HAL
open science

Un flou adaptatif en fonction du point de focalisation pour réduire la fatigue visuelle en vision stéréoscopique

David Aurat, Laure Leroy, Olivier Hugues, Philippe Fuchs

To cite this version:

David Aurat, Laure Leroy, Olivier Hugues, Philippe Fuchs. Un flou adaptatif en fonction du point de focalisation pour réduire la fatigue visuelle en vision stéréoscopique. 8èmes journées de l'Association Française de Réalité Virtuelle, Augmentée, Mixte et d'Interaction 3D, Oct 2013, Laval, France. hal-00960185

HAL Id: hal-00960185

https://hal.science/hal-00960185v1

Submitted on 17 Mar 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Un flou adaptatif en fonction du point de focalisation pour réduire la fatigue visuelle en vision stéréoscopique

David Aurat[1], Laure Leroy[2], Olivier Hugues[1], Philippe Fuchs[1]

[1] Mines ParisTech
60 Boulevard Saint Michel
75006 Paris

[2] Université Paris 8
2 rue de la liberté
93200 Saint-Denis

ABSTRACT

Depuis quelques années, de plus en plus de contenus stéréoscopiques sont disponibles au grand public. Si l'impression de relief est remarquable, il n'en reste pas moins que la vision artificielle stéréoscopique demeure fatigante. Une cause de cette fatigue est le conflit accommodation convergence. Dans cet article, nous proposons d'ajouter un flou dans la vision périphérique (le point de focalisation étant déterminé avec un eye-tracking) pour limiter ce conflit et donc limiter la fatigue visuelle.

Keywords: stereoscopie, fatigue visuelle, eye-tracking, flou, confort stéréoscopique, latence

Index Terms:

1 INTRODUCTION

Malgré la démocratisation de la 3D stéréoscopique (3Ds), il existe toujours quelques problèmes liés à l'utilisation de cette technologie. Par exemple, dans un cinéma 3Ds, beaucoup de personnes se plaignent de maux de tête, de vertiges, ou de douleurs dans les yeux[10][12]. Ces problèmes ont été étudiés [3][12] et il en ressort que leur origine vient en partie d'un conflit entre l'accommodation et la vergence. En effet, en vision naturelle, l'accommodation et la vergence se font sur le même point de fixation. Par contre, en vision artificielle stéréoscopique, l'accommodation se fait sur l'écran et la convergence se fait sur l'objet virtuel regardé [21]. Cette différence provoque un conflit entre ces deux caractéristiques. Le système visuel n'arrivant pas à résoudre le conflit, la fatigue visuelle s'installe.

Pour réduire cette fatigue visuelle, notre approche consiste à prendre en compte des caractéristiques de la vision naturelle qui ne sont actuellement pas utilisées en vision artificielle. Ainsi, nous allons essayer de nous rapprocher de la vision naturelle. En particulier, la direction du regard n'est pas prise en compte dans les techniques de rendu existantes. Jusqu'à présent, les problèmes liés à la direction ont été contournés pas divers moyens.

Dans cet article, nous ferons le point sur ce qui a été réalisé pour réduire le conflit accommodation convergence. Ensuite, nous présenterons une expérience consistant à se rapprocher de la vision naturelle et dont le but est de réduire la fatigue visuelle.

david.aurat@mines-parsitech.fr
laure.leroy02@univ-paris8.fr
olivier.hugues@mines-paristech.fr
philippe.fuchs@mines-paristech.fr

LEAVE 0.5 INCH SPACE AT BOTTOM OF LEFT COLUMN ON FIRST PAGE FOR COPYRIGHT BLOCK

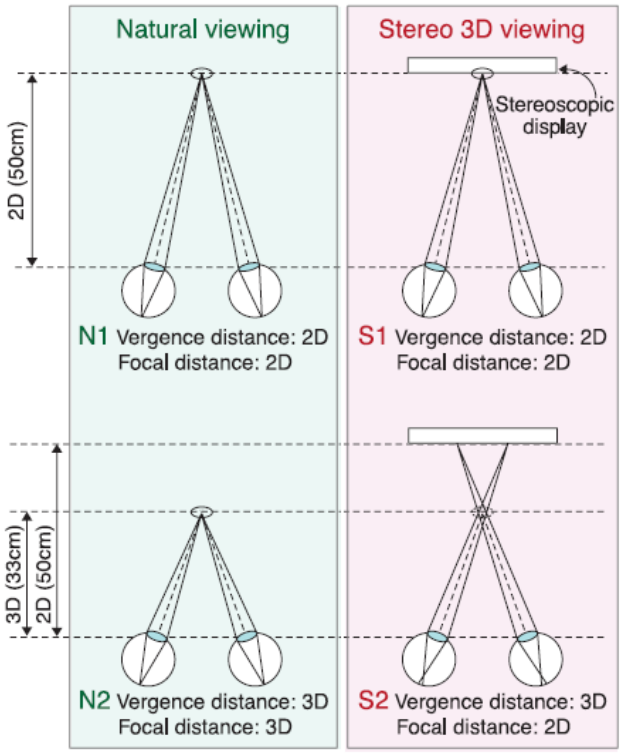

Figure 1 : Le conflit accommodation convergence : distance entre le point d'accommodation et le point de convergence sur en bas à gauche [21]

