

Effets de la distance, de la luminosité et de l'angle de calibration sur la précision et la justesse de lunettes d'eye-tracking : une étude exploratoire

Elise Durnerin
Chloé Morel
ESTIA-PEPSS
Technopôle Izarbel
64210 Bidart
e.durnerin@estia.fr
c.morel@estia.fr

Louis Delfin
ENSAM
Technopôle
57070 Metz
louisdelfin@club-internet.fr

Antoine Luu
Tobii Pro
Karlsvägen 2D
Danderyd, Stockholm
antoine.luu@tobii.com

Régis Mollard
Marion Wolff
ESTIA-PEPSS
Technopôle Izarbel
64210 Bidart
r.mollard@estia.fr
m.wolff@estia.fr

RÉSUMÉ

Les systèmes d'*eye-tracking* permettent d'étudier les comportements visuels. Pour que les données de ces systèmes soient précises, la calibration est primordiale. Une bonne calibration se traduit par des valeurs de précision et de justesse faibles. Dans cette étude exploratoire, pour évaluer l'effet de la distance, de la luminosité et de l'angle de calibration sur la précision et la justesse de lunettes d'eye-tracking, des mesures ont été effectuées en champ visuel proche, intermédiaire et éloigné sur un écran de calibrage. Neuf combinaisons de calibration ont été testées selon un plan en carré latin. La distance, la luminosité et l'angle de calibration n'ont pas d'effet significatif sur la précision et la justesse des lunettes. A l'inverse, la précision et la justesse des lunettes sont meilleures en champ éloigné, qu'en champ proche et intermédiaire. Ces résultats montrent que les lunettes d'eye-tracking sont davantage adaptées à des études de terrain.

Mots Clés

Eye-tracking; calibration; lunettes d'eye-tracking; précision; justesse.

ABSTRACT

Eye-tracking systems are used to study visual behavior and their calibration is essential for the reliability of the system information. A correct calibration results in low accuracy and precision values. In this exploratory study, for evaluating the effect of distance, brightness and calibration angle on the accuracy and the precision of eye tracking glasses, measurements were performed in the near, intermediate and distant visual field on a calibration monitor. Nine calibration combinations were tested

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the Owner/Author. Copyright is held by the owner/author. ERGO'IA 2021, October 6--8, 2021, Bidart, France. ISBN: 978-1-4503-8512-1

according to a Latin square design. Distance, brightness and calibration angle had no significant effect on the accuracy and on the precision of the glasses. In contrast, the precision and the accuracy of the glasses are higher in distant field, than in near and intermediate field. These results show that eye-tracking glasses are more appropriate for field work.

Keywords

Eye-tracking; calibration; eye-tracking glasses; accuracy; precision.

ACM Classification Keywords

Human-centered computing; Interaction design; Interaction design process and methods; User interface design

INTRODUCTION

L'*eye-tracking*, ou oculométrie en français, est une technique non invasive, composée d'un ensemble de systèmes permettant d'enregistrer et d'analyser les mouvements et les déplacements oculaires d'un individu sur des zones particulières à étudier. L'*eye-tracker* ou oculomètre est un système mobile composé de capteurs haute précision pouvant être intégrés à une barre ou à une paire de lunettes [8] [9]. Ce système mesure et enregistre les parcours oculaires d'une personne et détermine les zones où se concentre le regard, les points de fixation ou *gaze points* [1].

En début de manipulation, tout *eye-tracker* doit être calibré. Durant cette phase, le système s'adapte aux caractéristiques visuelles du sujet. Cette étape est cruciale pour obtenir des données utilisables : les caractéristiques oculaires recueillies par l'*eye-tracker*, sont transformées en *gaze points* de l'utilisateur. Cette étape permet que les images visualisées soient correctement associées à la zone où l'observateur regarde, et non décalées. En effet, la précision de la calibration a un impact important sur la qualité des données enregistrées et sur leur analyse ultérieure [3].

La calibration d'un *eye-tracker* implique un recueil des données de précision (*accuracy*, *offset*) et de justesse (*precision*, *RMS* : *Root Mean Square*) (voir figure 1). La

précision est la différence moyenne observée entre la position réelle du stimulus et la position du regard mesurée (*gaze point*) [5]. La justesse est la capacité qu'a l'*eye-tracker* à reproduire de manière fiable la même mesure de point de regard. Plus les valeurs de précision et de justesse (exprimées en degrés) sont faibles, meilleure est la calibration [12].

