, ce qui valide l'hypothèse qui est à l'origine de la conception d'une simulation donnée.

La simulation, comme la construction de toute tâche de laboratoire, devrait donc être conçue en soi, comme un "test d'hypothèses" issues d'un cadre théorique, descriptif de la tâche réelle analysée.

b) Validité de la simulation

Le problème posé lors des études en situations simulées est de savoir dans quelle mesure les résultats trouvés en situation simulée, sont transférables (applicables) à la situation réelle. Ou, en d'autres termes quelle est la validité de la simulation. Ce problème est effec-

tivement le plus important et il est le plus souvent résolu (quand il l'est !) cas par cas.

Une première démarche possible est de ne considérer comme valides des résultats obtenus en situation simulée, que s'ils se vérifient en situation réelle. C'est la **validation par comparaison** (HULBERT et WOJCIK, 1968) dans laquelle on compare les performances d'un sujet en situation réelle et en situation simulée. Mais on retombe rapidement dans le paradoxe évoqué plus haut puisque bon nombre de simulations globales sont réalisées parce que l'analyse en situation réelle est impossible. Par contre, les simulations partielles sont justifiables au moyen de cette comparaison. On peut alors être amené à faire des inférences qui permettent d'affirmer la validité sous condition de l'impossibilité de prouver la non-validité.

C'est ce que proposent HULBERT et WOJCIK (1960) sous le terme de **validation indirecte**, qui consiste à faire une extrapolation des résultats obtenus, en supposant qu'il n'existe pas de raison suffisante empêchant cette extrapolation.

Enfin, une **validation sur des critères à long terme** peut être nécessaire (mais est parfois difficile), consistant à vérifier par exemple, une diminution du taux d'accidents après modifications de la structure routière suggérée par une étude en situation simulée (SHINAR, 1977).

c) L'équivalence terrain-laboratoire

Finalement, les deux problèmes évoqués plus haut renvoient, de façon plus générale, à ce que LEPLAT (1978) appelle le problème de l'équivalence entre situation de laboratoire et terrain.

L'analyse de LEPLAT définit les traits distinctifs des situations de laboratoire et de terrain, que l'on peut appliquer à l'étude de la conduite automobile.

- Les **conditions sociales** de la production du comportement sont, au moins partiellement, éliminées de la situation de laboratoire, encore qu'ici soit possible de simuler en laboratoire des variables utilisées par la psychologie sociale.
- Les **variables temporelles** sont difficilement intégrables en situation de laboratoire : par exemple longues durées de conduite, fatigue, apprentissage. Dans ce cas, on ne peut le plus souvent procéder que par échantillonnage temporel mais l'intervention expérimentale fractionnée dans le temps peut provoquer des changements comportementaux importants (cas de la vigilance).
- Les **tâches** sont le plus souvent **simplifiées**, et circonscrites ce qui est surtout vrai dans le cas de simulations partielles.
- La **situation en laboratoire change la relation sujet-tâche**, bien que cette réserve soit vraie pour toute situation où le sujet se voit observé.

Inversement toujours selon LEPLAT, l'équivalence terrain-laboratoire peut être trouvée à différents niveaux.

- L'**apparence du dispositif**, par exemple l'utilisation d'un poste de conduite du véhicule a souvent servi de critère de validité de la simulation, ce critère n'étant évidemment pas suffisant à lui seul.
- Le **fonctionnement du dispositif** et des règles de fonctionnement comparables en situa-

tion réelle et en situation simulée apporte un progrès sensible.

- La tâche et ses exigences sont un critère d'équivalence important, mais il faut garder à l'esprit qu'une même tâche peut susciter des conduites différentes ce qui amène à préciser les activités mises en jeu.
- Les activités mises en jeu sur la tâche simulée sont un critère d'équivalence important dans la mesure où le sujet peut effectuer une tâche "extérieurement" équivalente en mettant en jeu des activités différentes.
- Les mécanismes mis en jeu sont enfin "le critère ultime d'équivalence pour le psychologue" puisqu'ils vont conditionner l'apparition de conduites différentes.

Nous n'avons pu qu'évoquer brièvement les critères d'équivalence utilisables dans une analyse comparée des situations de simulation par rapport aux situations de terrain.

Ces considérations nous paraissent néanmoins nécessaires pour clarifier le problème et pour dessiner un cadre général qui permette une orientation fondée d'une simulation ayant pour objectif l'analyse des composantes psychologiques du système homme-véhicule-environnement.

II – APPORTS DE LA SIMULATION DANS L'ETUDE DU COMPORTEMENT VISUEL DU CONDUCTEUR

Nous envisageons, sous ce chapitre, les différents types de simulation axés sur l'analyse des tâches perceptives en conduite, en les regroupant artificiellement sous des classes « techniques » : simulation par diapositives, par films, simulateurs cinématographiques, simulateurs vidéo. Pour chaque procédé ou simulation, nous essaierons de justifier les inconvénients et avantages dans l'analyse des activités du conducteur.

1) Simulation par photographies fixes

Dans de nombreux pays, on considère que la réponse verbale après présentation de questions sur une diapositive représentant une situation de conduite prise du volant d'un véhicule, est un procédé suffisant pour révéler les connaissances, ou les lacunes, concernant l'utilisation du code de la route.

Si cette application a souvent été justifiée par le "réalisme" de la situation, elle a rarement fait l'objet d'études poussées sur le degré d'équivalence avec la situation concrète de conduite. Néanmoins, certaines études permettent de penser que l'utilisation de photographies fixes, malgré les limites évidentes, peut révéler certains aspects des processus perceptifs mis en jeu dans la conduite automobile.

Dans une étude de l'O.N.S.E.R., 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 d'ailleurs préciser que, de façon générale, les résultats d'étude en situation

simulée exigent, sinon une vérification en situation réelle, mais au moins une confrontation, même indirecte, avec des comportements réels observés.

Un autre exemple d'utilisation de diapositives est l'expérience de MIHAL et BARRETT (1976) dans laquelle les auteurs cherchent à évaluer l'effet d'une des caractéristiques de la personnalité (la dépendance-indépendance à l'égard du champ) sur la vitesse de réponse à différentes configurations de signalisation.

