

THÈSE DE DOCTORAT
Immersion Visuelle Hyper-Réaliste et
Multi-Sensorielle 3D

TABLE DES MATIÈRES

Table des figures	iv
Liste des tableaux	v
I Partie expérimentale : contraste et luminance	1
Introduction	2
1 Modèles de Rea	3
1.1 Première modélisation de la performance visuelle relative	3
1.1.1 Modèle précurseur	3
1.1.2 Application à la performance visuelle	4
1.2 Méthode des temps de réaction	5
1.2.1 Protocole expérimental	5
1.2.2 Calcul des temps de réaction théoriques	7

TABLE DES FIGURES

1.1	Illustration de l'effet de compression. Image tirée de [Naka & Rushton, 1966]	4
1.2	Installation de l'expérimentation de Rea et Ouellette. Image tirée de [Rea & Ouellette, 1988]	6

LISTE DES TABLEAUX

Première partie

Partie expérimentale : contraste et luminance

INTRODUCTION

Dans le chapitre précédent, on a décrit deux approches possibles pour le critère de contraste et de luminance : les fonctions de sensibilité au contraste et la performance visuelle relative. Si les premières sont assez limitées, notamment car elles ne déterminent qu'un seuil à partir duquel un élément devient visible et non pas sa visibilité en fonction des conditions d'illumination, le concept de performance visuelle est intéressant. On en a présenté les deux principales modélisations : le modèle de Blackwell et de la CIE [Blackwell & Blackwell, 1971], puissant mais hermétique, et le modèle de Rea et ses évolutions [Rea, 1986]. On a également pointé le fait que ces modèles, bien qu'intéressants, n'étaient pas à l'origine conçus pour la réalité virtuelle et nécessitaient donc une vérification expérimentale.

Il a été nécessaire de choisir entre les deux modèles, celui de Rea et celui de la CIE/Blackwell. Le modèle de Blackwell semble plus complet avec une portée d'action comprise en 1 et 10000 cd/m^2 et un calcul basé sur trois processus de vision, décrits comme principaux, impliqués dans la reconnaissance des détails de la tâche à effectuer, dans le maintien des yeux en position fixe pendant les périodes de fixation, et enfin, dans la réalisation de mouvements rapides des yeux (les saccades). Néanmoins, le modèle de la CIE est une boîte noire générée à partir de la mise en commun des travaux d'un certain nombre de chercheurs. Il n'existe pas d'expérimentation détaillée qui puisse être refaite, et à fortiori, encore moins en réalité virtuelle.

De l'autre côté, le modèle de Rea est plus limité en portée (entre 12 et 169 cd/m^2) mais présente en détail tout le protocole qui a été mis en œuvre pour développer les équations de performance visuelle. De plus, l'intervalle de fonctionnement du modèle correspond relativement bien aux luminances atteignables dans un simulateur et n'est donc pas très contraignant.

L'objectif de cette partie est donc de vérifier par l'expérimentation, dans un simulateur, les prédictions de performance du modèle de Rea. Pour ce faire, on a transposé en réalité virtuelle l'une des expérimentations mise en place par Rea et Ouellette pour déterminer leur modèle.

CHAPITRE

1

MODÈLES DE REA

1.1 Première modélisation de la performance visuelle relative

Les sections suivantes décrivent brièvement le contexte et les premiers travaux de Rea qui l'ont mené à proposer sa propre modélisation de la performance visuelle [Rea, 1987, 1986], définie comme étant la vitesse et la précision atteintes pendant la réalisation d'une tâche visuelle.

1.1.1 Modèle précurseur

Le premier modèle de Rea est directement inspiré de l'effet de compression proposé par [Naka & Rushton, 1966] qui modélise qu'à partir d'un certain niveau d'intensité, lorsque l'intensité du stimulus augmente la réponse sensorielle associée augmente de moins en moins jusqu'à atteindre une forme de plateau (Fig. 1.1) Les différentes courbes représentent les longueurs d'onde des lumières de couleur utilisées. Cet effet est modélisé de la manière suivante : $\frac{R}{R_{max}} = \frac{I^n}{I^n + k^n}$.

