

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

# TABLE DES MATIÈRES

<b>Table des figures</b>	<b>iv</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>v</b>
<b>1 Protocole expérimental</b>	<b>1</b>
1.1 Dispositif . . . . .	1
1.1.1 Hypothèses de travail . . . . .	1
1.1.2 Sujets & matériel . . . . .	2
1.1.3 Tâche à effectuer . . . . .	3
1.2 Choix des conditions expérimentales . . . . .	4
1.2.1 Luminance . . . . .	4
1.2.2 Contraste . . . . .	6
<b>2 Résultats</b>	<b>9</b>
2.1 Prédictions du modèle théorique . . . . .	9
2.2 Mesures réelles . . . . .	9



# TABLE DES FIGURES

1.1 Répartitions des sujets pour les expérimentation de contraste/luminance et de comparaison objective/subjective. . . . .	2
1.2 Déroulement global de l'expérimentation contraste/lumimance. . . . .	4
1.3 Déroulement d'une session de mesure de temps de réactions pour une luminance de fond donnée. . . . .	5
2.1 Performance théorique et réelle pour l'expérimentation de détection des stimuli contrastés, conditions 0 et 32. . . . .	11
2.2 Performance théorique et réelle pour l'expérimentation de détection des stimuli contrastés, conditions 80 et 128. . . . .	11
2.3 Performance théorique et réelle pour l'expérimentation de détection des stimuli contrastés, conditions 176 et 255. . . . .	13

# LISTE DES TABLEAUX

1.1	Valeurs des nuances de gris du stimulus nécessaire pour afficher un contraste par valeur supérieur désiré. . . . .	8
1.2	Valeurs des nuances de gris du stimulus nécessaire pour afficher un contraste par valeur supérieur désiré. . . . .	8
2.1	Temps de réaction théoriques (en ms) prédits par le modèle de Rea et Ouellette.	10
2.2	Temps de réaction moyens réels (en ms) mesurés pendant l'expérimentation et leurs écart-types. . . . .	12



## CHAPITRE

# 1

# PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

## 1.1 Dispositif

### 1.1.1 Hypothèses de travail

La première et principale hypothèse nécessaire au déroulement de cette expérimentation est que la luminance d'adaptation est considérée comme étant égale à la luminance de background : toutes les sources de luminosité parasites (voyants des ordinateurs, luminosité filtrant par la porte, ...) et la luminosité de la tache à visualiser sont jugées sans influences par rapport à la taille et à la puissance de la source lumineuse qu'est le background.

Cette hypothèse est à un impact à plusieurs niveaux dans l'expérimentation : elle caractérise la valeur de la luminance sensée arriver à l'œil mais elle permet également une simplification dans l'équation de calcul des contrastes proposés aux sujets (voir plus bas, section 1.2.2).

La seconde hypothèse est plus spécifique et concerne également l'équation de calcul du contraste. Rea et Ouellette utilisaient un filtre variable devant l'œil de leurs sujets pour atténuer l'intensité lumineuse et ont donc inclus une valeur de transmittance de ce filtre dans leur calcul du contraste. Nous n'utiliserons pas de filtre (l'expérimentation se déroule entièrement en 2D et donc sans lunettes stéréoscopique) et nous faisons l'hypothèse que cela revient à prendre une transmittance « parfaite », c'est à dire de valeur maximale  $T = 1$ .

Enfin, une dernière hypothèse concerne le mode opératoire directement. Même en ayant pris le plus grand soin possible avec un certain nombre de mesures préliminaires, on fait l'hypothèse qu'il est effectivement possible de reproduire l'expérimentation effectuée par

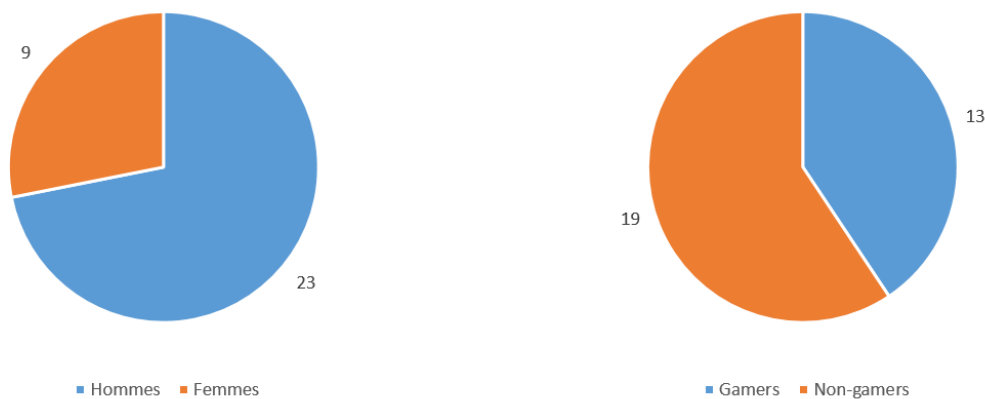


FIGURE 1.1 – Répartitions des sujets pour les expérimentation de contraste/luminance et de comparaison objective/subjective.