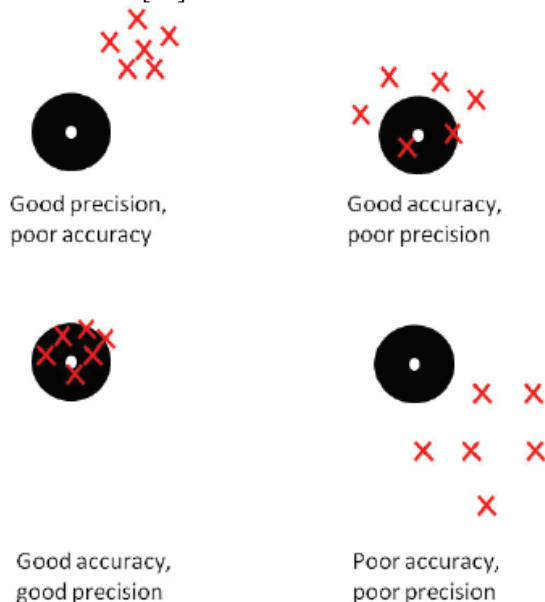


Figure 1. Illustration des notions de précision et de justesse D'après Tobii Technologie AB (2012) [12].

Le but de cette étude exploratoire est de tester différentes combinaisons de calibration afin de déterminer l'effet de la distance, de la luminosité et de l'angle de calibration sur les données de précision et de justesse de lunettes d'eye-tracking. Ces données sont mesurées en champ visuel proche, intermédiaire et éloigné.

METHODE

Matériel

Pour cette expérience, les lunettes d'eye-tracking *Tobii Pro Glasses 2*¹ ont été utilisées (voir figure 2). Les enregistrements se font via le logiciel *Tobii Pro Glasses Controller*¹, puis sont analysés grâce au logiciel *Tobii Pro Lab*¹.

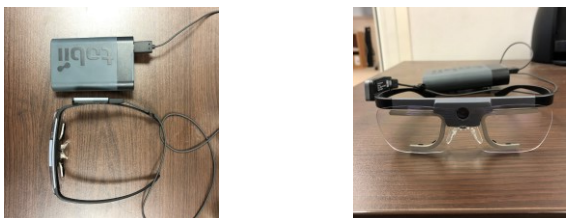


Figure 2. Lunettes d'eye-tracking Tobii pro Glasses 2.

Participants

Soixante-trois participants ont été recrutés pour réaliser cette étude, 17 femmes et 46 hommes, 73% des

participants ont moins de 30 ans, 11% entre 30-39 ans, 11% entre 40-49 ans et 5% ont 50 ans et plus.

Calibration

Combinaison de calibration

Pour tester la précision et la justesse de ses appareils, *Tobii* met au point différentes calibrations. Les variables manipulées sont : le nombre de points de calibration, la position de la tête et l'utilisation d'une mentonnière (tête fixe ou mobile), la distance œil-cible, la luminosité et l'angle formé entre l'œil et les points de calibration. Différentes combinaisons de calibration ont été mises en place en se basant sur les méthodologies employées par l'entreprise *Tobii*.

Afin de tester la justesse et la précision des lunettes d'eye-tracking *Tobii Pro Glasses 2*, suivant différentes combinaisons de calibrations, trois facteurs expérimentaux (Variables Indépendantes – VI) ont été retenus : la distance entre l'œil du sujet et la cible de calibration, la luminosité de la salle de passation et l'angle, c'est-à-dire la position de la cible par rapport aux yeux du sujet. Chaque facteur se décline en trois modalités.

Pour le facteur distance, *Tobii* teste de nombreuses distances allant de 40 à 90 cm [7] [10] [11] [13] [14]. Dans le cadre de cette expérience, les trois distances testées sont : 0.5 mètre, 1 mètre et 1.5 mètre ; 1 mètre correspondant à une distance standard recommandée par le manuel d'utilisation des lunettes. Les distances de 0.5 mètre et de 1.5 mètre ont été également testées pour obtenir des repères d'encadrement de la distance standard.

Pour le facteur luminosité, ont été retenues les modalités de : 300 lux (luminosité classique de la salle de passation), 20 lux (luminosité obtenue lorsqu'une des lumières de la salle est éteinte) et 600 lux (luminosité constatée lorsqu'un éclairage de type *softbox* est utilisé pour augmenter la luminosité de la pièce).

Pour le facteur angle, le manuel d'utilisation des *Tobii Pro Glasses 2* recommande de placer la cible à hauteur des yeux, de sorte que l'angle corps/œil/cible soit de 90°. Dans ce cas, l'angle, c'est-à-dire la position de la cible par rapport aux yeux du sujet, est de 0° (contrôle). De plus, lors de l'évaluation de ses eye-trackers, *Tobii* effectue des calibrations en décalant les points de calibration de 25° et 30° par rapport à la position contrôle [7] [10] [11] [13] [14]. Mais après avoir effectué des pré-tests, il a été constaté que les lunettes d'eye-tracking calibrent difficilement pour ces angles. Des variations d'angles plus petites, 10° et 20°, ont donc été privilégiées. Dans cette étude, les trois angles testés sont 0°, 10° et 20°.