Dans cette étude, les sujets sont assis à un poste de conduite fixe, et diverses modalités de présentation visuelle sur diapositives sont présentées. Certaines diapositives contiennent un panneau de signalisation seul, les autres le même panneau situé dans son environnement. Le sujet doit répondre en appuyant sur la pédale de frein le plus vite possible au panneau " stop ", ou tourner le volant à droite au signal " flèche verte " par exemple. Les résultats montrent que les caractéristiques de personnalité influencent essentiellement le temps de réaction aux signaux dans l'environnement, ce qui n'est pas le cas pour les signaux isolés.

Ainsi, la présentation de diapositives, bien que statique, et malgré l'absence de " feed-back " des réponses sur l'environnement, a permis de montrer l'effet de la variable " personnalité " sur le temps de réaction.

Dans une étude un peu différente, l'analyse comparée de la prise d'information de conducteurs expérimentés et de conducteurs débutants, ceux-ci devant détecter le maximum d'information sur des diapositives, la situation routière présentée au tachistoscope a pu montrer l'intérêt d'une telle simulation (NEBOIT, 1975) bien que, là non plus, l'aspect dynamique de la conduite n'ait pas été simulé. Les résultats montrent que les conducteurs expérimentés rappellent plus d'informations que les débutants.

Avec des objectifs totalement différents, puisqu'il s'agissait de tester la compréhension et la perception de signaux routiers, MOUKHWAS (1979) souligne les avantages d'une procédure de simulation : " elle permet d'éliminer les différents événements aléatoires qui perturbent la tâche analysée, elle met l'observateur dans une situation sans danger, elle permet de standardiser une situation, qui, sur le terrain est difficile à contrôler ". Mais alors, se pose le problème de savoir dans quelle mesure les résultats d'une simulation peuvent être une approximation suffisante pour être extrapolés, voire appliqués, à la réalité. L'auteur reproduit, en laboratoire, en projetant les vues à différentes distances, la situation expérimentale de détermination des distances de visibilité des panneaux. Les mêmes messages sont présentés à deux groupes de sujets : un groupe sur site réel, l'autre placé en situation simulée.

Les résultats de cette comparaison montrent que les performances, dans les deux cas, sont strictement comparables, et que les résultats obtenus en situation simulée sur diapositive permettent de prévoir avec une bonne approximation, les résultats obtenus sur site réel. " La simulation par photographies prises à différentes distances permet d'opérer de façon commode et standardisée pour obtenir un résultat impliquant jusqu'ici des mesures sur site réel, sur des panneaux réels et dont la mise en oeuvre est plus lourde et coûteuse que la simulation ".

Nous ne verrons pas ici le problème de l'utilisation de diapositives dans l'apprentissage, ceci ayant déjà fait l'objet d'une mise au point (NEBOIT, 1977). Rappelons seulement que celles-ci peuvent avoir un intérêt dans la mesure où les apprentissages à installer sont clairement spécifiés et sous certaines précautions méthodologiques qui, si elles ne sont pas prises, peuvent les rendre caducs ou dangereux.

De plus, l'absence de mouvement est évidemment une des limites à l'emploi des diapositives,

ce qui amène à envisager le film comme moyen de simulation.

2) Simulation par films

L'aspect dynamique étant une des caractéristiques de la perception en conduite, on a cherché à simuler le mouvement en présentant des films de situations routières prises du volant d'un véhicule. Ce sont les films de simulation, présentés sur des systèmes simples, et même sans poste de conduite.

L'utilisation de films de simulation a montré leur intérêt dans des apprentissages perceptifs mis en jeu dans le dépassement par exemple (LUCAS, 1970). Les résultats, bien que strictement du domaine de l'apprentissage laissent penser que la tâche effectuée par les sujets était proche, dans sa nature, de la tâche perceptive réelle d'évaluation, effectuée lors d'un dépassement.

Utilisant également le film comme moyen de simulation, MACKIE et OLDER (1964) ont montré, sur un groupe de conducteurs expérimentés dont la tâche consistait à rappeler des indices prélevés d'une part en situation réelle de conduite, d'autre part sur film, que les taux de rappel sont comparables dans les deux situations. Ils montrent d'autre part, qu'en situation réelle et sur films, la taille apparente des items et leur excentricité par rapport au centre du champ visuel, n'ont qu'un effet mineur par rapport à l'importance déclarée des items sur la fréquence de rappel.

Ce résultat confirme que, même en situation simulée par le moyen d'un film, la hiérarchie dans l'importance des indices utilisés par le conducteur serait la même que celle utilisée en situation réelle. Ce qui apporte un élément positif supplémentaire à la conception d'une simulation par films.

On voit donc que même un système de simulation simple, le film, sans même que lui soit associé un système complexe de réponses, peut présenter un intérêt dans l'analyse du comportement visuel du conducteur, à condition que les objectifs de l'étude soient adaptés au matériau de simulation.

Des analyses sont en cours à l'O.N.S.E.R. (NEBOIT, 1980) pour définir les exigences minimales du film de simulation et les études que l'on peut espérer mener grâce à des simulations utilisant le support filmique. Quelques éléments seront précisés dans la partie III de ce rapport.

3) Simulateurs utilisant le support filmique

L'association d'un projecteur de films à un poste de conduite a amené la réalisation de simulateurs plus ou moins sophistiqués. Le couplage du déplacement du film avec l'action sur l'accélérateur ou le frein est possible bien que la variation de la vitesse soit réduite à cause de la vitesse de prise de vue. L'angle de projection peut atteindre 180°, soit avec un seul projecteur (HULBERT et col 1960), soit avec plusieurs. La vision vers l'arrière nécessite un projecteur et un écran supplémentaire.

BEINKE et WILLIAMS (1968) présentent un simulateur hautement sophistiqué comprenant la cabine d'un véhicule, un projecteur de film, un équipement générateur de sons, une base mobile permettant de simuler le tangage et le roulis, le tout relié à une console électronique permettant l'enregistrement des réponses du sujet conducteur, celui-ci pouvant donner toutes les réponses comportementales (accélération, freinage, coup de volant etc...). Les films sont réalisés par le moyen d'un véhicule spécial, équipé pour enregistrer l'état de tous les paramètres des véhicules pendant la situation filmée (bruit, mouvement du volant, accé-

lération, décélération, forces latérales). La caméra elle-même est placée au niveau des yeux du conducteur, le champ de vision étant de 77° pour un film 16 mm, de 90° pour un film 35 mm. Un essai de validation est réalisé par comparaison des réactions de 50 conducteurs en situation réelle et sur film.