Dans cette équation, le rapport de la réponse sensorielle (R) sur la réponse sensorielle maximale (R_{max}) est égal au rapport de l'intensité I montée à une puissance n déterminée sur la somme de cette même intensité I montée à la puissance n et d'une intensité k , également montée à la puissance n , telle que la réponse à l'intensité k est égale à la moitié de la réponse sensorielle maximale : $R(k) = \frac{R_{max}}{2}$.

On peut faire l'analogie suivante pour donner un bon exemple de l'effet de compression : si dans une pièce on allume une deuxième ampoule d'égale intensité, la sensation de lumi-

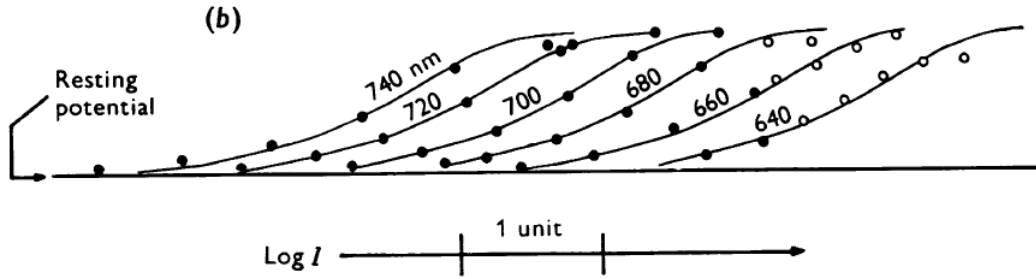


FIGURE 1.1 – Illustration de l'effet de compression. Image tirée de [Naka & Rushton, 1966]

nosité va grandement augmenter. Au contraire, si on rajoute une ampoule dans une pièce dans laquelle déjà mille ampoules sont allumées, la différence de luminosité perçue sera minime.

1.1.2 Application à la performance visuelle

Rea s'est imposé deux règles pour la conception de son modèle : la performance visuelle doit être issue d'une performance à la réalisation d'une tâche et le modèle doit être cohérent avec la littérature, notamment avec l'effet de compression que l'on vient de décrire.

Le stimulus est décrit (Eq. 1.3) comme la différence entre le seuil de contraste C_t , calculé avec la formule de Blackwell (Eq. 1.1), qui représente le contraste minimal à partir duquel la perception devient possible en fonction de la luminosité du fond (L_B) et le contraste visuel C_V qui correspond au contraste entre la luminosité du fond et la luminosité de la tâche visuelle (Eq. 1.1).

$$C_t = 0.048 \left[\left(\frac{0.308}{L_B} \right)^{0.4} + 1.0 \right]^{2.5} \quad (1.1)$$

$$C_V = \frac{L_B - L_T}{L_B} \quad (1.2)$$

$$\Delta C = C_V - C_t \quad (1.3)$$

Les calculs suivants sont ensuite tirés de régressions polynomiales de degré 2 faites avec leurs données expérimentales :

$$\begin{cases} n = 0.882 + 4.38\theta_1 - 6.05\theta_1^2 \\ \theta_1 = \log(\log(L_B)) \end{cases} \quad (1.4)$$

$$\begin{cases} k = -2.25 + 1.77\theta_2 - 0.217\theta_2^2 \\ \theta_2 = \log(L_B) \end{cases} \quad (1.5)$$

$$VP_{max} = 0.0628 + 0.0120\theta_2 - 0.00268\theta_2^2 \quad (1.6)$$

Au final, la performance visuelle s'écrit de la manière suivante (Eq. 1.7) :

$$VP = \frac{(\Delta C)^n}{(\Delta C)^n + (k/L_B)^n} \quad (1.7)$$

Et $RVP = \frac{VP}{f}$ avec f la valeur de VP_{max} dans les meilleurs conditions (luminance et contraste maximaux). Dans le cas de l'expérimentation de Rea, $f = 0.076$.