Afin de limiter le nombre de participants, tout en garantissant une fraction équilibrée du plan factoriel, neuf combinaisons de trois facteurs ont été définies (voir

¹ <https://www.tobiipro.com/fr/>

tableau 1), en s'appuyant sur la méthode des matrices structurées en carré latin [2]. Cependant, un désavantage du carré latin est qu'il ne permet pas avec le petit nombre de sujets attribué à chaque condition de tester les interactions intra-modalités entre ces trois facteurs. S'agissant d'une étude exploratoire, les effets des différents facteurs sur les mesures de précision et de justesse ont donc été regardés en priorité, afin de pouvoir déterminer par la suite les situations à approfondir lors d'études ultérieures.

Pour construire le carré latin, et ainsi obtenir les combinaisons de calibration, les variables « distance » et « luminosité » ont d'abord été croisées. Puis, la variable « angle » a été introduite en veillant à ce que chaque modalité de la variable n'intervienne qu'une seule fois dans chaque ligne et dans chaque colonne du carré. Le point de départ de la conception du carré a été la calibration nominale (distance = 1 mètre, luminosité = 300 lux, angle = 0°) qui est celle recommandée par le manuel d'utilisation des *Tobii Pro Glasses 2*.

Tableau 1. Matrice en carré latin : définition des neuf combinaisons des trois facteurs à tester.

	0,5 mètre	1 mètre	1,5 mètre
20 lux	10°	20°	0°
300 lux	20°	0°	10°
600 lux	0°	10°	20°

Recueil des données

Lors de la calibration des lunettes *Tobii Pro Glasses 2*, les données de précision et de justesse ne sont pas accessibles. Le logiciel *Tobii Pro Glasses Controller* indique seulement si la calibration est réussie ou non.

Pour obtenir des valeurs de précision et de justesse (Variables Dépendantes – VD), et de pouvoir vérifier la qualité de la calibration, un écran de calibration a été créé. L'écran comporte 13 points de même diamètre (3 mm) que le point central de la cible de calibration. Treize points ont été choisis afin d'obtenir 1 point central et le même nombre de points intermédiaires et en périphérie de l'écran, soit 6 points.

Les coordonnées de référence des 13 points ont été obtenues sur des participants-témoins qui ont fixé chacun des points pendant 10 secondes dans des conditions de calibration standard (1m, 300 lux et 0°). Les coordonnées ont été déterminées successivement en : champ proche (1 mètre), champ intermédiaire (1.5 mètre), champ éloigné (2 mètres).

Déroulement de l'Expérience

Les passations se sont déroulées en conditions contrôlées. Les soixante-trois sujets ont été répartis au hasard entre les neuf combinaisons de calibration (n = 7).

Après avoir signé un formulaire de consentement libre et éclairé, les participants remplissent un questionnaire pré-expérience afin de recueillir leurs caractéristiques (âge, couleur des yeux, correction visuelle, etc.). Le déroulement de l'expérience est présenté aux participants par écrit et expliqué à l'oral. Une passation dure environ 15 minutes.

Pendant toute la durée de l'expérience, pour plus de stabilité, les participants sont assis sur un tabouret réglable en hauteur face à un écran de vidéo projecteur. Ils sont équipés des lunettes d'eye-tracking *Tobii Pro Glasses 2*.

La passation se déroule en trois phases.

Calibration des Lunettes

Le participant teste une seule combinaison de calibration (distance, luminosité, angle) parmi les neuf possibles. Il lui est demandé de fixer le centre de la cible de calibration (voir figure 3) en gardant la tête le plus fixe possible.



Figure 3. Cible de calibration.

Ecran de Calibration

Après la phase de calibration, les 13 points de l'écran de calibration sont présentés un à un au participant sur l'écran du vidéo projecteur (dimension : 73,5 x 117 cm) (voir figure 4). Les points s'affichent dans un ordre aléatoire, façon *point de saut* [3] : le participant doit fixer un point 2 secondes pour qu'il disparaisse et que le suivant apparaisse [7] [10] [11] [13] [14]. Le participant peut librement bouger la tête et l'éclairage de la pièce est remis à une luminosité standard de 300 lux.