Rea et Ouellette et de la « traduire » en Réalité Virtuelle.

On rappelle que pour ce faire, on a calqué de la manière la fidèle possible notre mode opératoire sur le leur. Il existe néanmoins des différences, que ce soit sur l'outillage et la manière d'afficher les stimuli visuels mais également sur le nombre de sujets et surtout la quantité d'essai réalisés (dithyrambique du côté de Rea et Ouellette). L'influence du nombre d'essais réalisés est néanmoins nuancé par le fait qu'on effectue une vérification d'application du modèle contrairement à l'établissement d'une modèle à partir de zéro.

Afin d'éviter tout biais de la part des projecteurs, le passage des sujets s'est fait dans une période de temps rapprochée et avec une période de chauffe de 1h avant le premier sujet de la journée pour que les projecteurs soient stabilisés, comme recommandé par la CIE (IEC 61966-6 :2005).

## 1.1.2 Sujets & matériel

On réunit un total de 32 sujets (Fig. 1.1) pour cette expérimentation, les même que pour l'étude expérimentale décrite dans la partie précédente (Cf. ??). Ces derniers sont volontairement choisis jeunes (entre 20 et 27 ans) pour minimiser l'impact de la dégradation de la vision avec l'âge. Tous les sujets ont donc une vision parfaite, ou corrigée et assimilée parfaite. La moyenne d'âge est de 25 ans, avec un écart-type de 1,8 ans.

De même, les conditions matérielles sont identiques que pour la première expérimentation : dans un simulateur de type CAVE, les sujets sont assis dans un fauteuil de voiture, la tête bien calée dans l'appui-tête. Néanmoins, pour cette expérimentation, les sujets n'utilisent pas de lunettes stéréoscopiques. L'expérimentation se fait donc en affichage monoscopique. Les sujets sont placés de manière à avoir les yeux à 2 mètres du centre de l'écran « principal », la face avant.



### 1.1.3 Tâche à effectuer

L'expérimentation se déroulait en plusieurs étapes. La première consistait simplement en un petit questionnaire visant à relever quelques informations sur le sujet en lui-même : âge, défauts éventuels et correction de vision, sexe, pratique des jeux vidéo. S'en suivait alors l'installation du sujet dans le simulateur et une explication de la tâche à effectuer pour l'expérimentation.

De manière analogue aux expérimentations de Rea et Ouellette, les sujets devaient réagir à l'apparition de petits stimuli visuels sous la forme de disques uniformes de couleur sur un fond uniforme. La consigne était d'appuyer le plus vite possible, dès la perception du stimulus, sur un bouton spécifique (et toujours le même) d'une manette de console. Les couleurs uniformes des cibles et du fond étaient des nuances de gris choisies telles que les valeurs de luminance aux niveaux des yeux et de contraste de l'un par rapport à l'autre soient parfaitement connues (voir plus bas).

La seconde étape était une session blanche d'apparition de stimuli, c'est à dire sans stockage des mesures de temps de réaction, pour assurer une bonne prise en main de la tâche à effectuer, limiter le biais de la découverte et ainsi s'assurer que les temps de réactions mesurés sont les meilleurs. Le nombre de stimuli était légèrement plus faible que pour les sessions normales. La luminance choisie pour la session d'essai était différente de toutes les autres et choisie au milieu du spectre pour éviter tout biais d'habituation.

Les étapes suivantes consistaient au déroulement des différentes sessions (voir le logigramme de déroulement global en Fig. 1.2. Le sous-logigramme « CIBLES » est présenté en Fig. 1.3), une pour chaque condition de luminance. Après chaque session, les conditions lumineuses étaient immédiatement réglées pour la session suivante puis un temps d'attente de 3 à 5 minutes était observé pour permettre aux yeux du sujet de s'adapter à la nouvelle luminance de fond. La consigne était de garder le regard sur les écrans du simulateur. Une fois le sujet adapté aux conditions lumineuses, il pouvait lancer de lui-même l'apparition des stimuli en appuyant sur un autre bouton spécifique de la manette de console.

