



# Simulation et Perception

**Andras Kemeny**

Renault, Direction de la Recherche - Research Division  
Technocentre Renault, TCR AVA 212  
1, Avenue du Golf 78288 Guyancourt Cedex, F  
Phone: 33 1 34 95 19 85 Fax: 33 1 34 95 27 30  
e-mail: andras.kemeny@renault.fr

## 1. Introduction

Un simulateur de conduite est un véhicule avec un moteur de stimuli sensoriels générant l'environnement virtuel. Cet environnement virtuel agira sur le conducteur à la fois au niveau perceptuel et cognitif. Les sollicitations perceptuelles rendues sont essentiellement visuelles, sonores et kinesthésiques. Les processus cognitifs permettront au conducteur de mieux appréhender l'environnement : l'infrastructure (signalisation horizontale et verticale) et le trafic, exécutant ses tâches de conduite grâce à ces informations à la fois perceptives et cognitives.

A cause de la sensibilité humaine aux incohérences de restitution et aux conflits sensoriels, notamment pour la perception des mouvements, il est crucial de respecter les propriétés des systèmes de perception humaine. Dans ce qui suit nous allons examiner l'influence des récepteurs visuels, vestibulaires, musculaires et musculo-articulaires, sur les caractéristiques des systèmes de restitution visuelle et kinesthésique à prendre en compte.

## 2. Système de visualisation

L'œil humain est un organe de perception d'indices visuels qui fournit des informations véhiculées par la lumière sur l'environnement. Le système de restitution visuelle de simulateur stimule une partie de la perception visuelle de l'homme en générant la projection des images vues sur un écran virtuel. Ces images se calculent pour une pyramide de vision déterminée par l'ouverture du champ de vision et la distance d'observation, puis sont affichées par un système optique et vues par l'observateur.

### *Échantillonnage spatial et temporel*

La génération d'images, appelée temps réel, se fait à des fréquences et des résolutions d'images compatibles avec celles de la vision humaine. La fréquence d'image utilisée doit assurer la continuité dans la perception aussi bien dans le champs frontal que dans le champs périphérique en tenant compte de la persistance rétinienne. Elle doit se situer entre 30 et 60 Hz pour un confort visuel acceptable, en fonction des applications. Par exemple, les utilisateurs particulièrement exigeants des simulateurs de train observent un dédoublement des images jusqu'à 60 Hz, rendant la lecture des panneaux de signalisation impossible.

De plus, en parallèle avec d'autres indices plus complexes, tel que le *time to collision* [1], les indices fréquentiels jouent un rôle important dans la perception de vitesse notamment dans le champ périphérique.

La disponibilité des informations pour l'observation dépend cependant tout autant de la fréquence spatiale et c'est la combinaison de ces deux résolutions, spatiale et temporelle, qui détermine la qualité d'affichage.

#### *Résolution colorimétrique et photométrique*

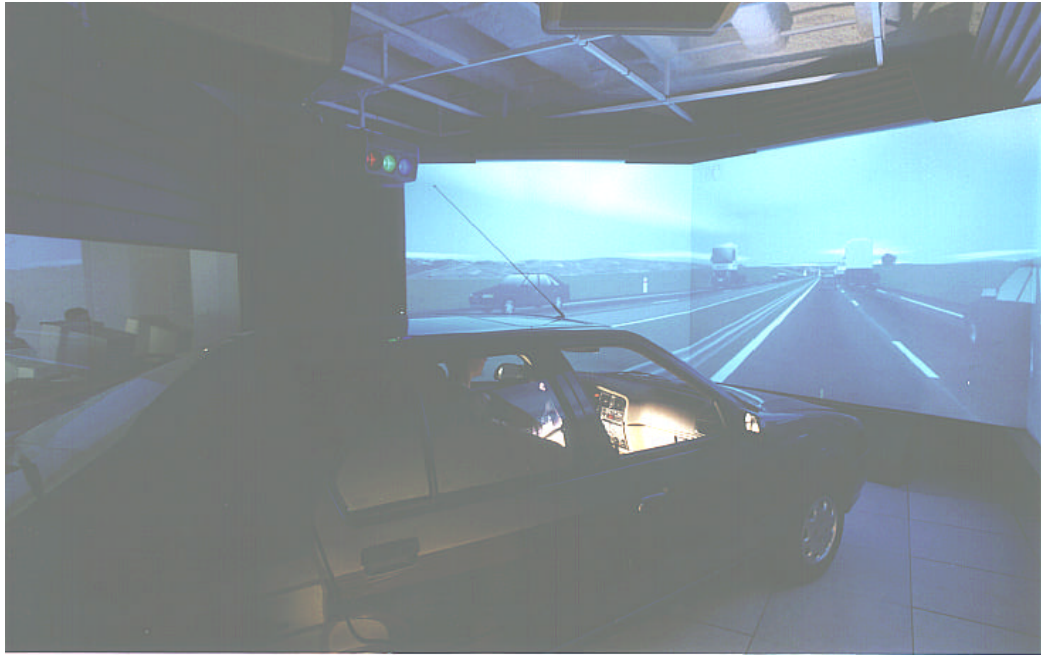
La résolution de l'œil humain est de 1 minute d'angle [2], elle est cependant fonction du champ de vision et du contenu spectral de la lumière perçue. La perception de la couleur se fait mieux dans le champ fovéal (récepteurs dominants : cônes), alors que la luminosité est perçue plutôt dans le champ périphérique (récepteurs dominants : bâtonnets). En tous les cas, la restitution à large champ est nécessaire pour une immersion suffisante.