Les résultats de cette expérimentation permettent à l'auteur de dégager trois tendances :

- A contraste constant, la performance augmente avec la luminance,
- La performance augmente plus rapidement avec le contraste lorsque les conditions de luminance sont plus élevées,
- La performance varie assez peu entre des conditions moyenne et supérieure de contraste.

1.2 Méthode des temps de réaction

Rea et Ouellette complètent la démarche initiale de Rea en proposant une méthode pour établir la performance visuelle d'un sujet, basée sur la mesure et la prédiction des temps de réaction de ce dernier à l'apparition d'un stimulus visuel calibré [Rea & Ouellette, 1988, 1991]. C'est cette modélisation que l'on va chercher à traduire en réalité virtuelle afin de déterminer si elle est utilisable dans le cadre de notre score de réalisme, pour le critère de contraste et de luminance.

1.2.1 Protocole expérimental

L'objectif était de mesurer le temps de réaction des sujets à l'apparition d'une cible sur un écran. La couleur de la cible était calibrée pour obtenir un contraste choisi par rapport au fond sur lequel elle était affichée (l'écran, en l'occurrence).

L'expérimentation était découpée en deux parties : une première série de mesures pour des cibles plus foncées que le fond sur lequel elles étaient présentées (méthode décrémentationale) puis une autre série de mesures avec des cibles plus claires que le fond de présentation (méthode incrémentale).

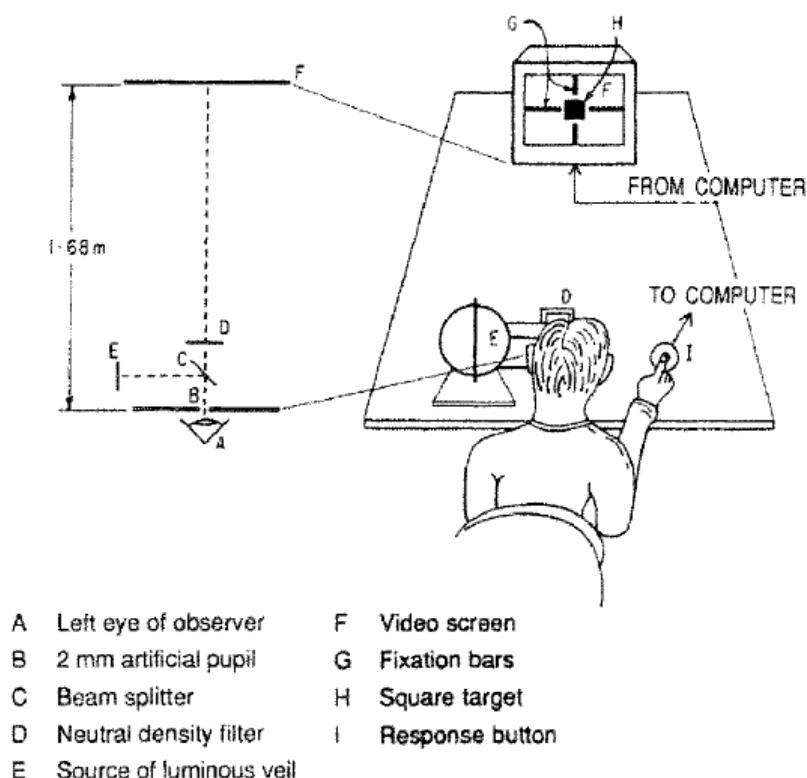


FIGURE 1.2 – Installation de l'expérimentation de Rea et Ouellette. Image tirée de [Rea & Ouellette, 1988]

Les cibles, un carré, étaient présentées à 1.68 m de l'œil du sujet sur un écran occupant 12 *degrs* de champ de vision horizontal et 7 *degr* de champ de vision vertical. Toutes les cibles étaient vues avec l'œil gauche, à travers un filtre neutre réglable et avec l'ajout d'une voile lumineuse artificiel directement au niveau de l'œil (Fig. 1.2).