L'ordre des luminances de fond proposées aux sujets était semi-aléatoire : distribution aléatoire pour chaque sujet mais de telle manière, qu'au global, autant de sujets aient rencontré la condition lumineuse  $p$  en  $k$ -ième position. Par exemple, autant de sujets ont eu la condition de luminance la plus sombre en première session, qu'en deuxième, qu'en troisième, etc.

Tous les contrastes définis et possibles (voir plus bas, section 1.2.2) sont proposés au sujet pour chaque niveau de luminance. La présentation se fait dans un ordre aléatoire grâce à l'algorithme de mélange de Fisher-Yates (auss appelé *Algorithme P*, voir paragraphe suivant). Le mélange se fait à chaque nouvelle condition lumineuse mise en place : tous les sujets ont donc eu potentiellement une série différente à chaque fois et il n'était pas possible de prédire l'ordre avant de lancer l'apparition des cibles. L'apparition de chaque cible était espacée à chaque fois d'un temps incompressible de 1000 ms auquel s'ajoutait un temps aléatoire compris en 2000 et 4000 ms.

Le principe de fonctionnement du mélange de Fisher-Yates, pour mélanger un tableau « T »

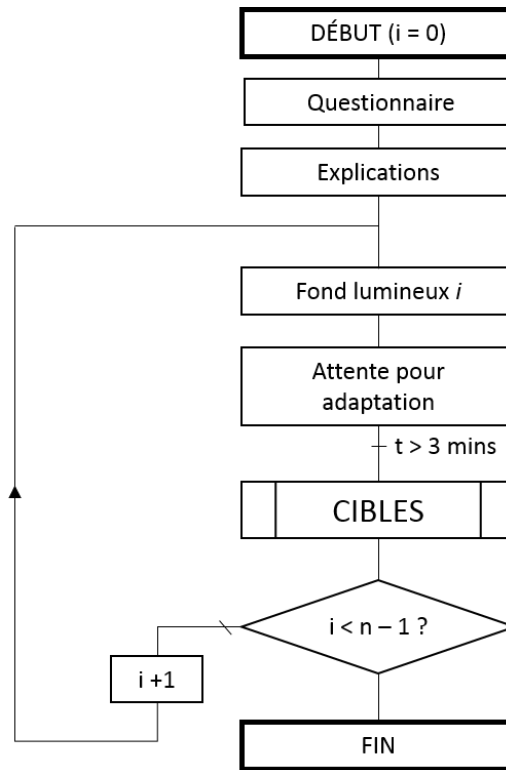


FIGURE 1.2 – Déroulement global de l'expérimentation contraste/luminance.

de  $n$  éléments (indices allant de 0 à  $n - 1$ ), est le suivant :

Pour  $i$  allant de  $n-1$  à 1 faire :  
 $j \leftarrow$  entier aléatoire entre 0 et  $i$   
 échanger  $T[j]$  et  $T[i]$

L'algorithme a une complexité linéaire et donne toutes les permutations avec la même probabilité. Il a été pensé de telle sorte que chaque élément du tableau ne bouge qu'une seule fois.

Le déroulement d'une session, c'est à dire à un niveau de luminance donné, est résumé dans le logigramme en Fig. 1.3.

## 1.2 Choix des conditions expérimentales

### 1.2.1 Luminance

Les conditions lumineuses de fond sont choisies de manière arbitraire, espacées régulièrement sur l'axe 0-255 bits (valeurs minimale et maximale pour coder une couleur sur 8 bits), d'une valeur d'au moins 32 bits (soit au moins 1/8ème de la plage totale de gris). On choisit