Il est énoncé au participant que lorsqu'il fixe un point 2 secondes, le diaporama passe automatiquement à la diapositive suivante, alors que l'expérimentateur passe les diapositives à partir de l'ordinateur relié au vidéo projecteur. Lors de la procédure classique de calibration d'une barre d'eye-tracking effectuée avec le logiciel fourni par *Tobii*, les différents points de calibration apparaissent et disparaissent automatiquement sur l'écran de l'ordinateur lorsque le participant les regarde 2 secondes. Il a été retenu de simuler le même effet pour que le participant ait le sentiment de contrôler le diaporama "avec ses yeux", et de ce fait la passation devenait également plus ludique. L'expérience repose ainsi sur le principe du Magicien d'Oz qui est « une technique d'évaluation expérimentale qui consiste à faire simuler par un compère humain dissimulé des services manquants dans un système informatique » [6].

L'écran de calibration est présenté successivement au participant en champ proche (1 mètre), intermédiaire (1.5 mètre) et éloigné (2 mètres) afin de tester l'effet du champ visuel (VI) sur les données de précision et de justesse. Une analogie avec les conditions de pilotage d'un aéronef peut être effectuée ici : le champ proche correspondant à la distance entre la tête du pilote et le PFD (*Primary Flight Display*)², le champ intermédiaire traduisant la distance entre la tête du pilote et les instruments du co-pilote et le champ éloigné représentant la distance entre la tête du pilote et une cible à l'extérieur du cockpit.

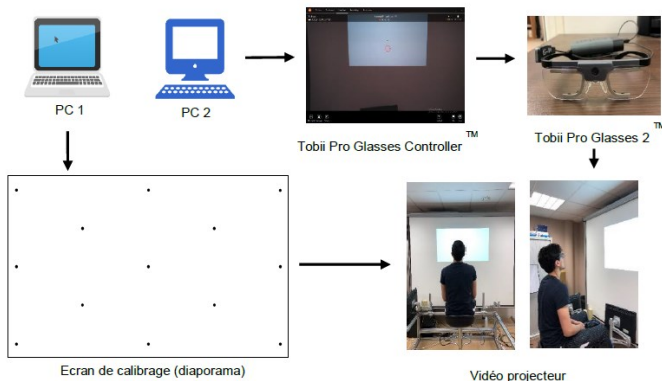


Figure 4. Déroulement de l'expérience.

Légende : un ordinateur (PC1), relié au vidéo projecteur, affiche le diaporama ; un autre ordinateur (PC2), relié aux lunettes, permet de voir en direct ce que regarde le participant via le logiciel *Tobii Pro Glasses Controller* ; le participant est équipé des lunettes d'eye-tracking *Tobii Pro Glasses 2*, il est assis sur un tabouret réglable en hauteur face à l'écran du vidéo projecteur, de sorte que ses yeux soient en face et à la hauteur du point central de l'écran de calibration.

Tâche intermédiaire

Entre chaque champ visuel (chaque session), un jeu est présenté au participant en qualité de repos visuel et également de divertissement (chercher une cible, illusion d'optique, etc.). Le participant peut librement bouger la tête. Les données oculaires de ces jeux ne sont pas exploitées.

Rappel des variables

- Variables Indépendantes (VI) : distance, luminosité, angle et champ visuel.

- Variables Dépendantes (VD) : précision et justesse, (exprimées en degrés). Plus les valeurs des données de précision et de justesse sont faibles, meilleure est la calibration.

Hypothèses opérationnalisées

H1 : La distance aurait un effet sur la précision et la justesse. Une distance de 0.5 m permettrait d'obtenir une

meilleure précision et une meilleure justesse qu'une distance de 1 m ou 1.5 m [7] [10] [11] [13] [14].

H2 : La luminosité pourrait avoir un effet sur la précision et la justesse. Une luminosité de 300 lux permettrait d'obtenir une meilleure précision et une meilleure justesse qu'une luminosité de 600 lux ou 20 lux [7] [10] [11] [13] [14].

H3 : L'angle aurait un effet sur la précision et la justesse. Un angle de 0° permettrait d'obtenir une meilleure précision et une meilleure justesse qu'un angle de 10° ou 20° [7] [10] [11] [13] [14].

H4 : Le champ visuel pourrait avoir un effet sur la précision et la justesse. En champ proche et intermédiaire, la précision et la justesse seraient meilleures qu'en champ éloigné.

RESULTATS

Transformation des données avant analyse

Objectif

L'objectif est de calculer les valeurs de précision et de

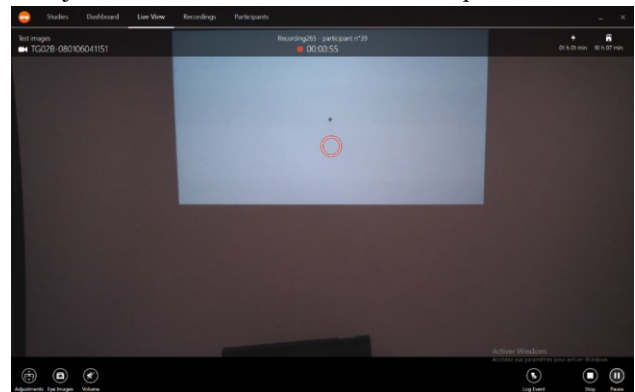


Figure 5. Interface du logiciel *Tobii Pro Glasses Controller*.

justesse (VD) pour les trois champs visuels chez chaque participant. Pour cela, il faut mesurer le décalage (θ) entre la position des points de l'écran de calibration (point noir) et la position du regard du participant donnée par les lunettes d'eye-tracking (cercle rouge) (voir figure 5).