2 ETAT DE L'ART

2.1 La fatigue visuelle en vision stéréoscopique

La cause la plus importante de la fatigue visuelle est le conflit accommodation convergence. Le conflit accommodation convergence est dû à la différence de distance entre le point d'accommodation et le point de convergence en vision stéréoscopique, cette différence étant absente en vision naturelle (Figure 1).

Ce conflit a été beaucoup étudié dans la littérature et plusieurs idées ont été trouvées pour le réduire. Récemment, Neveu [15] a montré qu'un conflit croissant provoque moins de fatigue visuelle qu'un conflit tout de suite maximal. Hillaire et al. [7][8] ont aussi

diminué la fatigue visuelle en appliquant un flou dans un jeu en vision stéréoscopique. Ils ont réalisé deux expérimentations : une sans suivre le point de regard de l'utilisateur et l'autre en suivant ce même point de regard. Selon leurs expérimentations, l'application d'un flou permet d'augmenter le confort visuel en vision stéréoscopique. Les utilisateurs ont également préféré quand le flou était appliqué en fonction du point de regard (Figure 2).

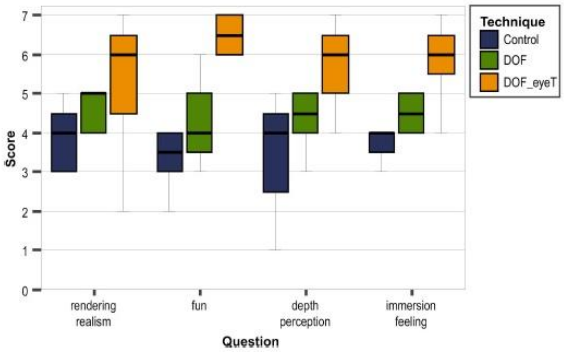

Figure 2 : Réponses aux questions sur le confort visuel en fontion de la condition passée : Trois conditions sont possibles : témoin (bleu), avec un flou (vert) et avec un flou suivant le mouvement des yeux (jaune) [8]

Leroy [13] a également appliqué un flou sur des objets, mais l'objectif était de diminuer les hautes fréquences spatiales. En effet, Wöpking a démontré que les hautes fréquences sont un facteur de fatigue visuelle [24]. Son expérience consistait à disposer des photographies devant un fond constitué de hautes fréquences. Perrin a interpolé les données de Wöpking pour obtenir une courbe du confort visuel en fonction des disparités et de la fréquence spatiale (Figure 3) [17].

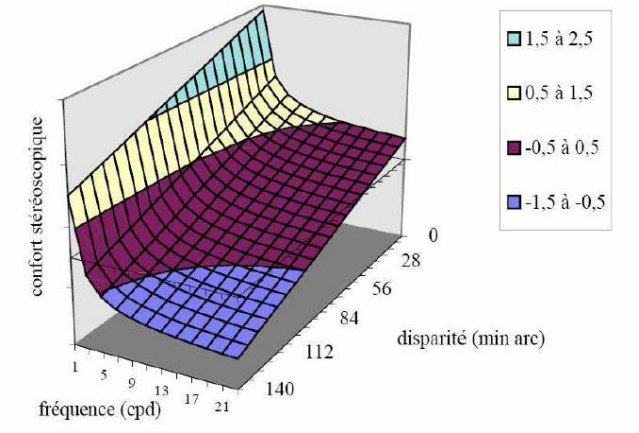

Figure 3 : Confort visuel en fonction de la fréquence spatiale et de la disparité [17]

L'expérience de Leroy était d'appliquer un flou en fonction des disparités : si l'utilisateur regarde à un certain endroit, les points auxquels la disparité est trop grande sont floutés. Dans la scène virtuelle utilisée pour l'expérience, il y a trois prismes et cinq cylindres. Tous ces objets, ainsi que le fond sont recouverts de textures comportant des hautes fréquences. La tâche est de désigner un des cylindres sur lequel est posé un carré rouge. Ensuite, le carré rouge change de cylindre et le sujet recommence. L'expérience est découpée en deux parties : une partie sans flou,