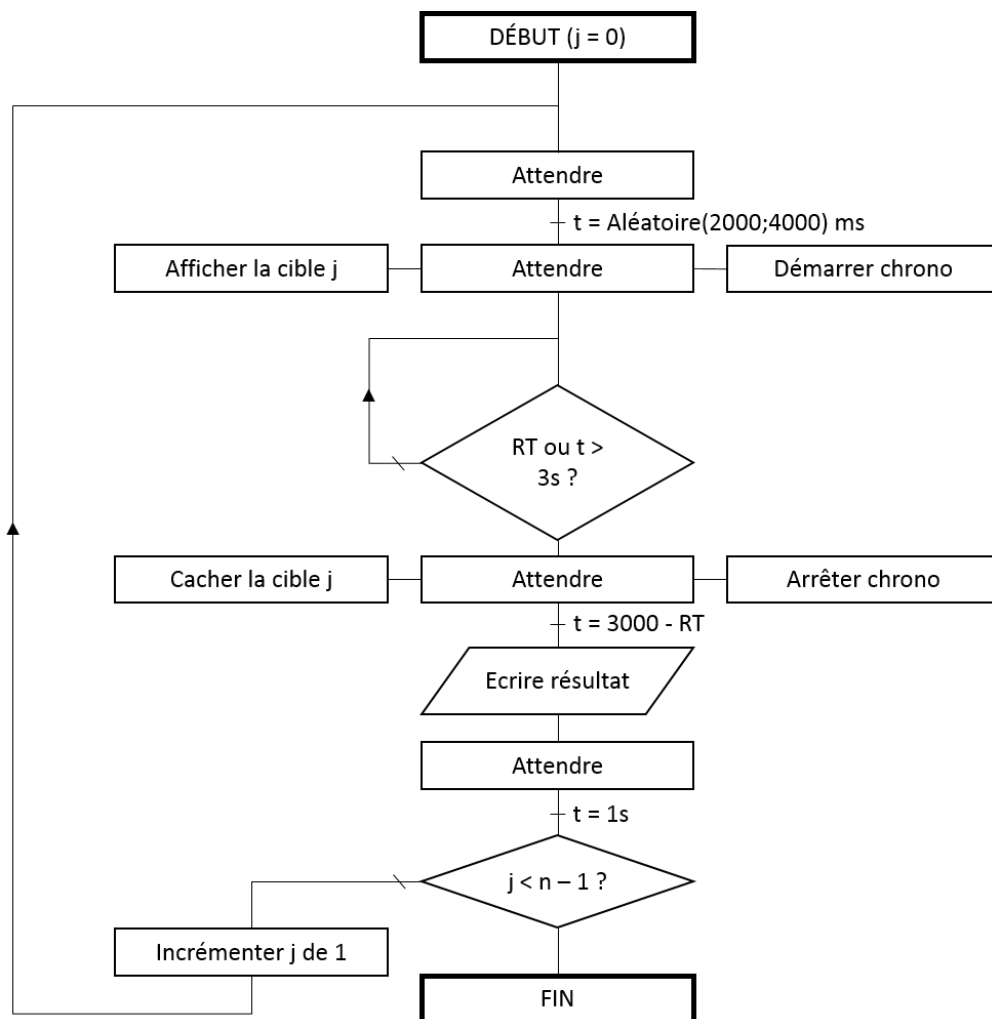


FIGURE 1.3 – Déroulement d’une session de mesure de temps de réactions pour une luminance de fond donnée.

évidemment les conditions extrêmes, à savoir la luminance liée à un background entièrement noir et la luminance liée à un background entièrement blanc. On choisit également la luminance associée au gris médian, c'est à dire 128 bits pour chacune des composantes R, G et B de la couleur affichée. Comme on a pu voir précédemment dans le chapitre sur les mesures préliminaires préalables au bon déroulement de l'expérimentation, les niveaux de luminance choisis sont associés aux niveaux de gris 0, 32, 80, 128, 176 et 255. On se limite à 6 conditions lumineuses différentes dans un souci de temps requis pour faire passer les sujets sur tous les niveaux, pour tous les contrastes calculés.

Tous nos niveaux de luminance sont compris dans les conditions pour lesquelles Rea et Ouellette ont établi leur modèle. Les limites de ce dernier sont fixées entre 0.53 et 801  $Td$  (Trolands<sup>1</sup>) vus à travers une pupille artificielle d'un diamètre de 2 mm. Cela équivaut donc à des extrema lumineux à respectivement 0.17  $cd/m^2$  et environ 255  $cd/m^2$  ; tandis que nos extrema sont situés à 0.53  $cd/m^2$  pour la condition la plus sombre et 42.82  $cd/m^2$  pour la condition la plus claire.

## 1.2.2 Contraste

Pour calculer les différents niveaux de contraste que l'on va proposer aux sujets, on se base sur la même équation de contraste utilisée par Rea et Ouellette (Eq. 1.1). Cette dernière permet de calculer des valeurs de contraste comprises entre 0 et 1. On choisit, dans la mesure du possible (voir plus bas), de prendre des valeurs de contraste à intervalle régulier sur l'axe 0-1, espacés d'un dixième au maximum et d'un vingtième pour détailler la partie 0-0.25 de l'axe. Les valeurs de contraste cible/fond à atteindre sont donc : 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 et 1 ; soit 13 valeurs. On peut atteindre ces valeurs de contraste par valeur « inférieure » c'est à dire avec une cible plus sombre que le fond (typiquement une cible grise sur fond blanc), mais également par valeur « supérieure », c'est à dire avec une cible plus claire que le fond sur laquelle elle est affichée. Cela nous donne un total maximal théorique de 26 contrastes différents à tester par niveau de luminosité. Néanmoins, dans la plupart des cas, il n'est pas possible d'afficher tous les contrastes souhaités voire de ne pas pouvoir afficher du tout soit les contrastes « par valeur supérieure », soit les contrastes « par valeur inférieure ». Typiquement, dans la condition de fond entièrement noir, il n'est pas possible d'afficher des cibles plus sombres et on ne peut donc avoir que des contrastes « supérieurs ».