Le respect du champ vertical du conducteur cependant peut avoir une importance fonctionnelle parfois encore plus grande, notamment pour la conduite des véhicules poids lourds, où celui-ci peut atteindre plus de 50° [3]. En effet, si le conducteur ne voit pas la route virtuelle aux contours du capot ou du pare-chocs de son véhicule, il ne peut connaître la position de son véhicule sur la chaussée.



Simulateur dynamique RVI avec un champ de vision de 210°x50°

De manière standard les simulateurs utilisent des projecteurs vidéo, couvrant chacun 50 à 60°, ce qui donne pour un affichage dit de haute résolution (1024x1280) approximativement 3-4 min. d'angle, mais qui peut-être amélioré par des techniques d'anticrénelage. Celles-ci éliminent les hautes fréquences de résolution spatiale, elles améliorent par conséquent le confort visuel, mais ne permettent pas de compenser le manque d'information dans l'observation des panneaux de signalisation par exemple.



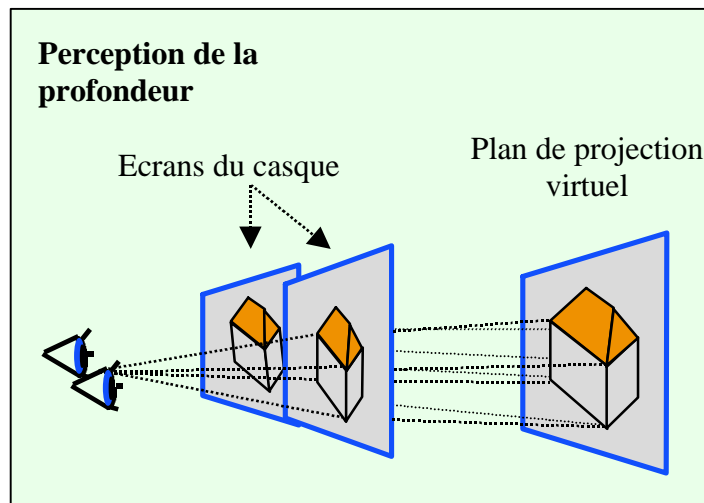
"Centre de simulation Cisi équipé du logiciel SCANer de Renault" - Mars 1995 - Renault®

Pour mieux rendre les couleurs, un visuel de bonne qualité calcule la couleur (d'abord aux sommets des polygones qui décrivent la scène, puis pour l'ensemble des faces visibles) sur au moins 24 bits, réservant d'autres plans de profondeurs pour les transparences, les textures, etc. Mais la création de la base de données géométriques de la scène routière et de l'environnement doit se faire à un niveau de détail suffisamment fin, car l'affichage, même de bonne qualité, ne peut créer des informations qui n'existent pas au départ.

De même, la définition colorimétrique doit tenir compte de l'ensemble de la scène car l'apparence colorée d'un objet varie en fonction des caractéristiques colorimétriques de son environnement proche (une couleur verte peut paraître jaune sur un fond bleu - d'après Hunt 1977) [4].