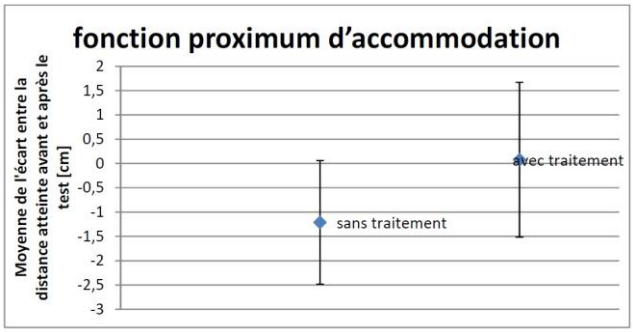

Figure 4 : Fatigue visuelle engendrée par l'expérience sans flou et avec flou en mesurant la fonction proximum d'accommodation [13]

et une autre avec un flou. Pour mesurer la fatigue visuelle engendrée par l'expérience, Leroy mesure l'état des capacités du système visuel avant et après l'expérience et compare les résultats obtenus.

Pour réduire la fatigue visuelle, nous allons avoir une approche qui n'a pas beaucoup été suivie jusqu'à présent. Nous allons étudier la physiologie de la rétine de l'œil humain pour réaliser un flou en vision périphérique permettant de réduire la fatigue visuelle.

2.2 La localisation du flou

2.2.1 En fonction des disparités

Le flou en fonction des disparités consiste à flouter les objets situés aux endroits de grande disparité. En effet, plus la disparité est grande, plus les personnes ont du mal à fusionner les deux images gauche et droite. Leroy [13], applique son flou en fonction des disparités.

2.2.2 En fonction de la profondeur

Ce flou fonctionne de la manière suivante : si le sujet regarde un point F et que le point A se trouve à une profondeur différente du point F, on applique un flou au point A en fonction de la profondeur relative par rapport à F. Cette situation est représentée sur la Figure 5. Sur cette même figure, le niveau de gris correspond à la profondeur relative par rapport au point F. Dans leur expérimentation [8] utilisent une combinaison de flou, donc un flou en profondeur.

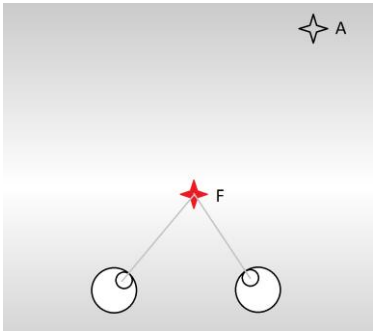

Figure 5 : Flou en profondeur

2.2.3 En vision périphérique

La vision humaine ne perçoit l'environnement net que dans un cône de 2°. En effet, la densité des cônes de l'œil est très grande

au niveau de la fovéa et diminue très rapidement en s'éloignant de celle-ci (Figure 6) [9][16]. Cependant, cette diminution n'est pas en créneau, nous ne voyons pas la transition entre la zone nette et la zone floue.

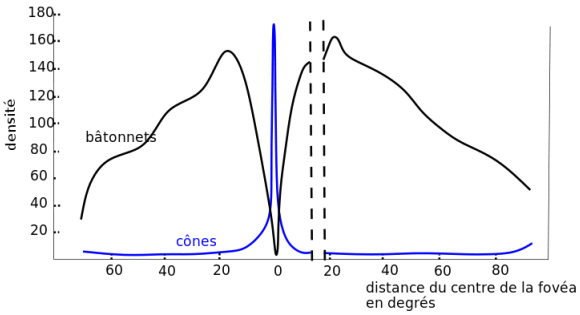

Figure 6 : Répartition des cônes et des bâtonnets sur la rétine (réalisée à partir des données de [16])

En vision périphérique, l'environnement est flou. Pour reproduire ce fait en vision artificielle, il est possible de réaliser un flou uniquement en vision périphérique. Le flou de Hillaire et al.[7] est en partie calculé avec un flou en vision périphérique.

2.2.3.1 La transition entre flou et net

En vision naturelle, la séparation entre la zone de vision centrale nette et la vision périphérique floue n'est pas brutale. Plusieurs méthodes de calculs sont possibles pour réaliser cette transition. La plus simple consiste à prendre un échelon, en bleu sur la Figure 7. Il est également possible de réaliser une transition linéaire (en vert), la plus complexe essaie de se rapprocher de la transition de la vision humaine (en rouge, une approximation de la fonction de transition). L'équation de la courbe rouge est la suivante :

$$Net(d) = \begin{cases} 100 \; si \; d < 2 \\ 100 \times e^{-((d-2)\times\sqrt{-\ln 0.5})^2} \; sinon \end{cases}$$

Nous n'avons trouvé aucune étude portant sur cette zone de transition.