Extraction des données

À partir du logiciel *Tobii Pro Lab*, la position des *gaze points* en x et en y (unité : pixel) est extraite. Les calculs de données se font ensuite sur le logiciel Excel.

Coordonnées des points de référence

La position des 13 points de l'écran de calibration (points de référence) est obtenue par les données en x et en y récoltées avec les témoins sur une durée d'observation de 10 secondes. Les moyennes des « Gaze point X » et des « Gaze point Y » sont calculées pour pouvoir obtenir les coordonnées moyennes de chaque point de référence. Les

² PFD ou affichage de vol principal : écran LCD utilisé en aéronautique et dédié aux informations de vol (altitude, vitesse, position des volets, mode de vol, etc.).

coordonnées des points de référence sont calculées pour chaque champ visuel.

Gaze points des participants

Sur le même principe que le calcul des coordonnées des points de référence, les gaze points des participants sont déterminés pour chaque point de l'écran. Cependant, chaque point étant regardé environ 2 secondes, la quantité de données est nettement inférieure par rapport à celle des points de référence.

Calcul de l'angle θ

Afin de pouvoir appliquer les formules de précision et de justesse (avec $n=13$), il faut déterminer θ .

Formule de la précision [5] :

$$\theta_{\text{Offset}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \theta_i$$

Formule de la justesse [12] :

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \theta_i^2} = \sqrt{\frac{\theta_1^2 + \theta_2^2 + \dots + \theta_n^2}{n}}$$

θ représente l'angle formé par le point de référence appelé la « cible » (B), l'Œil (O) et le « Gaze point » (G) (angle BÔG) (voir figure 6).

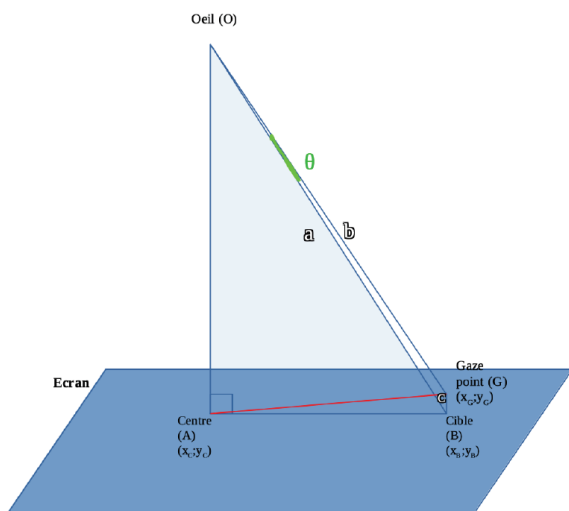


Figure 6. Schéma des différents trajets optiques avec a = distance Œil-cible [OB] ; b = distance Œil-Gaze point [OG] ; c = distance Gaze point-cible [GB].

La distance « Centre-Cible » = [AB] est calculée à l'aide d'un système vectoriel. Il en est de même pour la distance « Gaze Point-Cible » = [GB] = c.

La distance « Œil-Cible » = [OB] = b est calculée en appliquant le théorème de Pythagore dans le triangle OGA. Il en est de même pour la distance « Œil-Gaze point » = [OG] = b, dans le triangle OGA.

Ayant obtenu les trois côtés du triangle OBG, θ peut être calculé en appliquant le théorème d'Al-Kashi dans ce triangle. Ce théorème, appelé aussi théorème de Pythagore généralisé (ou encore loi des cosinus), sert à calculer la longueur d'un côté, ou un angle, d'un triangle quelconque, à partir de la longueur des autres côtés et de la mesure de l'angle opposé.

Calcul des données de précision et de justesse

Ayant obtenu les valeurs de θ , les formules de précision et de justesse peuvent être appliquées, avec $n=13$ (nombre de points de l'écran de calibrage). Pour chaque participant, une valeur de précision et une valeur de justesse sont calculées pour chaque champ visuel.

Analyse statistique des données

L'analyse statistique des données a été menée à partir du logiciel *Statistica V12 (Statsoft)*.