### *Indices de profondeur*

Pour rendre la profondeur, le logiciel des visuels calcule les images en utilisant la projection perspective. Cependant cet indice ne permet pas de percevoir les distances absolues [5] même si d'autres indices de profondeur sont également utilisés, tels que les textures. Le calcul binoculaire avec un affichage stéréoscopique donne des indices de profondeur absolue (vergence) et relative (disparité) permettant une meilleure perception des distances et des volumes. Dans ce cas toutefois la distance de collimation (distance virtuelle de vergence) du système ou la distance d'observation (accommodation) peuvent générer des conflits d'indices visuels.



Perception de la profondeur par vision stéréoscopique

### *Réflexes visuels*

Un certain nombre de réflexes visuels nous permettent d'observer un paysage en mouvement (nystagmus optocinétique), des objets se déplaçant (poursuite, saccade) ou de maintenir notre regard dans une même direction, quand on tourne la tête (pour anticiper par exemple la position future d'un objet). La rapidité de ce dernier, appelé VOR (réflexe vestibulo-oculaire), fait que pour une cohérence de perception visuelle dans l'observation avec un casque de visualisation le délai de réponse du système de visualisation (acquisition de position, génération et affichage d'image) doit être très court, si possible moins d'une dizaine de millisecondes, ce qui explique les difficultés rencontrées dans leur utilisation actuelle. Cet exemple montre l'importance de la coordination visio-vestibulaire en simulation.

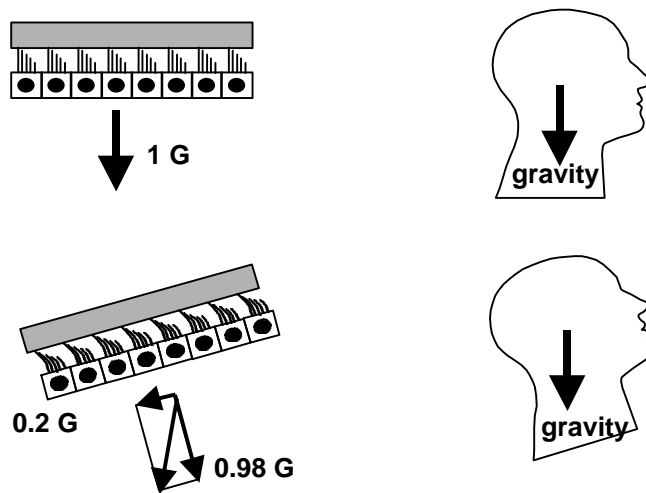
## **3. Systèmes de restitution de mouvement**

Pour la perception des mouvements de soi (proprioception) et le contrôle de la posture, l'homme fait appel à son système musculaire, musculo-articulaire et surtout vestibulaire.

### *Perception vestibulaire*

Dans l'oreille interne nous disposons, juxtaposés au système auditif, d'organes vestibulaires (otolithes et canaux semi-circulaires), responsables de la perception des mouvements linéaires et des mouvements rotationnels.

Les cellules réceptrices des otolithes permettent, par la détection de l'inclinaison de celles-ci, de mesurer les accélérations linéaires. Par l'équivalence de l'accélération gravitationnelle avec celle linéaire, elles permettent aussi de mesurer l'inclinaison de la tête. Ce fait est exploité par les plates-formes mobiles pour restituer les sensations d'accélération latérale ou longitudinale, ressenties par le conducteur dans les virages ou lors des accélérations ou des freinages [5].



Équivalence entre accélération gravitationnelle et linéaire

Pour placer la plate-forme mobile dans une position pour simuler une accélération soutenue, le temps d'exécution doit rester en dessous d'un certain seuil, sinon un effet inverse pourrait être perçu. Pour un mouvement linéaire par exemple, un seuil de .01g est en général respecté ; en effet pour le ressentir le système otolithique mettrait plus de 5 s [5]. Les plates-formes utilisées par la plupart des simulateurs [6,7,8] comportent 6 axes (et souvent de technologie électromécanique) permettant d'effectuer des mouvements linéaires et rotationnels. Des limites de mouvement rotationnel sont à respecter à cause des effets perceptuels induits, par exemple des mouvements de basculement importants entraînent une modification dans la perception de l'horizon dans le sens du mouvement entre 20 et 60° approximativement (effet de Müller) et dans le sens contraire entre 70 et 90° approximativement.