Le passage du 16 mm au 35 mm a l'énorme avantage de donner une définition fine de l'image (jusqu'à 3 minutes d'arc de résolution, l'oeil étant capable de discriminer jusqu'à 1 minute d'arc). L'emploi du film rend les séquences simulées entièrement programmées, le conducteur n'ayant bien sûr qu'une liberté relative dans le choix de sa trajectoire.

Un simulateur moins sophistiqué est en construction au T.R.R.L. (WATTS G.R., et QUIMBY A.R., 1979). Ce simulateur comprend un film pris en 16 mm couleur, couvrant un champ de 60°. Le sujet est assis aux commandes d'un véhicule. Dans une première étape, les auteurs ont cherché à évaluer le simulateur par rapport à la prise de risque, qui est un point épineux de la simulation, en demandant à un groupe de sujets d'évaluer le niveau de risque (de 0 à 10) en situation filmée et en situation réelle. Il apparaît une corrélation élevée (.78) entre les évaluations du danger. De même, des comparaisons de la réponse électrodermale, considérée comme un indicateur physiologique de situation perçue comme conflictuelle, montre une corrélation de .78 entre situation filmée et situation réelle.

Il semblerait donc que même la présentation de films dans une structure relativement simple soit susceptible d'être une simulation valide. Enfin, une étude par questionnaires montre que les sujets sont frappés par le réalisme des situations. Les auteurs attirent néanmoins l'attention sur le mal du simulateur qui semble inhérent à toute présentation visuelle sans vibration ou mouvement correspondant qui se traduit par des nausées.

4) Simulateurs à image vidéo (calculée ou sur maquette)

Les progrès en matière d'informatique, ont permis de réaliser des images calculées permettant de reproduire une route (dans le cas le plus simple) et quelques éléments du paysage donné, bien que cette simulation soit encore relativement coûteuse. L'intérêt de l'image calculée est l'interaction possible entre réponses et changement de l'information visuelle en feed-back. Des études sont actuellement en cours au S.E.T.R.A., dans lesquelles on cherche à simuler les caractéristiques statiques (texture, couleur, forme, marquage) et dynamiques de l'environnement et à construire un système interactif.

Mc LANE R.C. et WIERWILLE (1975) se demandent dans quelle mesure les indices auditifs et de mouvements sont nécessaires dans un simulateur de conduite à image calculée. La plateforme de simulation, décrite par WIERWILLE (1973) comprend :

- Le système visuel : l'image de la route est générée par ordinateur, et donne un champ de 48° sur l'axe horizontal.
- Le système de mouvement : la plateforme est mue par des vérins hydrauliques.
- Le système auditif : est généré par deux canaux, l'un simulant les bruits du vent sur la carrosserie, et les bruits relatifs au système châssis-roue-route, l'autre servant de modulateur en fonction de la vitesse.

L'étude montre l'intérêt de présenter des indices auditifs qui varient avec la vitesse, et l'importance de l'introduction d'au moins deux des trois paramètres de mouvement : translation latérale, embardée, roulis, dans une tâche de maintien de la vitesse du "véhicule".

WIERWILLE W.W. et FUNG P.D. (1975) cherchent à comparer les intérêts réciproques de l'image calculée, et du film dans la simulation de la conduite et l'intérêt d'une simulation du mouvement de la cabine, dans une situation de changement de file. Les résultats montrent

que la simulation par film produit une performance équivalente à la simulation par image calculée mais à condition que l'image par film réponde à un certain nombre de critères, en particulier, changement de voie de faible amplitude, et choix d'une fonction de transfert équivalente à celle d'un véhicule moyen courant. Ce résultat est intéressant, car il permet de penser que, pour certains objectifs d'étude, la simulation par films est un procédé adéquat malgré l'impossibilité de fonctionnement en véritable boucle ouverte. En effet, l'image générée par ordinateur bien qu'elle permette une véritable interaction avec les réponses du sujet, devient rapidement extrêmement coûteuse si on veut simuler de nombreux éléments de l'environnement visuel (paysage, signalisation, autres véhicules).

Dans la rubrique " image calculée ", nous citerons encore le système de simulation présenté par ALLEN et Col (1975, 1977), celui-ci paraissant d'autant plus intéressant qu'il est relativement peu coûteux, selon l'évaluation de l'auteur. Cette simulation est interactive puisque l'image dépend partiellement des réponses du conducteur sur les commandes du poste de conduite. Une présentation par écran vidéo de profil de route est combinée avec la projection d'un film et de diapositives présentant des signaux routiers et différentes combinaisons de trafic. La conduite du véhicule et l'équation de mouvement du véhicule sont programmés sur un système analogique. Le comportement dynamique du véhicule et la performance du conducteur peuvent être mesurés. Il est également possible d'incorporer des perturbations (vent, chaussée déformée). La base du simulateur est fixe. Les auteurs ont mené un grand nombre d'études : contrôle de trajectoire en situation d'attention divisée, prise de virage, changement de voie, évitement d'obstacles, traversée d'intersections. De plus, des études sur l'effet de l'alcool et des comparaisons situation simulée-situation réelle, ont pu montrer que bien que les taux de risques acceptés soient plus élevés sur simulateur, une analyse de la hiérarchie des risques est possible dans la mesure où cette hiérarchie paraît se conserver en passant de la conduite réelle au simulateur.

Enfin les simulateurs vidéo-maquette utilisent pour présenter l'information du conducteur, l'image d'une maquette de route transmise par caméra-vidéo à un écran cathodique (ou projetée sur écran). Ce principe est couramment utilisé dans les simulateurs de vol qui servent à l'entraînement et au recyclage des pilotes de ligne.