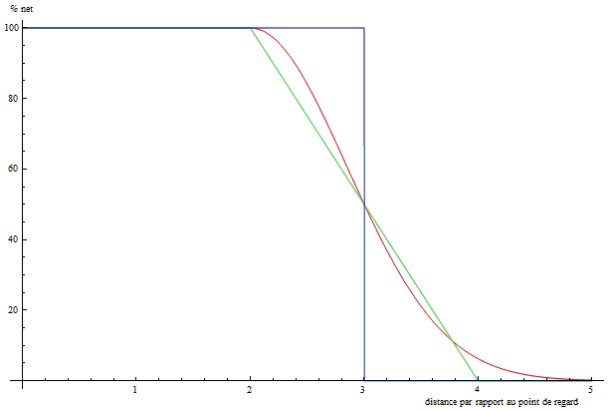

Figure 7 : Transition entre la zone nette et la zone floue

2.3 Méthode de calcul du flou

Plusieurs types de flou sont applicables, chacun possédant ses propres caractéristiques. Nous présentons le flou en ondelettes, le flou en moyenne, le flou gaussien et le flou optique.

2.3.1 Le flou en ondelettes

Le flou en ondelettes est le flou traitant l'image en utilisant directement ses fréquences. Pour cela, il faut décomposer l'image en fonction de ses fréquences, supprimer les fréquences non voulues, et recomposer l'image. Du point de vue physiologique, c'est le type de traitement qui se rapproche le plus de la compression des informations visuelles dans le système visuel humain, il est donc peut-être plus adapté pour un traitement se rapprochant du fonctionnement physiologique de notre système visuel [1][23].

Une adaptation des ondelettes décrite par [19] à un espace à deux dimensions donne les formules suivantes.

Base de la décomposition :$\psi_{a,b,R_\vartheta}(x) = \frac{1}{a}\psi\left(R_\vartheta \frac{x-b}{a}\right)$

Décomposition :$WT_f(a,b,R_\vartheta) = \frac{1}{a}\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)\overline{\psi\left(R_\vartheta \frac{x-b}{a}\right)}dx$

Dans ces formules, a correspond au pas de dilatation, b au pas de translation et R_ϑ à la matrice de rotation d'angle ϑ.

Toutefois, ce flou ne peut pas être calculé en temps réel pour deux raisons : il nécessite de transférer l'image de rendu de la carte graphique vers le micro-processeur, ce qui est très lent, et c'est un algorithme ayant une complexité algorithmique importante. En effet, dans sa version optimisée (l'algorithme de transformée en ondelettes rapides - FWT,[14]), la complexité est quadratique [13].

Bien que certaines études utilisent cette technique pour des images pré-calculées [17], nous n'avons pas trouvé d'étude portant sur le confort visuel et utilisant cette technique de réalisation du flou en temps réel.

Comme [5] arrivent à réaliser un flou en ondelettes sur carte graphique, il serait intéressant de pouvoir tester l'impact ce flou sur la fatigue visuelle.

2.3.2 Le flou en moyenne

Le flou en moyenne consiste à appliquer un traitement aux pixels de l'image. Pour un pixel donné *P(x,y)*, il faut réaliser une moyenne pondérée de ce pixel et des pixels voisins. Si l'ensemble des pixels avoisinants est un rectangle de 2n de largeur et de 2m de hauteur et si le poids d'un décalage de i en largeur et de j en hauteur est $p_{i,j}$, la formule globale pour le flou est la suivante.

$$P(x,y)^* = \frac{\sum_{i=-n}^{n}\sum_{j=-m}^{m} p_{i,j} * P(x+i, y+j)}{\sum_{i=-n}^{n}\sum_{j=-m}^{m} p_{i,j}}$$

Pour un flou en moyenne, sur l'ensemble du rectangle, on a

$$\forall (i,j) \in [-n,n] \times [-m,m], p_{i,j} = 1$$

Si dessous, les coefficients des pixels pour un flou en moyenne, avec m=n=2.

1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1

Leroy a utilisé ce flou pour éliminer les hautes fréquences spatiales sur les objets situés à des grandes disparités [13].

2.3.3 Le flou gaussien

Le flou gaussien reprend la formule générale du flou, mais avec des coefficients différents.

$$\forall(i,j) \in [-n,n] \times [-m,m], p_{i,j} = 2^{m-|j|}2^{n-|i|}$$

Par exemple, pour $n = m = 2$, l'ensemble des coefficients est le suivant.

1	2	4	2	1
2	4	8	4	2
4	8	16	8	4
2	4	8	4	2
1	2	4	2	1

Rokita [20] a utilisé un masque de convolution similaire au flou gaussien. Son masque est en fait un flou gaussien sur un carré de 3 pixels de côté avec un coefficient central supérieur ou égal à 4.

Dans la formule globale, cela revient à avoir :

$$\begin{cases} n = m = 1 \\ p_{-1,-1} = p_{-1,1} = p_{1,-1} = p_{1,1} = 1 \\ p_{-1,0} = p_{1,0} = p_{0,-1} = p_{0,1} = 2 \\ p_{0,0} = f \\ f \geq 4 \end{cases}$$

Ce qui donnerait de type de masque :

1	2	1
2	≥4	2
1	2	1

2.4 Taille de la zone de travail

Dans les équations précédentes, la taille de la zone à flouter est un rectangle de taille n x m pixels. Cette taille se calcule de plusieurs manières possibles.