La plate-forme mobile électromécanique à 6 axes du simulateur de formation de conducteur de véhicule poids lourd TRaCS

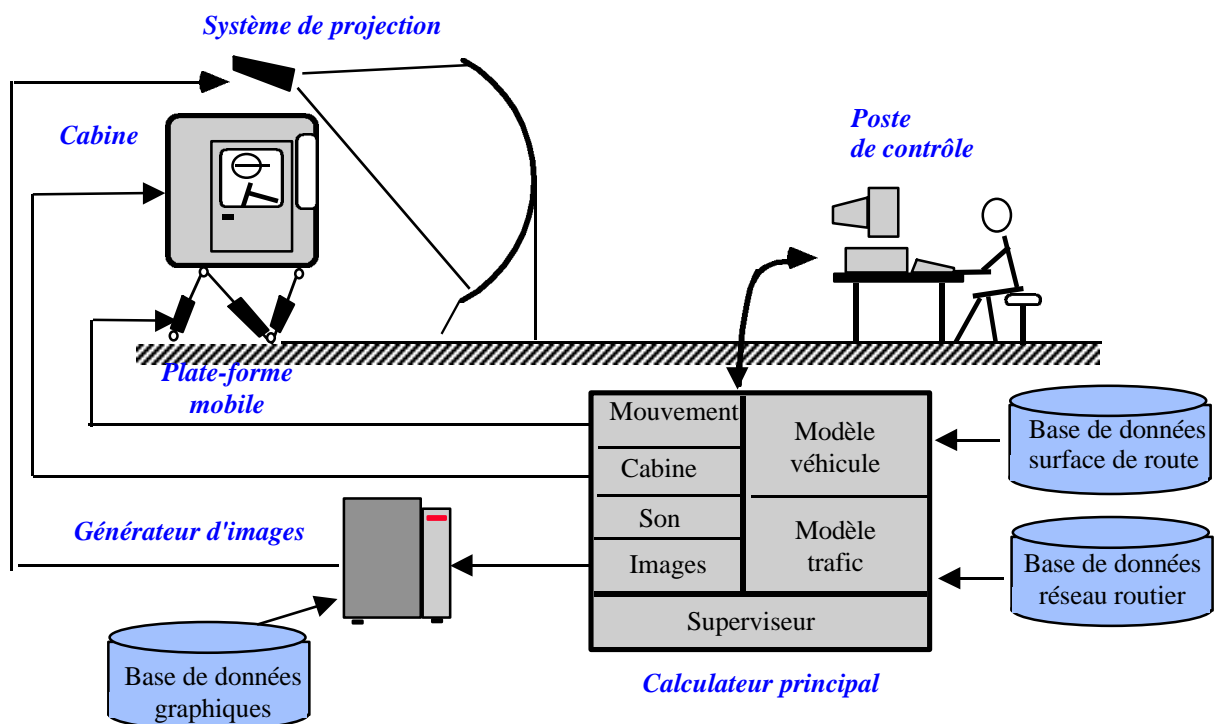
Cependant, pour la restitution des mouvements transitoires horizontaux des actuateurs linéaires sur rails doivent être utilisés [9]. De plus, ces plates-formes travaillant dans des domaines fréquentiels faibles, des plates-formes additionnelles ou sièges vibrants peuvent être utilisés pour restituer le contact au sol à une fréquence de 0 à 30Hz.

#### 4. Intégration proprioceptive de la restitution des mouvements

La perception du mouvement est stimulée à la fois par le système de visualisation et le système de restitution mécanique.

Le basculement du poste de conduite ne doit pas entraîner une modification des références visuelles, tel l'horizon perçu, pour ne pas introduire des conflits visio-vestibulaires. Si le visuel n'est pas embarqué par exemple, une correction visuelle doit être effectuée et celle-ci avec une synchronisation suffisamment précise pour que l'utilisateur ne sente pas de décalage entre les stimuli visuels et vestibulaires. Elle doit assurer une stabilité de l'horizon perçu lors des mouvements à accélération non nulle.

Dans la sensation du mouvement, une information cruciale est donnée par le retour d'effort au volant perçu par les récepteurs musculaires et musculo-articulaires de l'homme. Ce retour kinesthésique, le plus important peut-être pour la conduite sur simulateur, est difficile à rendre correctement et cela en grande partie à cause de délai de réponse du système de simulation complet.