L'intérêt principal de ce système est de permettre une image présentant un degré de réalisme important, (sans atteindre la fidélité du cinéma) et surtout de permettre un feed-back, assisté par ordinateur, des actions du conducteur sur l'image. Le sujet en effet a le choix de son itinéraire, de ses actions, celles-ci se traduisant par des déplacements de la caméra sur la " route " de la maquette et pouvant restituer un déplacement du véhicule sur la route. Néanmoins, les limites de surface de la piste et la lourdeur de l'installation en font encore un système coûteux mais qui est utilisé actuellement aux Pays-Bas (TNO, 1978). Dans ce système, la combinaison de trois caméras permet un champ visuel horizontal de 120°, ce qui correspond à peu près à l'ensemble du champ du pare-brise. Ce type de simulateur est relativement limité dans la simulation de trafic puisque cette simulation implique la régulation synchrone d'autres véhicules sur la piste-maquette.

III – EXIGENCES D'UNE SIMULATION DE LA CONDUITE POUR DES ETUDES DES ACTIVITES PERCEPTIVES DU CONDUCTEUR

Dans ce chapitre, nous n'avons pas l'ambition de proposer les plans d'un système de simulation, ni de fixer une fois pour toutes les règles d'une simulation adéquate. Seule la confrontation expérimentale permettra éventuellement de vérifier les exigences d'équivalence par rapport aux tâches analysées et aux objectifs des études.

Par contre, nous cherchons à définir les exigences minimales des situations simulées utiles à l'étude des activités perceptives visuelles, qui représentent l'activité principale de la conduite automobile. Ces exigences nous paraissent globalement de deux types :

- **Fidélité et réalisme de l'information visuelle** présentée, c'est-à-dire qu'il faudra s'assurer dans tous les cas que les caractéristiques de présentation ne modifient pas, en tant que simulation, le fonctionnement perceptif.
- **Interaction**, c'est-à-dire action en retour des réponses du conducteur sur le déroulement de la situation.

Or ces deux exigences sont difficilement conciliables dans l'état d'avancement technologique actuel.

Si le film semble présenter la plus grande fidélité au niveau de l'information visuelle, son déroulement n'est pas modifiable, sauf dans une mesure très limitée.

L'image calculée permet bien un feed-back sur la présentation visuelle à partir des actions du conducteur, mais l'image présentée n'atteint jamais le réalisme du film (ou de la maquette vidéo - filmée), sauf dans le cas de simulations extrêmement onéreuses (simulation de super Tanker chez L.M.T. par exemple).

C'est bien cette impossibilité qui a conduit certains auteurs à essayer de coupler l'image vidéo-calculée aux diapositives et aux films, mais on peut considérer que l'objectif n'est pas actuellement complètement atteint.

Au stade actuelle, l'image calculée semble intéressante pour la présentation de situations simples, de nuit (ou en condition crépusculaire). Son intérêt peut être fondamental pour les simulations de tracés de route ou de marquage au sol. Mais la simulation de l'environnement et de trafic complexe en situation de jour est encore très coûteuse.

Nous nous limiterons donc ici à évoquer les exigences de base d'une situation simulée par films.

Les caractéristiques minimales nécessaires à une présentation visuelle réaliste par film nous paraissent être au nombre de cinq, dans la mesure où ces conditions régissent partiellement le fonctionnement même du système visuel :

- Bonne définition de l'image.
- Champ horizontal important (dépassant 90°).
- Respect des positions relatives des objets dans le champ "en profondeur".
- Prise de vue de la place du conducteur.
- Asservissement, même rudimentaire, aux contrôles du volant, (au moins pour simuler un contrôle fin de trajectoire).

1) Bonne définition de l'image.

Une image de définition trop faible (donnant finalement une image "floue"), a pour conséquence une augmentation de la durée de fixation sur l'objet à analyser. Les comparaisons ne peuvent donc être faites avec la réalité que si la définition se rapproche le plus possible de la vision en situation réelle (de l'ordre d'une minute d'arc).

Cette restriction amène probablement l'abandon, pour certaines études, des films 16 mm et peut exiger le 35 mm (dont la définition est de l'ordre de 3 minutes d'arc).

2) Champ horizontal important.

La largeur du champ horizontal est un élément primordial de la simulation du champ visuel en conduite, pour au moins deux raisons : d'une part, les défilements latéraux ou en périphérie peuvent être des indices importants dans une appréciation de vitesse ; de plus, la largeur du champ horizontal participe également de façon importante à l'illusion de relief, et au réalisme de la scène.

Mais cette grande largeur du champ horizontal ne peut être réalisée qu'à la condition de disposer d'un système de prise de vue ne changeant pas les rapports de distance. Or, les objectifs à courte focale (grand angle) donnent effectivement un champ plus large mais le restituent sur un champ standard.

L'utilisation des procédés employés en cinémascope (anamorphoseur) présente alors l'intérêt principal de donner un champ horizontal important et de restituer les rapports de taille angulaire. Ce dispositif a d'ailleurs déjà été utilisé par FARCY pour réaliser les films des simulateurs pédagogiques SIMULCA.

L'utilisation d'objectifs de types "fish-eye" et la projection de l'image sur un écran hémisphérique (JAULMES P., 1981) restitue l'ensemble du champ perceptible. Ce procédé supprime le cadrage de l'image classique et devrait pouvoir être utilisé principalement pour restituer les stimulations périphériques. Quelques essais réalisés en conduite automobile (collaboration SETRA-ONSER) laissent entrevoir des applications intéressantes mais encore coûteuses et restant à préciser sur le plan technique.

3) Variations angulaires relatives

Les rapports de taille angulaire sont probablement des indices fondamentaux dans l'évaluation des distances relatives, et l'évaluation des vitesses relatives. Il est alors fondamental que ces rapports soient respectés sous peine de changer radicalement les estimations de vitesses-distances. Ce qui élimine d'emblée les objectifs de prise de vue à focale courte (grand angle) et justifie une fois de plus le recours au "cinémascope".