Pour connaître la taille de la zone devant rester nette, Potmesil et Chakravarty ont simulé le cristallin par une lentille mince [18]. Leur zone de travail est un cercle. Pour eux, le diamètre de la zone de confusion $DCOC_c$, c'est-à-dire la taille de la zone de travail, est égal à :

$$DCoC_c = \frac{D \times f \times (f_d - z)}{f_d \times (z - f)}$$

Avec D le diamètre de la lentille, f la longueur focale de la lentille, f_d la distance focale et z la profondeur du point.

Cette méthode de calcul a été reprise par [6] et [7] pour réaliser leur flou.

2.5 Bilan de l'état de l'art

Nous avons vu que les études sur les causes de la fatigue visuelle et les méthodes pour remédier à celle-ci sont nombreuses. Toutefois, l'effet d'un flou uniquement en vision périphérique n'a pas été étudié. C'est ce que nous nous proposons de tester.

Nous étudions également de près la possibilité de réaliser un flou en ondelettes sur carte graphique, pour pouvoir tester un autre type de flou qui n'a pas encore été testé avec des images en temps réel.

3 PROTOCOLE D'EXPERIMENTATION

3.1 Notre hypothèse

Notre hypothèse est la suivante : en ajoutant un flou en vision périphérique (la zone de vision périphérique étant calculée à partir des données renvoyées par un oculomètre), l'accommodation est facilitée, ce qui entraine une plus grande tolérance à une convergence en un point différent de l'accommodation. Ainsi, la fatigue visuelle en serait diminuée.

3.2 Le protocole

3.2.1 Description de l'expérience

Les sujets devront effectuer plusieurs fois la même tâche. Dans la scène sont disposés huit objets virtuels : cinq cylindres et trois prismes. Derrière ces objets virtuels se tient un fond virtuel abstrait. Le sujet tient une wiimote®, sur laquelle est « attachée » une baguette virtuelle, ainsi qu'une boule virtuelle. Des textures contenant des hautes fréquences sont appliquées sur tous les objets virtuels présentés. Les objets sont disposés de part et d'autre de l'écran, comme dans beaucoup d'autres expériences (Blum et al., 2010[4] ; Leroy, 2009[13] ; Speranza et al., 2006[22], Kooi et Toet, 2004[11]).

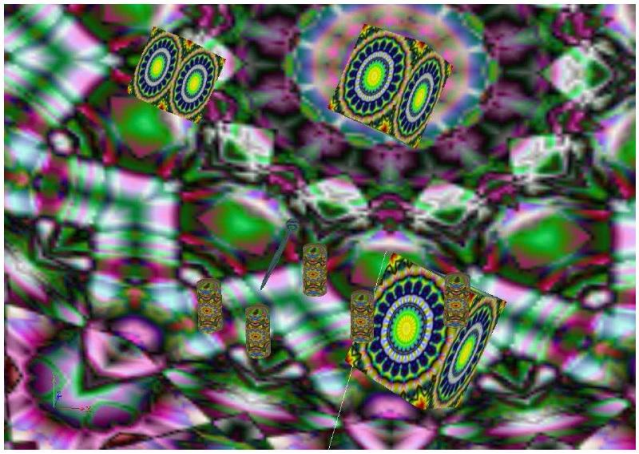

Figure 8 : Le monde virtuel avec les cinq cylindres et les trois prismes [13]

Durant la tâche, un carré rouge se pose sur le dessus d'un des cylindres. Le sujet doit désigner le cylindre sous le carré rouge, puis valider. Le carré rouge va alors se poser sur un autre cylindre, et le sujet recommence. Le carré se pose 300 fois sur le dessus des cylindres.

3.2.2 Déroulement

Le test se déroulera en deux sessions : une sans flou et une avec flou. Ces deux sessions seront espacées d'un jour pour que la fatigue d'une session n'influe pas sur les résultats de l'autre session. Une session se déroulera de la manière suivante :

- Accueil du sujet
- Mesure de la DIO, et introduction de la valeur dans notre programme
- Mesure des capacités du système visuel
- Calibration de l'oculomètre
- Explication de la tâche à effectuer

- Entrainement
- Réalisation de la tâche
- Mesure des capacités du système visuel
- Questionnaire

3.2.3 Mesurer la fatigue visuelle

Pour mesurer la fatigue visuelle, nous allons utiliser trois types de mesures.