Une ANOVA (test F de Fisher-Snedecor pour groupes indépendants) a été réalisée afin de comparer les trois modalités de chacun des facteurs (luminosité, distance, angle et champ visuel). Il permet de répondre à la question initiale : la luminosité, la distance, l'angle et le champ visuel ont-ils un effet sur la précision et la justesse de lunettes d'eye-tracking ? Ce test a pu être mis en œuvre, car les conditions d'analyse le permettaient (tirage au hasard, effectif suffisamment grand, normalité, égalité des variances parentes).

Note : Pour tous les graphiques présentés ci-après, les barres verticales de part et d'autre du point moyen représentent les intervalles de confiance à $p=.05$.

Effet de la distance

Pour la précision, les moyennes varient de 2.48 à 2.74 entre les 3 distances et les écarts-types entre 0.87 et 1.11 et le test est non significatif ($F(2,60) = 0.02$; NS - voir figure 7). La distance n'a ainsi pas d'effet significatif sur la précision.

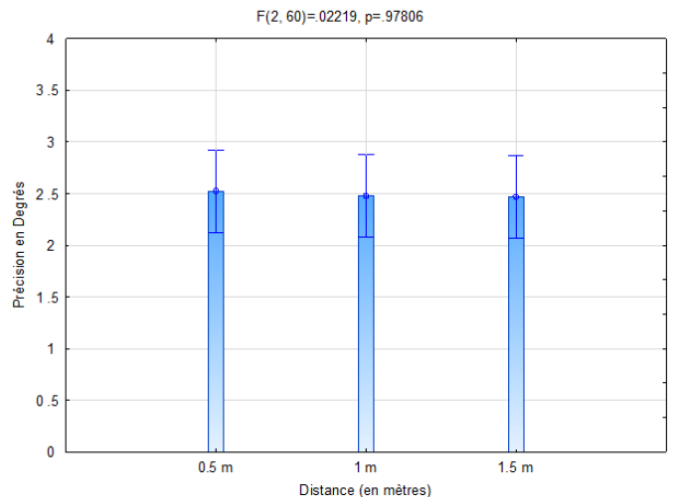


Figure 7 : Effet de la distance sur la précision.

Pour la justesse, les moyennes sont comprises entre 2.74 et 2.81 et les dispersions entre 0.98 et 1.17. Le test est à nouveau non significatif compte tenu des écarts très faibles entre les 3 distances ($F(2,60) = 0.03$; NS - voir

figure 8). On ne peut pas conclure à un effet de la distance sur la précision et la justesse des lunettes, ce qui réfute l'hypothèse 1.

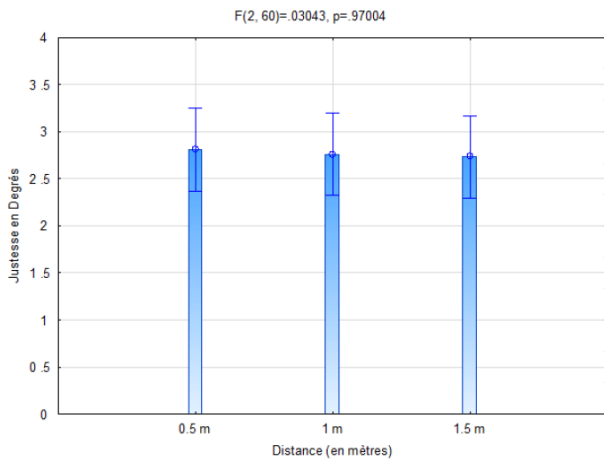


Figure 8 : Effet de la distance sur la justesse.

Effet de la luminosité

Concernant la luminosité et quelle que soit la distance, bien que l'on observe une valeur moyenne bien plus faible à 20 lux, donc meilleure pour la précision (M = 2.27 ; ET = 0.99), avec un pic à 300 lux (M = 2.69 ; ET = 1.03), puis une baisse à 600 lux (M = 2.52 ; ET = 0.90), il n'y a pas d'effet significatif de la luminosité sur la précision des lunettes (F (2,60) = 1.14 ; NS - voir figure 9).

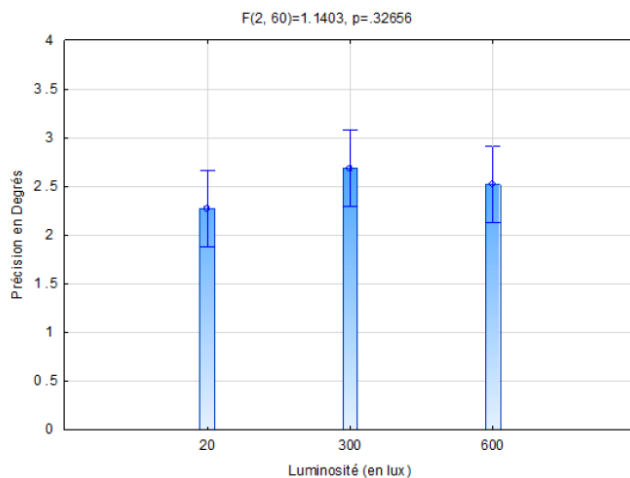


Figure 9 : Effet de la luminosité sur la précision.