Le contraste du carré était calculé en utilisant l'équation suivante (Eq. 1.8) :

$$C = \frac{|(TL_b + L_v) - (TL_t + L_v)|}{TL_b + L_v} = \frac{T|L_b - L_t|}{L_a} \quad (1.8)$$

Avec T la valeur de transmittance du filtre (entre 0 et 1), L_b la luminance du fond de l'écran, L_t la luminance du carré à détecter et L_v la luminance de voile ajoutée artificiellement. L_a représente quand à elle la valeur de la luminance d'adaptation, c'est à dire la valeur pour laquelle l'œil et tout le système optique se sont réglés (avec par exemple l'adaptation du diamètre pupillaire).

Chaque apparition de cible était espacée d'une temporisation de 1.5 *seconde* puis d'une temporisation aléatoire variant entre 1 et 3 secondes. La taille de la tache visuelle était variable entre 0.20 et 280×10^{-5} *steradians*.

Chaque sujet a enregistré 19200 mesures de temps de réaction pour la partie décrolementale et 3625 mesures pour la partie incrémentale.

1.2.2 Calcul des temps de réaction théoriques

Une fois toutes les mesures effectuées, cela a permis de rétablir une équation de performance avec une protocole similaire à la première modélisation et décrit plus haut. Le détail de ces calculs est présenté en annexes et on retiendra ici seulement l'équation suivante (Eq. 1.9) :

$$R = \frac{(\Delta C_d)^{0.97}}{(\Delta C_d)^{0.97} + K^{0.97}} \quad (1.9)$$

De cette équation qui décrit la performance du sujet à détecter l'apparition de la tache visuelle en fonction des conditions d'illumination et de contraste, on dérive le temps de réaction en prenant simplement l'inverse de la performance (Eq. 1.10) :

$$RT = \frac{1}{R} \quad (1.10)$$

Cela permet d'avoir un comportement logique dans les résultats avec un temps de réaction qui diminue quand la performance augmente et inversement.

De plus, cette performance R liée au temps de réaction, ainsi calculée, peut être reliée au modèle initial de performance visuelle relative. Cela nécessite d'appliquer deux opérations sur l'ensemble des résultats mesurés dans les deux expérimentation pour les mêmes conditions d'illumination, de contraste et de taille de cible : le calcul de ΔT_{vis} : la variation du temps de réaction par rapport au temps obtenu dans les meilleures conditions expérimentales (Eq. 1.11) et vient ensuite une transformation linéaire (Eq. 1.12) :

$$\Delta T_{vis} = RT_{ref} - RT \quad (1.11)$$

$$RVP = RVP' \left(\frac{\Delta T_{vis} - \Delta T_{vis,r}}{\Delta T'_{vis} - \Delta T_{vis,r}} \right) \quad (1.12)$$

Avec RT_{ref} le temps de réaction « étalon » obtenu dans les meilleures conditions expérimentales, RVP' la valeur maximale de performance visuelle pour le jeu commun de conditions expérimentales, $\Delta T'_{vis}$ la meilleure valeur pour le jeu commun et enfin $\Delta T_{vis,r}$ l'estimation de ΔT_{vis} au seuil de contraste de lisibilité.

On sait donc désormais calculer la performance théorique et donc les temps de réaction théoriques à l'apparition d'une tache visuelle en fonction des conditions de luminance, de contraste et de taille de la cible. Il reste donc à mesurer empiriquement nos propres temps de réactions pour les comparer.

Bibliographie

Blackwell, O. Mortenson, & Blackwell, H. Richard. 1971. IERI : Visual Performance Data for 156 Normal Observers of Various Ages. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, **1**(1), 3–13.

Naka, K. I., & Rushton, W. A. H. 1966. An attempt to analyse colour reception by electrophysiology. *The Journal of Physiology*, **185**(3), 556–586.

Rea, M. S. 1987. Toward a Model of Visual Performance : A Review of Methodologies. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, **16**(1), 128–142.

Rea, M. S., & Ouellette, M. J. 1988. Visual performance using reaction times. *Lighting Research and Technology*, **20**(4), 139–153.

Rea, Mark S. 1986. Toward a Model of Visual Performance : Foundations and Data. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, **15**(2), 41–57.

Rea, Mark S., & Ouellette, Michael J. 1991. Relative visual performance : A basis for application. *Lighting Research and Technology*, **23**(3), 135–144.