- Mesure de facilité d'accommodation

Ce test consiste à placer alternativement les lentilles de +2 et de -2 dioptries devant les yeux de la personne. La personne doit lire un texte à travers ces lentilles, et signaler lorsqu'il voit le texte net, ce qui déclenche le changement de lentille. Ce test dure 30 secondes.

- Test des points de Wiirt

Ce test consiste à faire visualiser dix zones de quatre points, et utilise des lunettes stéréoscopiques polarisées. Dans chaque zone, un des points est vu au dessus des autres. La personne doit donner la position du point qu'il voit au dessus des autres.

- Mesure de la fonction proximum d'accommodation

Le sujet regarde un texte qui se rapproche de ses yeux à vitesse constante. On mesure la distance à laquelle le texte devient flou. La différence de distance entre avant et après l'expérience permet de caractériser la fatigue visuelle.

Il existe beaucoup d'autres méthodes pour mesurer les capacités du système visuel [12]. Nous avons choisi ces méthodes car elles sont simples à réaliser.

3.2.4 Les sujets

Le nombre de sujets à tester est estimé entre 15 et 20 personnes. Ces personnes doivent avoir entre 18 et 40 ans. La limite d'âge supérieure est due au risque de presbytie qui pourrait fausser nos mesures de proximum d'accommodation.

Par ailleurs, notre oculomètre peut avoir des problèmes de détection d'œil lorsque le sujet porte des lunettes avec une forte correction ou des lentilles. Pour cette raison, nous ne prenons que des personnes sans correction optique ou de correction suffisamment faible pour être tolérée par l'oculomètre.

3.2.5 Description du matériel utilisé

L'orientation de l'axe optique de l'œil gauche est mesurée avec un oculomètre ASL H6, avec une fréquence de rafraichissement réglée sur 120Hz. Ce modèle est un casque à poser sur la tête de l'utilisateur, il repère l'orientation de l'axe optique grâce à une caméra infrarouge filmant l'œil via un miroir semi-transparent. Ce modèle permet de se déplacer dans un rayon de 9m autour du contrôleur de l'appareil. Par contre, l'utilisateur peut trouver le dispositif gênant car il doit le porter sur la tête tout le temps, sans pouvoir le toucher. En effet, si l'utilisateur touche l'oculomètre, une recalibration est nécessaire.

Figure 9 : L'oculomètre ASL

Un autre oculomètre est testé, il s'agit d'un Tobii Rex for Developers, Desktop Edition®. Ce modèle se présente sous forme d'une barre à placer en bas de l'écran, permettant de détecter la position des yeux et l'orientation de l'axe du regard de chaque œil dans une zone de travail. L'avantage de ce modèle est qu'il n'est pas gênant pour l'utilisateur. L'inconvénient majeur est la zone de travail réduite imposant de rester devant l'écran.

Figure 10 : L'occulomètreTobii®

La scène est rétro-projetée sur un écran de 3.10m de large et 1.74m de haut par un projecteur haute définition (1920 x 1080). Le projecteur est un projecteur Christie Mirage HD3.

3.3 Vérification des latences

Afin que le traitement sur l'image de rendu ne gène pas l'utilisateur, il faut que le temps de latence totale soit le plus petit possible. Ce temps de latence ($latence_{totale}$) se décompose en deux parties : la $latence_{oculomètre}$ est la latence provoquée par le retour d'information de l'oculomètre, la $latence_{traitement}$est la latence créée par le traitement informatique pour prendre en compte la position du point de focalisation.

$$latence_{totale} = latence_{oculom\ètre} + latence_{traitement}$$

3.3.1 Mesure du temps de latence

Pour connaitre le temps de latence de l'oculomètre, nous avons filmé en même temps l'œil de l'utilisateur équipé de l'oculomètre et l'écran situé derrière le sujet (et vue dans le champ de la caméra), sur lequel est affiché une croix verte sur un fond noir (voir Figure 11). La croix représente la position du point de focalisation sur l'écran. La caméra est une caméra haute fréquence GoProhero 3 black edition. Les images ont été tournées en 47 frames/seconde et la caméra est placée à 35 cm du visage du sujet.

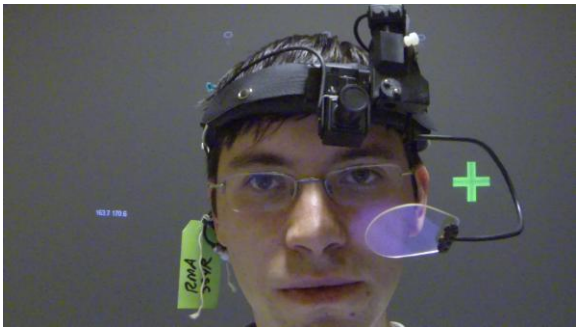

Figure 11 : Mesure du temps de latence

Lors de cette manipulation, nous demandons au sujet de regarder des points fixes à gauche, à droite, en haut, en bas. Lorsque le sujet a réalisé plusieurs allers-retours, nous analysons manuellement le film réalisé pour compter le nombre d'images comprises entre le moment où le sujet change son point de focalisation (mouvement de la pupille filmé par la caméra) et celui où la croix verte se déplace sur l'écran en représentation de ce mouvement. Connaissant la fréquence d'acquisition de la caméra (47Hz), nous pouvons en déduire le temps de latence à une image près.