La même configuration est constatée pour la justesse : la valeur la plus élevée et la moins favorable est à 300 lux (M = 2.98 ; ET = 1.14) puis légèrement plus faible à 600 lux (M = 2.80 ; ET = 0.97) et encore plus faible à 20 lux (M = 2.52 ; ET = 1.09). Bien que la luminosité à 20 lux semble la plus favorable, l'effet global de la luminosité sur la justesse n'est pas significatif ((F (2,60) = 1.17 ; NS – Figure 10). L'hypothèse 2 n'est donc pas validée.

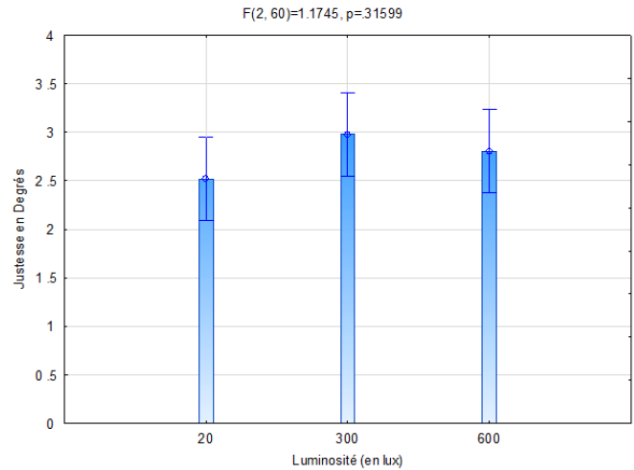


Figure 10 : Effet de la luminosité sur la justesse.

Effet de l'angle

Quelles que soient la distance et la luminosité, l'angle positionné à 20° donne la moins bonne précision (M = 2.78 ; ET = 1.08) par rapport à l'angle à 10° (M = 2.38) ou à l'angle à 0° (M = 2.31 ; ET = 0.80), l'angle n'a pas d'effet significatif sur la précision des lunettes (F(2,60) = 1.70 ; NS - voir figure 11).

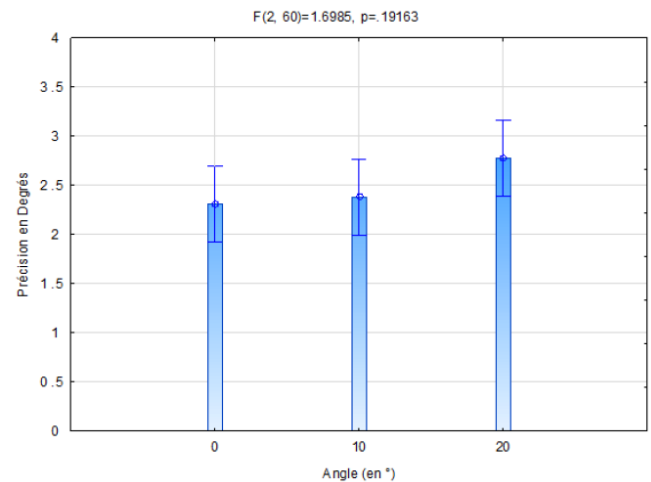


Figure 11 : Effet de l'angle sur la précision.

Le même constat est observé pour la justesse où l'effet de l'angle est aussi non significatif (F (2,60) = 1.82; NS - voir figure 12), où la valeur de la justesse est aussi moins bonne avec l'angle à 20° (M = 3.10 ; ET = 1.18) par rapport à l'angle 10° (M = 2.64 ; ET = 1.08) ou à l'angle 0° (M = 2.57 ; ET = 0.90). L'hypothèse 3 n'est également pas validée.

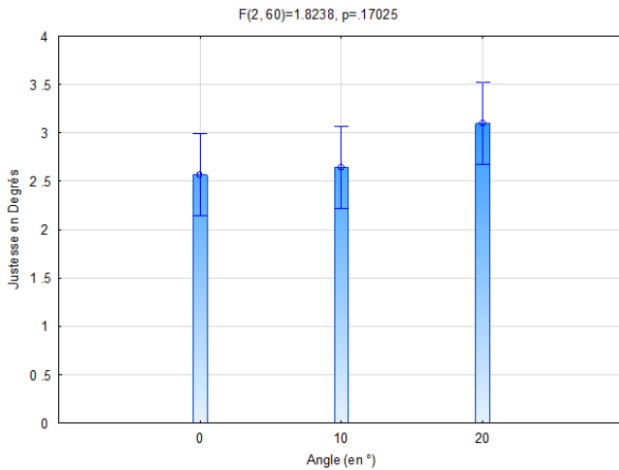


Figure 12 : Effet de l'angle sur la justesse.