$$C = \frac{|(TL_b + L_v) - (TL_t + L_v)|}{TL_b + L_v} = \frac{T|L_b - L_t|}{L_a} \quad (1.1)$$

Il est maintenant nécessaire de déterminer quelle doit être la couleur du stimuli affiché, par rapport à la couleur du fond, pour atteindre précisément le contraste désiré. C'est ici que rentrent en jeu nos deux hypothèses préalablement établies (Cf. 1.1.1) : l'égalité entre la luminance d'adaptation et la luminance de background ( $L_a = L_B$ ) d'un côté et la transmittance prise à sa valeur maximale ( $T = 1$ ) de l'autre. On peut donc simplifier

---

1. Le Troland est une unité de luminance pupillaire, définie par l'équation suivante :  $Td = L \times p$  ; avec  $L$  la luminance qui arrive à l'œil en  $cd/m^2$  et  $p$  la surface de la pupille en  $mm^2$ .

l'équation 1.1 et la transformer en une équation adaptée à notre dispositif (Eq. 1.2), avec  $L_b$  la luminance du fond et  $L_t$  la luminance de la « target », le stimuli :

$$C = \frac{T|L_b - L_t|}{L_a} \Rightarrow C = \frac{|L_b - L_t|}{L_b} \quad (1.2)$$

Grâce aux régressions linéaires établies précédemment (cf. ), on peut écrire  $L_b$  et  $L_t$  comme des fonctions du niveau de gris dans notre simulateur, soit l'équation 1.3 avec  $B$  la valeur entre 0 et 255 associée à la nuance de gris du fond. De même, l'équation 1.4 avec  $T$  la valeur entre 0 et 255 associée à la nuance de gris de la cible, l'indice  $B$  étant relatif à la nuance de gris du fond :

$$L_b = f\left(\frac{B}{255}\right) \quad (1.3)$$

$$L_t = f_B\left(\frac{T}{255}\right) \quad (1.4)$$

On obtient donc, au final, l'équation suivante qui nous permet de calculer avec précision la valeur de la nuance de gris de la cible à afficher lorsque qu'on connaît la nuance de gris du fond pour afficher un contraste choisi (Eq. 1.5) :

$$C = \frac{|f\left(\frac{B}{255}\right) - f_B\left(\frac{T}{255}\right)|}{f\left(\frac{B}{255}\right)} \quad (1.5)$$

Néanmoins, comme décrit précédemment, on souhaite pouvoir calculer des contrastes « supérieurs » et « inférieurs », hors cette équation ne fonctionne que si la luminance de fond est supérieure à la luminance de la cible. Il faut donc adapter l'équation pour calculer les contrastes « supérieurs » (Eq. 1.6) :

$$C = \frac{|f\left(\frac{B}{255}\right) - f_B\left(\frac{T}{255}\right)|}{f_B\left(\frac{T}{255}\right)} \quad (1.6)$$

On présente dans les tables suivantes les valeurs de nuances de gris nécessaires pour afficher les contrastes par valeur « supérieure » (Tab. 1.1) et par valeur « inférieure » (Tab. 1.2). La première ligne donne les contrastes obtenus, la première colonne les niveaux de gris en background et le reste du tableau le niveau de gris du stimuli. On peut voir que notamment dans le cas du background le plus sombre, les valeurs ne varient que de 1 bit et donc qu'il ne serait pas possible avec notre système d'avoir un pas de variation du

contraste plus fin. On remarque que, pour les contrastes supérieurs 0.15 et 0.2 sur fond noir, la même valeur de gris est associée. Ce cas est unique et vient du fait que la régression linéaire est continue alors que l'on cherche des valeurs ponctuelles, pour des valeurs très proches ni l'arrondi ni la troncature ne permettent de les départager. On a donc ignoré une des deux valeurs pendant l'expérimentation.

TABLE 1.1 – Valeurs des nuances de gris du stimulus nécessaire pour afficher un contraste par valeur supérieur désiré.