4) Prise de vue

Cette condition paraît a priori évidente, mais certains films du commerce, présentés sur simulateurs pédagogiques montrent qu'elle n'est pas toujours respectée. En particulier, il paraît fondamental que l'axe de visée de la caméra de prise de vue respecte au mieux les caractéristiques optiques liées au déplacement latéral du véhicule. Il paraît donc important que la caméra soit fixée dans l'axe du véhicule, tout écart de l'axe de caméra par rapport à l'axe du véhicule se traduisant visuellement par un "glissement" ou un dérapage, ou encore une "marche en crabe", ce qui s'explique très bien par les caractéristiques du système visuel dans sa capacité à apprécier des vitesses de déplacement différentes de part et d'autre de l'axe du déplacement.

Par ailleurs, tout déplacement intempestif de la caméra sur son axe se traduit par un "balayage" ayant un effet perturbateur au niveau des mécanismes de recherche visuelle et pouvant créer des vertiges et des nausées.

5) Asservissement au contrôle du volant

La caractéristique du film est que le sujet ne peut influencer son déroulement, sauf par de faibles variations de vitesse (couplage avec l'accélérateur ou le frein), ou de cadrage d'image (déplacement du projecteur avec le volant). Néanmoins, il paraît important qu'un minimum de contrôle de direction soit possible. En effet, une des caractéristiques de la tâche de conduite est le "partage du temps de vision" entre contrôle de trajectoire et détection d'indices et de signaux. Il est donc nécessaire de conserver au moins la caractéristique de guidage fin de trajectoire, (en ligne droite par exemple) dans la mesure où cette tâche occupe en partie la capacité visuelle. Il serait nécessaire de simuler les légers écarts de trajectoire dûs aux variations de profil de la route, aux coups de vent, etc... De plus, dans ce cas, la route devrait se "déplacer" (et en sens inverse de la correction du volant) et non les bords d'image, afin de restituer le déplacement relatif de la route dans le champ.

A ces cinq caractéristiques nécessaires à une simulation par film il faudrait en principe ajouter la possibilité de simuler le mouvement du poste de conduite, ou au moins la possibilité de provoquer des vibrations. En effet, un des problèmes rencontrés dans toutes ces études sur simulateur est la nausée provoquée chez environ 50 % des sujets (appelée "simulator sickness" par les anglo-saxons). L'incompatibilité entre des informations visuelles de mouvement, et des informations kinesthésiques de non-mouvement (base fixe) en serait la cause. Certains auteurs précisent (Mc LANE et WIERVILLE, 1975) que l'adjonction de simples vibrations peut permettre de résoudre presque totalement ce problème.

Il faut préciser que si la conception d'ensemble d'un tel simulateur partiel représente un travail relativement important et un coût qui resterait à définir, la réalisation des films ne devrait pas poser de problèmes insolubles. En effet, une réflexion et quelques essais de réalisation sont actuellement en cours à l'O.N.S.E.R. De plus, certaines réalisations destinées à la pédagogie sur simulateur SIMULCA, sont déjà très proches des exigences que nous avons énumérées ici (FARCY J. 1978).

IV – CONCLUSION : PERSPECTIVES ENVISAGEES.

Ce rapport ne prétend pas avoir fait le tour des problèmes de la simulation de la conduite d'une automobile et en particulier les aspects techniques ont été seulement évoqués dans la mesure où ils répondaient ou non aux catégories d'études envisageables dans le cadre d'une analyse du comportement du conducteur. Il resterait, dans une étape suivante, à définir des objectifs précis de simulations et dans ce cas il serait nécessaire d'envisager plus en détail les problèmes techniques et financiers.

Néanmoins ce rapide tour d'horizon des travaux les plus marquants en France et à l'étranger, nous amène à préciser les voies utiles, voire nécessaires, et les contre-indications qui nous paraissent les plus criantes.

1) Les objectifs de la simulation.

Comme on a pu le voir tout au long de ce rapport, réaliser une simulation de la conduite automobile consiste non seulement à analyser les paramètres objectifs de la situation et à chercher à les reproduire dans une réalisation concrète, mais aussi, et surtout, à faire des hypothèses sur les paramètres effectivement pris en compte (et dont la restitution devient plus ou moins nécessaire) par le conducteur.

La caractéristique fondamentale d'une simulation devrait donc être **l'évolutivité** : évolutivité parce que les techniques changent, mais aussi et surtout parce que la réalisation d'une simulation donnée (ou le choix d'un mode de simulation) peut être remise en cause par les résultats d'une analyse comportementale.

Il paraît donc essentiel de considérer la simulation comme un travail constant de remise en cause expérimentale et de réinjection des résultats d'une analyse dans l'étape suivante de la réalisation. Ce qui implique de se poser de façon constante (et non seulement au départ) le problème de l'**équivalence situation simulée-situation réelle**, et de se donner les moyens de répondre dans chaque cas et de façon continue, à cette question.

2) Les domaines d'étude intéressés.

Diverses études sont susceptibles de bénéficier de simulations, nous ne ferons que les rappeler ici sous forme d'une liste non exhaustive, qui ont, toutes en commun, l'**étude du comportement du conducteur** en fonction de différents facteurs :

- *Etudes de la perception et du contrôle du déplacement*
 - . estimation, perception et contrôle de la vitesse,
 - . contrôle de la trajectoire,
 - . analyse expérimentale des paramètres utilisés par le conducteur pour gérer le déplacement de son véhicule dans l'environnement, et par rapport aux autres véhicules.
- *Problèmes de vision*
 - . éclairage, éblouissement,
 - . fatigue visuelle
- *Ergonomie de l'environnement routier*
 - . Expérimentation de projet de route (ou de correction de points noirs)
 - . Analyse des effets conjugués de différentes composantes de l'environnement (tracé, marquage, signalisation, paysage, trafic).
- *Ergonomie du véhicule*
 - . Confort de l'habitacle
 - . bruit
 - . accessibilité des commandes
 - . pilotabilité (type de véhicule)
 - . présentation des informations (tableau de bord).
- *Analyse des situations à haut risque*
 - . Analyse différentielle de la perception du danger par les conducteurs, (effet de l'âge, de l'expérience par exemple).
 - . Etudes de prise de risque.
- *Analyse de situations de conduite particulières*
 - . conduite de nuit,
 - . conduite par temps de brouillard.
- *Effet de facteurs perturbants exogènes sur la conduite.*
 - . fatigue,
 - . alcool,
 - . drogues médicamenteuses,
 - . souscharge-surchage.