Architecture de simulateur dynamique

### *Transport delay*

Le délai écoulé entre l'action du conducteur et le résultat dans la restitution de stimuli perceptuels introduit des malaises (mal de simulateur) s'il est trop différent de ce qui est ressenti lors de la conduite d'un véhicule réel. La recommandation de la Federal Aviation Administration pour ce paramètre dans le cas des simulateurs de vol [10] est de 150-300 ms, mais dans le cas des simulateurs de conduite de véhicule il est beaucoup plus faible, rendant même le simulateur difficile à conduire au-delà d'un délai de réponse de 50 ms[11]. Cela est dû notamment au contact au sol induisant des variations d'accélération plus forte que dans le cas des avions civils.

L'emploi des casques de visualisation stéréoscopiques impose des délais de réponse encore plus faibles (cf. plus haut), pour ne pas introduire des malaises lors des mouvements de tête, notamment à cause du réflexe visio-vestibulaire. Des mesures précises sur simulateur seront nécessaires pour établir des limites de stabilité de l'image rétinienne lors des mouvements de tête volontaires à accélération non nulle.



Image de scène et de poste de conduite affiché dans un casque de visualisation

### *Validation*

Si des nombreuses études [11, 12, 13] ont déjà été effectuées pour caractériser la qualité de la restitution visuelle en simulation, celles-ci restent à mener pour étudier le rôle respectif des stimuli visuel et vestibulaire dans la perception du mouvement. Elles devront porter sur la mesure des stimuli sensoriels lors des tâches de conduite, telles que le maintien de trajectoire ou de vitesse. Le rôle des informations cognitives ne doit pas être ignoré dans ce cas (influence du trafic sur la perception de la vitesse par exemple). Tout un programme que nous devons mettre en application les années à venir.



## 5. Références:

1. Lee, D.N., 1976, A theory of visual control of braking based on information about time-to-collision, *Perception*, 5, pp.437-459
2. Kemeny, A. 1987, Synthèse d'images fixes et animées, *Techniques de l'ingénieur*, Paris, 1987, 5530, pp.1-21
3. Joubert, T., Kelada, J.M. and Kemeny, A., 1997, Display systems for truck training simulators, *Proceedings of ITEC, Lausanne, April, 1997*, pp.421-426
4. Viénot, F. 1999, Le modèle d'apparence colorée CIECAM 97s de la Commission internationale de l'éclairage, Objectifs et pratique, Séminaire Renault Synthèse d'image pour la simulation de conduite, Guyancourt, Juin, 1999, *In press*.
5. Boff, K.R. and Lincoln, J.E., 1988, The vestibular system *in* *Engineering data Compendium: Human Perception and Performance*, AAMRL, Wright-Patterson AFB, OH, 1988, pp.766-787
6. Nordmark, S., 1992, The new Trygg Hansa Truck Driving Simulator, *Proceedings of AVEC, Yoloehoma, Sep, 1992*
7. Käding, W., 1994, The Daimler-Benz driving simulator, *Proceeding of the RTS'94 Driving Simulation Conference, Paris, Jan., 1994*, pp.94-106
8. Kelada, J.M., Kemeny, A. and Lailler, D., 1997, Scenario control tools for a dynamic truck simulator, *Proceedings of the DSC'97, Lyons, Sep.1997*, pp.215-226
9. Schill, V., Schmieder, H. and Gottlieb, W., 1997, Car research using virtual reality at Daimler-Benz, *Proceedings of the DSC'97, Lyons, Sep.1997*, pp.35-44
10. Federal Aviation Administration, 1991, Airplane simulator qualifications, *Advisory Circular AC 120-40B*
11. Bloche, Kemeny, A. and Reymond G., 1997, Transport delay analysis in driving simulators with head mounted displays, *Proceedings of the DSC'97, France, Sep.1997*, pp.85-98
12. Warner, H.D., Serfoss, G.L., Baruch, T.M. and Hubbard, D.C., 1993, Flight simulator induced sickness and visual displays evaluation, Final technical report AL/HR-TR-1993-0056, Brook AFB : Armstrong Laboratory, Air Force Material Command
13. Snowden, R.J., Stimpson, N., Ruddle, R.A., 1998, Speed perception fogs up as visibility drops. *Nature* 392:2, 450.