<b>C</b>	<b>0.05</b>	<b>0.1</b>	<b>0.15</b>	<b>0.2</b>	<b>0.25</b>	<b>0.3</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>0.6</b>	<b>0.7</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>	<b>1</b>
<b>0</b>	16	17	18	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
<b>32</b>	33	35	36	37	38	39	41	42	44	46	47	49	50
<b>80</b>	85	88	90	93	95	98	102	106	110	114	118	121	125
<b>128</b>	133	138	142	147	151	156	164	172	180	187	195	203	211
<b>176</b>	182	190	198	206	214	222	239						
<b>255</b>													

TABLE 1.2 – Valeurs des nuances de gris du stimulus nécessaire pour afficher un contraste par valeur supérieur désiré.

<b>C</b>	<b>0.05</b>	<b>0.1</b>	<b>0.15</b>	<b>0.2</b>	<b>0.25</b>	<b>0.3</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>0.6</b>	<b>0.7</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>	<b>1</b>
<b>0</b>													
<b>32</b>	31	29	28	27	26	24	22	19	15				
<b>80</b>	79	76	74	71	69	66	61	57	52	47	52	37	31
<b>128</b>	123	118	114	109	105	101	93	85	78	70	62	52	40
<b>176</b>	167	160	153	147	140	135	123	112	101	91	79	67	50
<b>255</b>	232	218	206	196	186	177	161	146	132	117	102	86	66

A titre d'exemple, lorsque la couleur de background est un gris 128 (Code RGB = (128, 128, 128), pour afficher un stimulus contrasté par valeur supérieure à 0.3, il faut que la cible soit un gris 156, c'est à dire avec un code RGB égal à (156, 156, 156).

Maintenant que l'on a choisi les luminances de fond, que l'on sait à quelle nuance de gris elles correspondent, qu'on a choisi les contrastes que l'on voulait afficher et que l'on sait à quelles couleurs ils correspondent, on peut passer à la partie purement expérimentale et inviter des sujets à confronter leurs temps de réaction à l'apparition de nos stimuli calibrés. Les résultats théoriques et pratiques de ces expérimentations sont présentés dans le chapitre suivant.

## CHAPITRE

# 2

# RÉSULTATS

## 2.1 Prédications du modèle théorique

On calcule les temps de réactions prévus par le modèle que l'on cherche à vérifier. Ces temps sont en millisecondes (ms). On présente ces résultats sous forme de tableau avec en colonne les différents contrastes affichés et en ligne les niveaux de gris du background (Table 2.1).

On laisse une case vide dans le tableau lorsque le modèle n'est pas capable de prédire un temps de réaction : le sujet n'est pas sensé réussir à distinguer le stimuli par rapport au fond. On remarque également que certaines valeurs sont complètement démesurées (typiquement, il faudrait théoriquement 25 secondes à un individu pour distinguer un stimuli contrasté à 0.20 sur un fond gris 80). Ces valeurs sont dues à un diviseur très proche de zéro dans les formules utilisées qui rend les valeurs de contraste proches du contraste seuil théorique très volatiles.

Pour l'ensemble des conditions, les valeurs de temps de réaction (une fois passé le seuil limite de contraste) croissent régulièrement jusqu'à tendre vers une asymptote pour les conditions les plus lumineuses.

## 2.2 Mesures réelles

Les mesures réelles sont mesurées directement par le logiciel qui affiche les stimuli. Les résultats sont ensuite écrits dans un fichier externe que l'on récupère et que l'on traite ensuite dans Excel. La précision des mesures est limitée par le nombre d'images par seconde auquel le programme tourne : à chaque image, le programme vérifie si le sujet appuie ou

TABLE 2.1 – Temps de réaction théoriques (en ms) prédits par le modèle de Rea et Ouellette.

C/L	0	32	80	128	176	255
<b>0.05</b>						
<b>0.10</b>						
<b>0.15</b>					10865	3594
<b>0.20</b>			25435	1924	1429	1212
<b>0.25</b>			1686	1041	912	839
<b>0.30</b>			1039	788	725	685
<b>0.40</b>		2663	696	596	568	549
<b>0.50</b>		1272	577	517	499	546
<b>0.60</b>		929	517	473	549	449
<b>0.70</b>		773	481	446	434	425
<b>0.80</b>	4451	684	456	426	416	409
<b>0.90</b>	2448	626	439	412	403	396
<b>1.00</b>	1720	585	425	402	393	387

non sur le bouton de détection et stoppe le chronomètre le cas idoine. Toute action entre 2 images est donc ignorée jusqu'au calcul suivant. C'est pourquoi la précision des mesures de temps est précise à un demi-temps inter-image près. Le programme fonctionnant à 120 images par secondes (la limite se faisant au niveau du projecteur), la précision est donc de 1/240ème de seconde soit 4 ms. Au regard des valeurs attendues (les temps les plus rapides prévus dans nos conditions par le modèle sont de 400 ms) cela représente une erreur de 1% qui peut donc être négligée.