– *Analyse psychopédagogique*

- . Comparaison de systèmes de simulation pédagogique en fonction des objectifs de formation,
- . Etude d'entraînements en situation simulée,
- . Etude des retombées "psychotechniques" de la simulation pour les orientations des élèves-conducteurs dans la formation.

La diversité des études possibles listées ici fait ressortir la nécessité de disposer, non pas d'un **simulateur exhaustif** dont on voit mal comment il pourrait répondre à la fois à toutes les exigences spécifiques associées à chacune des études, mais de **plusieurs modalités de simulation "ad hoc"**.

3) **"Simulateur total" ou "simulations partielles"**.

Une question préalable se pose de savoir s'il est préférable de chercher à réaliser un **simulateur** qui fasse la synthèse de tous les paramètres en jeu, ou de réaliser des **simulations partielles**, moins ambitieuses, mais qui seraient utilisées chacune en fonction de leur qualité spécifique dans des objectifs d'étude bien délimités.

Compte tenu des expériences étrangères dans ce domaine, la solution "simulation partielle" paraît préférable pour plusieurs raisons :

- . **Chaque mode de simulation** présente des avantages sur un point donné, mais des inconvénients par ailleurs (par exemple : la simulation par films permet un haut degré de réalisme visuel mais interdit une réelle interaction, la simulation par image calculée permet une interaction totale mais ne permet pas encore un haut réalisme visuel).
- . **L'état actuel des techniques** permet donc difficilement de concilier les avantages et d'éliminer les inconvénients de chaque mode (ou technique) de simulation et de les synthétiser sur un simulateur.
- . **Un simulateur "total"** peut devenir un système très lourd à gérer sur le plan mise en marche, fonctionnement, maintenance, fiabilité, programmation de l'utilisateur ; ce qui explique souvent leur faible utilisation réelle dans des études.
- . **Les simulations partielles**, si elles sont judicieusement choisies et réalisées en fonction d'un objectif spécifique d'étude, peuvent être plus souples, mieux adaptées et plus faciles à gérer.
- . Enfin, la restitution de toute la complexité de la situation réelle sur un simulateur irait à l'encontre même des objectifs de la simulation qui a précisément pour but premier le contrôle et la manipulation des variables.

Il paraîtrait donc plus judicieux d'orienter la simulation vers la conception de simulations partielles, adaptées à divers objectifs de recherche, regroupés éventuellement en un seul lieu géographique et profitant d'un système commun de recueil d'analyse et de traitement de données, plutôt que de s'orienter d'emblée vers la réalisation d'un simulateur "à tout faire".

4) **Système de recueil d'analyse et de traitement des données.**

Le système doit répondre à au moins deux objectifs :

- *gestion de la simulation* en temps réel (en particulier de l'interaction commandes-visualisation).

– *Analyse des réponses des conducteurs*

- . **actions sur les commandes** (volant, accélérateur, frein, embrayage, changement de vitesse, etc...)
- . **réponses "psychophysiologiques" du conducteur** (mouvements oculaires, rythme cardiaque, réponse électrodermale, électro encéphalogramme, etc...).

Cette analyse peut être faite en temps réel ou différé, les données étant stockées, analysées, traitées. Ces problèmes sont pratiquement résolus dans les simulations utilisées par l'aéronautique et les solutions paraissent facilement transférables sur des simulations de poste de conduite.

ANNEXE.

Tableau comparatif des différentes études en situations simulées.
Pour chaque étude on trouvera le nom de l'auteur, le type de simulation, l'objectif de l'étude, les variables analysées et les résultats.

IMAGES FIXES

AUTEURS/DATE	TYPE DE SIMULATION		OBJECTIF DE L'ETUDE	VARIABLES		RESULTATS
	PRESENTATION DE L'INFORMATION	REPONSE		INDEPENDANTES	DEPENDANTES	
MONSEUR (1968)	Photographies	Verbale	Effet de la signalisation sur le ralentissement.	. Présence ou absence de signalisation. . Situation réelle/ Situation simulée.	Ralentissement déclaré.	Corrélation forte entre ralentissement déclaré en situation simulée et ralentissement effectif en situation réelle.
NEBOIT (1975)	Dispositives (temps limité)	Verbale	Comparaison rappel d'information chez des débutants et des expérimentés	Débutants/expérimentés	Taux de rappel d'information	Taux de rappel plus important chez les expérimentés.
MIHAL et BARRETT (1976)	Diapositives	Freinage Coup de volant	Effet de la personnalité sur le temps de réaction	. Personnalité du conducteur (style perceptif). . Signalisation seule/dans l'environnement.	Temps de réaction	Les sujets dépendants du champ ont un temps de réaction plus long.
MOUKHWAS (1979)	Diapositives (temps limité)	Verbale	Tester la compréhension et la perception de signaux routiers.	. Distance des panneaux. . Situation réelle/ Situation simulée.	Distance de visibilité	Corrélation situation simulée/situation réelle.

21 FILM

AUTEURS/DATE	TYPE DE SIMULATION		OBJECTIF DE L'ETUDE	VARIABLES		RESULTATS
	PRESENTATION DE L'INFORMATION	REPONSE		INDEPENDANTES	DEPENDANTES	
WALDRAM (1960)	Film	Verbale	Analyse des mouvements des yeux en situation de conduite sur film.	Différentes situations de conduite.	Mouvement des yeux	Relative stabilité intra-situation et intra-sujet.
HAKKINEN (1963)	Film	Verbale	Analyse de l'estimation de la vitesse et des distances.	. Distance entre véhicules. . Vitesse d'un véhicule arrivant en face.	Estimations de distance et de vitesse.	. Surestimation des distances, sous-estimation des vitesses. . L'erreur d'estimation est d'autant plus grande que la valeur objective est grande.
MACKIE et OLDER (1964)	Film	Verbale	Comparaison situation simulée/situation réelle.	. Situation réelle situation simulée . Situation de conduite	Taux de rappel d'information.	. Corrélation film/situation réelle. . Corrélation taux de rappel/importance déclarée des éléments rappelés.
LUCAS (1970) LUCAS et al (1973)	Film	Verbale	Entraînement en situation de dépassement.	Intervalle des temps disponibles pour dépasser	Intervalle de temps disponible subjectif	Diminution du nombre d'erreur de jugement.