Les deux oculomètres décrits précédemment on été testés.

3.3.2 Résultats

Après analyse des vidéos réalisées avec la caméra, nous obtenons les résultats suivants (Tableau 1 & Figure 12).

Matériel	Temps min	Temps moyen	Temps max
ASL	191ms	601.25ms	1404ms
Tobii	106ms	152.17ms	191ms

Tableau 1 : Résultat des mesures des temps de latence

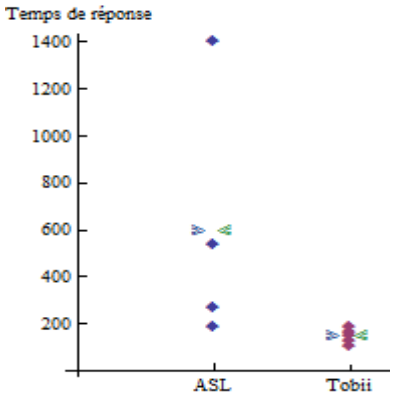

Figure 12 : Les temps de réponses mesurés des oculomètres. Les flèches représentent les moyennes.

3.3.3 Analyse des résultats

Le temps maximal de latence pour le Tobii et le temps minimum de latence pour le matériel d'ASL sont les mêmes. Nous pouvons en conclure que le capteur Tobii est bien plus rapide que celui d'ASL.

3.3.4 Temps de latence accepté

Sur la Figure 13, le cercle représente la zone nette, et en dehors de ce cercle se situe la zone de transition et la zone floue. Lorsque la personne regarde un point sur l'écran (croix rouge), elle voit nette sur ce point. Lorsque le point de regard de la personne se rapproche du bord de la zone nette (croix verte), il faut déplacer la zone nette pour que le sujet ne voie pas en dehors de cette zone.

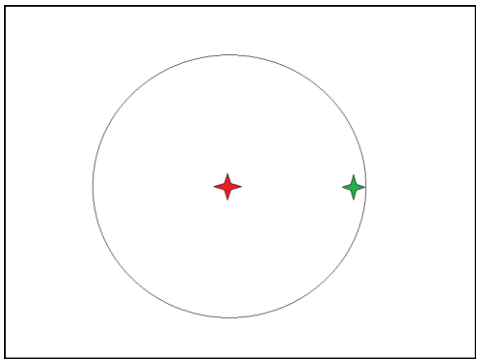

Figure 13 : Explication temps de latence

On note R la position du point rouge, V la position du point vert, S la position du sujet. Le temps de latence maximum accepté est égal au temps mit par l'œil pour parcourir la distance RV.

La vitesse de rotation maximum des yeux est connue (500°/s). Pour calculer le temps de latence, il faut connaître l'angle $\widehat{RSV}$. Si on note d la distance entre le sujet et l'écran, la distance RV (en pixels) peut être exprimée en fonction de la distance du sujet par rapport à l'écran et de l'angle $\widehat{RSV}$.

$$RV = \frac{1000}{1.6} * d * \tan \widehat{RSV}$$

La fraction correspond à la conversion des mètres en pixels. L'écran sur lequel aura lieu l'expérimentation mesure 3.10 m x 1.74 m, et possède une résolution de 1920x1080. Un pixel mesure donc 1.6mm x 1.6mm.

Ainsi, on connait l'angle $\widehat{RSV}$.

$$\widehat{RSV} = atan \frac{1.6 * RV}{1000 * d}$$

La vitesse maximum angulaire des yeux $v_{angulaire}$ étant de 500°/s, le temps de latence maximum est donc de :

$$T_{max} = \frac{\widehat{RSV}}{v_{angulaire}} = \frac{atan \frac{1.6*RV}{1000*d}}{500}$$

A une distance d'un mètre, pour une zone de 500 pixels, le temps de latence maximal est de 77ms.

3.4 Choix du flou utilisé

Nous avons vu que plusieurs types de flou existent. Pour optimiser le temps de latence de notre application, nous allons utiliser le flou qui prend le moins de temps à être calculé. Nous avons réalisé un test pour savoir quelle traitement est le plus rapide. Ce test consiste à flouter une même image, et de comparer le nombre d'images par secondes qu'il est possible de traiter. Les résultats du test sont dans le Tableau 2.