The averaged measured reaction times values of the 32 subjects are listed in Table 2.2 with their corresponding standard deviations. Since the population is over 30 subjects, the Pearson standard deviation was used.

Measured values range from 371 ms to 670 ms with a mean value (of the means, excluding the diverging value, *see afterwards*) of 437 ms (SD = 53 ms) and a mean standard deviation of 96 ms (SD = 82 ms). A particular value (2013 ms for a contrast of 0.05 and a background luminance of 0.41 cd/m<sup>2</sup>) can be highlighted.

The performance R is defined as the inverse of the reaction time RT :  $R = 1/RT$ . It is used instead of the reaction time to characterize the performance of a subject. The performance hence increases when the reaction time decreases and decreases when the reaction time increases. Fig. 2.1 shows an example of the graph of both theoretical and measured performances in the reaction time experiment. The example is taken for a background luminance of 23.18 cd/m<sup>2</sup>. The x-axis represents the different values of contrast, clamped by definition between 0 and 1. The y-axis represents the performance R, inverse of the reaction time (in ms<sup>-1</sup>). The two first values of the predicted performance are below the threshold and out



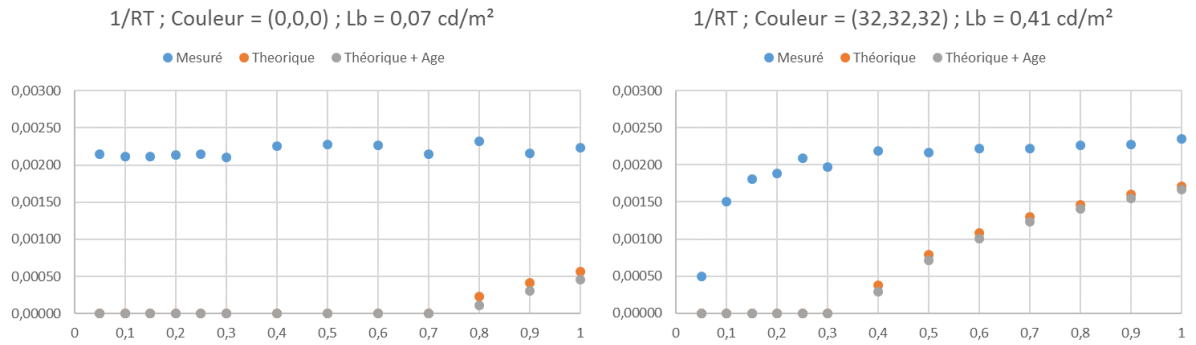


FIGURE 2.1 – Performance théorique et réelle pour l'expérimentation de détection des stimuli contrastés, conditions 0 et 32.

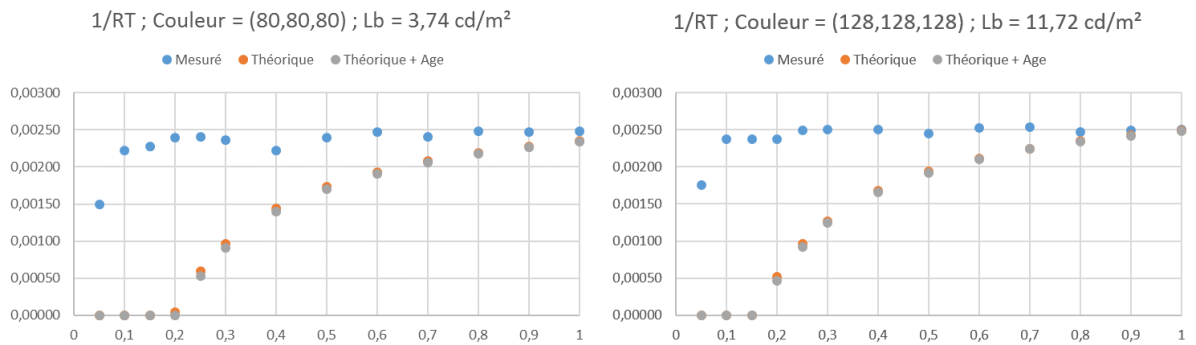


FIGURE 2.2 – Performance théorique et réelle pour l'expérimentation de détection des stimuli contrastés, conditions 80 et 128.