PISTE

AUTEURS/DATE	TYPE DE SIMULATION	OBJECTIF DE L'ETUDE	VARIABLES		RESULTATS
			INDEPENDANTES	DEPENDANTES	
BJORKMAN (1963)	Multi-véhicules	Analyse de la prédiction d'un point de croisement	Distances et vitesses des véhicules	Prédiction du conducteur.	La prédiction est d'autant plus exacte que les véhicules roulent à la même vitesse. Plus la vitesse du sujet est faible, plus il estime le point de rencontre loin de lui (et inversement).
BHISE (1971)	Multi-véhicules.	Relation entre mouvement des yeux et traitement de l'information.	Position des véhicules sur la chaussée. Double tâche fovéa-périphérie.	Détection de variation de vitesse des autres véhicules.	Si charge importante, baisse de la performance en périphérie.
NEBOIT (1978)	Multi-véhicules.	Comparaison des mouvements des yeux débutants/expérimentés en situation de dépassement.	Niveau d'expérience. Temps disponible.	Décision de dépasser. Mouvements des yeux.	Différence d'exploration entre débutants et expérimentés.
NEBOIT (1979)	Véhicules sur piste.	Comparaison des mouvements des yeux débutants/expérimentés, en ligne droite	Expérience	Exploration.	Anticipation plus grande chez les expérimentés.

SIMULATEURS

AUTEURS/DATE	TYPE DE SIMULATION		OBJECTIF DE L'ETUDE	VARIABLES		RESULTATS
	PRESENTATION DE L'INFORMATION	REPONSE		INDEPENDANTES	DEPENDANTES	
BEINKE et WILLIAMS (1968)	Film 16 mm (77°) Film 35 mm (90°) Base mobile Vision arrière	Comportementale Interactive	Réalisation du simulateur			
BLAAUW (1975)	T.V. (sur maquette) (120°)	Comportementale. Interactive	Validation d'un simulateur	Situations de conduite diverses.	Comportement. Mouvement de yeux.	
WIERVILLE et FUNG (1975)	Image calculée Film Base fixe	Comportementale Interactive	Comparaison image calculée/film.	Situation de changement de voie	Changement de trajectoire. (nombre de coups de volant, amplitude, accélération).	Si maintien de la trajectoire en ligne droite, haute corrélation image calculée et film.
Mc LANE et WIERVILLE (1975)	Image calculée Son Base mobile	Comportementale Interactive	Intérêt des différents paramètres physiques : roulis; accélération ; déplacement latéral ; mouvement; bruit de moteur.	Exhaustivité de la simulation.	Mouvements de volant. Accélérateur. Trajectoire.	Intérêt d'une présentation d'information auditive en correspondance avec la vitesse. Intérêt de l'incorporation d'au moins deux des trois paramètres de mouvement (roulis, déviation latérale, embardée).
ALLEN et al. (1975 et 1977)	Image généré par ordinateur Plus film Plus diapositives Base fixe	Comportementale Interactive	Effet de l'alcool sur les accidents Effet de l'âge et de la charge visuelle sur le contrôle de la trajectoire.	Taux d'alcoolémie situation simulée/situation réelle. Rafales de vent. Type de signalisation routière. Age du conducteur	Nombre d'accidents, mouvements de volant, freinage, temps de réaction). Déviation de trajectoire	Augmentation du nombre d'accidents avec le taux d'alcoolémie. Le temps de réponse et sa précision se détériore chez le groupe d'âge de 50 ans et plus et avec la diminution de l'attention. Corrélation très nette entre situation réelle et simulée.
WATTS et OUIIMBY (1979)	Film 16 mm (60°) Base fixe Vibrations	Verbale	Comparaison situation réelle et simulée.	Taux de risque sur route/en simulation.	Réponse électrodermale Prise de risque Évaluation subjective du réalisme	Corrélation taux de risque route/simulation. Corrélation réponse électrodermale route/simulation.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLEN R.W., HOGGE J.R., SCHWARTZ S.H. (1975).
An interactive driving simulation for driver control and decision making research.
Communication to the 11th Annual Conference on Manual control NASA Ames
Research Center, 21-23 May 1975.
- ALLEN R.W., HOGGE J.R. SCHWARTZ S.H. (1977).
A simulator for research in driver, vehicle and environnement interaction.
Communication to the 56th annual meeting of the Transportation Research
Board. Washington, D.C. January 1977.
- BAKER, W.T. (1972).
An evaluation of the trafic conflict technique
Highway research record, 1972, n° 384, 1-8.
- BEINKE, R.E. et WILLIAMS, J.K. (1968).
Driving simulator.
G.M.C. reprint n° 24 – Automobile Safety Seminar 11-12 July 1968.
- BELT, B.L. (1969).
Driver eye movement as a function of low alcohol concentration.
The Ohio State University, driving research lab. technical report, June 1969.
- BHISE, V. (1971).
The relationship of eye movements and perceptual capabilities to visual informa-
tion acquisition in automobile driving.
The Ohio State University, Ph.D, 1971.
- BJÖRKMAN, M. (1963).
An exploratory study of predictive judgments in a trafic situation.
Scandinavian Journal of Psychology. Vol. 4 – 1963.
- BLAAUW G.J. (1974).
Critique de projets de sections de routes d'après la vision qu'en ont les automo-
bilistes et d'après le comportement.
Communication au symposium Sociale Verkeerslunde, Novembre 1974.
- BUIKUISEN, W. ET JONGMAN, R.W. (1972).
Traffic perception under the influence of alcohol.
Quarterly Journal of Study on Alcohol, 33
1972 n° 3, 800-806.
- COHEN, A.S. et STUDACH, M. (1977)
Eye movements while driving cars around curves.
Perceptual and Motor Skills, 1977, 44, p. 683-689.
- FARCY, J.
A propos de la simulation par le film.
Audio-visuel – Information – Actualité.
Les films de la maîtrise, 52 Rue Jacoulet – 92210 St-Cloud.