		Transition	
		Linéaire	Gaussienne
Calcul	Moyenne	62	38
	Gaussien	12	7.6

Tableau 2 : Nombre d'images traitées par seconde

Dans le tableau, nous voyons que le flou en moyenne avec une transition linéaire est le traitement le plus rapide parmi les qutre proposes. Nous allons donc utiliser ce flou pour notre expérimentation.

3.5 Avancement de l'expérimentation

Actuellement, nous sommes en train de finir l'implémentation de notre expérience, la prochaine étape sera les pré-tests, puis nous passerons à l'expérimentation. Nous pensons que le traitement de cette expérimentation va permettre de réduire la fatigue visuelle.

4 Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté deux facteurs importants provoquant une certaine fatigue visuelle : le conflit accommodation convergence et les hautes fréquences spatiales. Après avoir vu différentes méthodes existantes pour réduire la fatigue visuelle, nous avons proposé notre propre méthode qui consiste à rapprocher la vision artificielle de la vision naturelle, afin de réduire l'impact du conflit accommodation convergence sur la fatigue visuelle. Nous avons également présenté une expérimentation permettant de vérifier notre hypothèse.

References

[1] E.H. Adelson, E. Simoncelli and R. Hingorani, Orthogonal pyramid transforms for image coding. Visual Communications and image processing II, 1987

[2] J. Allebach. Binary display of images when spot size exceeds step size. *AppliedOptics*, 15:2513–2519, August 1980.

[3] T. Bando, A. Iijima, S. Yano. Visual fatigue caused by stereoscopic images and the search for the requirement to prevent them: a review. Display, vol. 33, p76-83, 2012

[4] T. Blum et al., The effect of out-of-focus blur on visual discomfort when using stereo displays. 9th IEEE ISMAR, 2010

[5] J. Franco, G. B Bernabé, J. Fernández, M.E. Acacio, A parallel implementation of the 2D wavelet transform using CUDA. 17th Euromicro International Conference on Parallel, Distributed and Network-based Processing, 2009.

[6] W. Heidrich, P. Slusallek and HP. Seidel, An image-based model for realistic lens systems in interactive computer graphics. Proceedings of the conference on Graphics interface, 1997.

[7] S. Hillaire, A. Lécuyer, R. Cozot and G. Casiez, Depth-of-field blur effects for first-person navigation in virtual environments. Computer Graphics and Applications, IEEE VR, 2008

[8] S. Hillaire, A. Lécuyer, R. Cozot and G. Casiez, Using an eye-tracking system to improve camera motions and depth-of-field blur effect in virtual environment., IEEE Computer graphics and applications, 2008

[9] J.B. Jonas, Ulrike Schneider and G.O.H. Naumann, Count and density of human retinal photoreceptors. Graefe's archive for clinical and experimentalophthalmology, vol 230, 1991

[10] R. S. Kennedy, J. Drexler and R. C. Kennedy. Research in visually induced motion sickness. AppliedErgonomics, vol 41, p 494-503, 2010

[11] F. Kooi et A. Toet. Visual comfort of binocular and 3D displays. Displays, Volume 25, Issues 2–3, August 2004

[12] M. Lambooij, W. IJsselsteijn, M. Fortuin, and I. Heynderickx. Visual discomfort and visual fatigue of stereoscopic displays: a review. Journal of Imaging Science and Technology, 2009

[13] L. Leroy. Interfaçage visuel stéréoscopique : diminution de la fatigue visuelle et caractérisation de la perception des formes. 2009

[14] S. Mallat.Une exploration des signaux en ondelettes. Paris : Edition de l'Ecole Polytechnique, 2000

[15] P. Neveu. Impact des dispositifs de visualisation en relief sur les composantes oculomotrices d'accommodation et de vergence, 2012

[16] G.A. Österberg, Topography of the layer of rods and cones, ActaOphthalmol, 1935

[17] J. Perrin. Profondeur et binocularité : algorithmie, étude psychophysique et intérêts pour l'ergonomie des interfaces stéréoscopiques, 1998

[18] M. Potmesil and I. Chakravarty, A lens aperture model for synthetic image generation. Proceeding SIGGRAPH, 1981

[19] T. Ranchin, Analyse multirésolution et transformée en ondelettes. Ecole des Mines de Paris, 2001

[20] P. Rotika. Generating depth-of-field effects in virtual reality applications. Computer Graphics and Applications, IEEE (Volume:16, Issue: 2), mars 1996

[21] Shibata et al. The zone of comfort: predicting visual discomfort with stereo displays. Journal of Vision, 2011

[22] Sperenza et al.Effect of disparity and motion on visual comfort of stereoscopic images. SPIE Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems XIII, 2006

[23] J.W. Woods and S. O'Neil, Subband coding of images. IEEE Transactions on acoustics, speech, and signal processing, 1986

[24] M. Wöpking, Viewing confort with stereoscopic pictures : an experimental study on the subjective effect of disparity magnitude and depth of focus. Journal of the society for information display, 1995