TABLE 2.2 – Temps de réaction moyens réels (en ms) mesurés pendant l’expérimentation et leurs écart-types.

C/L	0	32	80	128	176	255
<b>0.05</b>	465 ± 55	2013 ± 55	670 ± 55	572 ± 55	500 ± 55	450 ± 55
<b>0.10</b>	474±	663±	450±	421±	434±	406±
<b>0.15</b>	474±	553±	439±	421±	434±	404±
<b>0.20</b>	468±	531±	418±	422±	407±	432±
<b>0.25</b>	465±	479±	415±	101±	141±	398±
<b>0.30</b>	475±	507±	423±	399±	412±	393±
<b>0.40</b>	443±	457±	451±	400±	406±	396±
<b>0.50</b>	440±	461±	418±	409±	394±	415±
<b>0.60</b>	440±	451±	405±	396±	403±	402±
<b>0.70</b>	466±	450±	416±	394±	408±	390±
<b>0.80</b>	432±	443±	402±	405±	394±	398±
<b>0.90</b>	464±	440±	404±	402±	400±	399±
<b>1.00</b>	448±	426±	403±	401±	398±	371±

of range of the model. They are hence set to 0 which would be equivalent to an infinite reaction time and thus a lack of reaction.

The first outcome that strikes is while Rea’s model predicts some task that should not be seen (values below the threshold and out of the range of the model), the subjects saw all the tasks that were proposed to them, at all the lighting (background luminance and task contrast) conditions.

Secondly, there exists a major difference in behavior between theoretical predictions and subjects measurements. When the performance of the first one, at a given background luminance, increases with the contrast the latter is always sort of constant. The subjects had a similar performance on all the targets. Their reaction times were somewhat identical in lighting conditions however very different. Following the predictions of the model of Rea and Ouellette our subjects should not have been that potent. They should first not be able to see the target and then, when the contrast increases, become better and better.

At the end of the day, our results do not match at all with the predictions of Rea and Ouellette’s model but still converge toward it for high contrast values. We tried our best to translate Rea and Ouellette’s experiment to Virtual Reality. Though there are still fundamental differences that exist and that may explain the differences between predictions and measurements.

The major difference is the quantity of light and the quantity of light sources. In the Rea and Ouellette experiment, the only sources of light were a little screen 1.68 *m* away from the user and a light that is directed toward the eye through a beam splitter. On top of

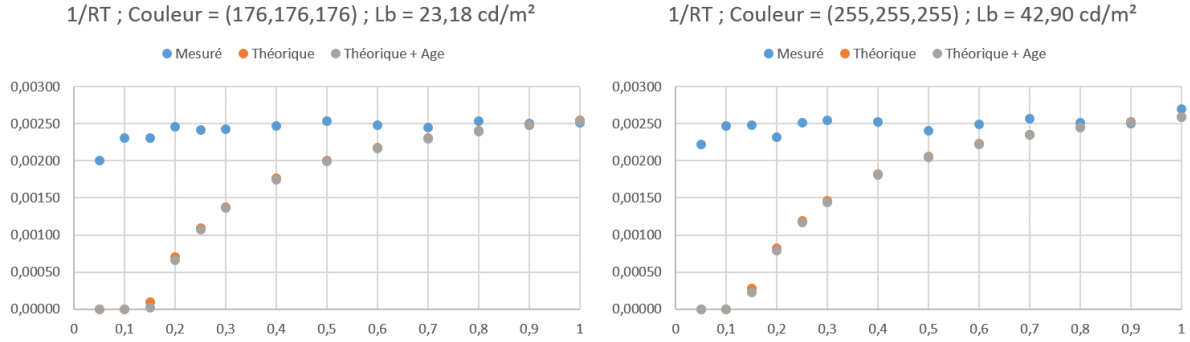


FIGURE 2.3 – Performance théorique et réelle pour l’expérimentation de détection des stimuli contrastés, conditions 176 et 255.

that, the quantity of light was controlled with a neural density filter in front of the eye. On our side, the light come from giant screens surrounding the user with multiple indirect sources of light : projectors emit light towards the screens. No light-s were directly pointed toward the eye from a short distance and no neural density filter was used as we could more easily pilot the contrast and background luminance with the projectors only. Plus, Rea and Ouellette used a filter that is not directly fitted on the eye and hence let pass small amounts of light around it to the eye.

Hence, given the comparison between our results and the predictions of the model, in our opinion, Rea and Ouellette’s model should not be used in Virtual Reality to determine the performance of the eye (with respect to the model of human vision) based on luminance and contrast.

# **Bibliographie**