- FOX, B.H. (1960).
Engineering and psychological uses of a driving simulator.
Highway Research Board Bulletin, 261, 14-25.
- HÄKKINEN, S. (1963).
Estimation of distance and velocity in traffic situations.
Reports from the Institute of occupational health, May 1963.
- HELANDER, M. et SODERGERG, S. (1972).
Driver visual behavior and electrodermal response during highway driving.
University of Göteborg. Report n° 4, vol. 2, 1972.
- HULBERT, S.F., et WOJCIK, C. (1960).
Driving Simulator Research.
Highway Research Board Bulletin, 261, 1-13.
- JAULMES P. (1981)
L'écran total. Pour un cinéma sphérique.
Collection cinéma futur. LHERMINIER ed.
- 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.
- Mc LANE, R.C., et WIERWILLE, W.W. (1975).
The influence of motion and audio cues on driver performance in an automobile simulator.
Human factors, 1975, 17(5), 468-501.
- LEPLAT, J. (1978).
L'équivalence des situations de laboratoire et de terrain.
Le travail humain, tome 41, n° 2/1978, 307-318.
- LUCAS, R. (1970).
Development and evaluation of a part task film simulation technique for training drivers on a critical passing skill. University of South Dakota, Ph.D., 1970.
- MACKIE, A.M., et OLDER, S.J. (1964).
A pilot study of immediate recall of items in road situations.
Laboratory note n° LN.483/AMM.SJO – T.R.R.L. February 1970.
- MALATERRE G. (1973).
Vitesse de traversée des petites agglomérations : contribution à l'étude des méthodes permettant un plus grand respect des limitations de vitesse.
Rapport interne O.N.S.E.R. – Janvier 1973.
- MALATERRE, MULHRAD, N. (1977-1978).
Mise au point d'une méthodologie de conflit de trafic.
Rapport O.N.S.E.R. ronéoté (1978).
- MICHAELS, R.M. (1960).
Engineering and psychological uses of a driving simulator.
Discussion.
Highway Research Board Bulletin, 261, p.28.

- MICHAUT, G. (1962).
Un instrument d'étude du comportement des conducteurs d'automobiles :
la voiture équipée.
Cahier d'Etudes de l'O.N.S.E.R. – Bulletin n° 4 – 1962.
- MICHAUT, G. (1970).
Les simulateurs de conduite automobile.
Le travail humain, tome 33, n° 3-4/1970, 353-378.
- MIHAL, W.L. et BARRETT, G.V. (1976).
Individual differences in perceptual information processing and their relation to
automobile accident involvement.
Journal of applied psychology, 1976, 61, 223-233.
- MONSEUR (1968)
Effet de la signalisation et de son environnement sur le ralentissement pratiqué
par les conducteurs à l'abord des intersections.
Le Travail Humain, t. 31, n° 1-2/1968, 111-124.
- MOSKOWITZ et col (1976).
Visual behavior viewing driving scenes under the influence of alcohol and mari-
juana. *Human factors*, 1976, 18(5) – page 417-432.
- MOUKHWAS, D. (1979).
Recherche expérimentale sur la signalisation.
Problèmes de perception et de compréhension.
Rapport O.N.S.E.R. n° 440 – Avril 1979.
- MOURANT, et ROCKWELL, T.H. (1972).
Strategies of visual search by novice and experienced drivers.
Human factors, 1972, 14, 325-335.
- NEBOIT, M. (1975).
Analyse et tentative de pédagogie expérimentale des activités prévisionnelles.
Rapport O.N.S.E.R. n° 184. Mai 1975.
- NEBOIT, M. (1978 a).
Simulation et apprentissage de la conduite automobile.
Le Travail Humain, t. 41, n° 2, 1978, p. 239-249.
- NEBOIT, M. (1978 b).
L'analyse des stratégies de fixation oculaire en situation simulée de dépassement.
Comparaison débutants-expérimentés. Doc. ronéoté O.N.S.E.R. – Juin 1978.
- NEBOIT, M. (1979).
L'analyse de l'évolution des stratégies visuelles avec l'apprentissage dans une tâche
de contrôle de trajectoire en ligne droite.
Doc. ronéoté O.N.S.E.R. – n° 441 – Avril 1979.
- NEBOIT, M. (1982).
Charge perspective et exploration visuelle en conduite de véhicules.
Rapport ronéoté O.N.S.E.R. – n° 626 – Juin 1982.

- NEBOIT, M. (1980).
Réalisation de séquences de films d'entraînement à la prévision dans des situations de dépassement et de franchissement d'intersections.
Note de travail – O.N.S.E.R. – n° 516 – Juin 1980.
- PLATT, F.N. (1980).
The highway systems safety cars.
Detroit, Michigan : Ford Motor Comp. 1970.
- SHINAR, D. (1977).
Curve perception and accidents in curve : an illusive phenomenon ?
Zeitschrift für Verkehrsicherheit, 23 (1977), 1 – 17-21.
- SHINAR, D. (1978).
Psychology on the road. The human factor in traffic safety.
John Wiley and sons, N.Y. (1978).
- SHINAR, D., ROCKWELL, T.H., MALECKI, J. (1975).
Rural curves : designed for the birds ?
Or the effect of changes in driver perception on rural curves negotiation.
8th meeting of the Transportation Research Board.
Ann Arbor, Michigan, August 1975.
- WATTS, G.R. , et QUIMBY, A.R. (1979).
Design and validation of a driving simulator for use in perceptual studies.
T.R.R.L. Laboratory Report n° 907 - 1979.
- ZELL, J.F. (1969).
Driver eye-movements as a function of driving experience.
Technical report I.E., 16.
Engineering experimental station, OHIO, State University – Columbus (1969).
- WIERWILLE, W.W. et FUNG. P.P.
Comparaison of computer-generated and simulated motion picture displays in a driving simulation.
Human factors, 1975, 17(6), 577-590.
- I.R.T. Institut de Recherche des Transports (1976). Voiture laboratoire. Notice technique ronéotée, Décembre 1976.
- T.N.O. Institute for perception (1978).
Instrumented car for user studies : "ICARUS".
Document de présentation des activités de l'Institute for perception T.N.O".
1978.
- T.N.O. Institute for perception (1978).
A large scale simulation.
System for the study of navigation and driving behavior. Laboratory note n° 39 –
Mai 1978.