Effet du champ visuel

Contrairement à l'hypothèse H4, où il était postulé que la précision des lunettes était meilleure lorsque le champ visuel était proche de la cible, on constate que c'est lorsque le sujet est éloigné de la cible que cette précision est significativement plus favorable ($M = 1.47$; $ET = 0.52$) par rapport au champ intermédiaire ($M = 2.68$; $ET = 0.94$) ou proche ($M = 3.32$; $ET = 1.47$) et l'effet global est significatif ($F(2,124) = 123.22$; $p = 0.00001$ - voir figure 13).

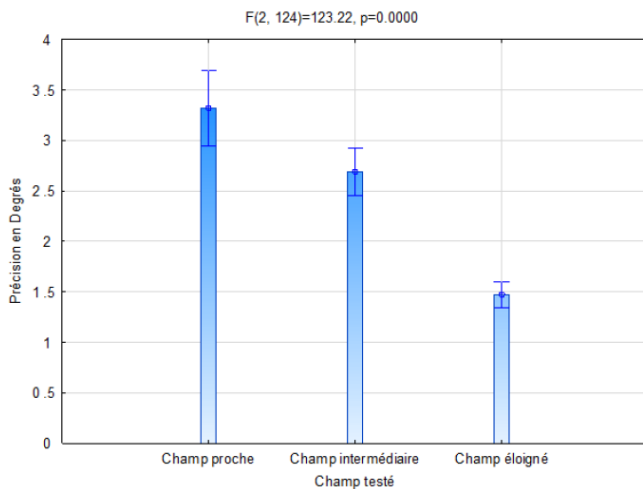


Figure 13 : Effet du champ visuel sur la précision.

Il en va de même pour la justesse ($F(2,124) = 128.35$; $p = 0.00001$ - voir figure 14), où elle est significativement plus faible, donc meilleure, en champ éloigné ($M = 1.64$; $ET = 0.57$) qu'en champ intermédiaire ($M = 3.01$; $ET = 1.06$) ou proche ($M = 3.66$; $ET = 1.58$). On peut donc conclure à la généralisation d'un effet du champ visuel sur la précision et la justesse des lunettes, avec de meilleures valeurs de précision et justesse en champ éloigné qu'en champ intermédiaire ou proche.

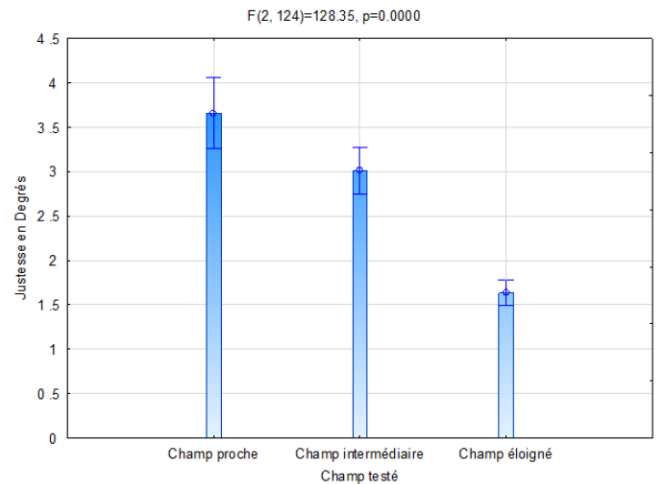


Figure 14 : Effet du champ visuel sur la justesse.

DISCUSSION

Contrairement aux autres appareils d'eye-tracking de l'entreprise Tobii, pour lesquels on observe un effet de la luminosité, de la distance et de l'angle sur les mesures de précision et de justesse [7] [10] [11] [13] [14], la luminosité, la distance et l'angle n'ont pas d'effet sur les mesures de précision et de justesse pour les Tobii Pro Glasses 2.

Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que les Tobii Pro Glasses 2 sont un dispositif récent, intégrant les dernières technologies en matière d'eye-tracking. Ayant été conçues pour des expériences sur le terrain (in situ) [8] [9], l'étude du comportement oculaire d'un usager dans un supermarché par exemple, où les conditions ne sont pas toujours idéales, les lunettes sont capables de s'adapter à une variation de luminosité, d'angle et de distance pendant la phase de calibration, sans pour autant avoir une diminution de la qualité des données recueillies.

En revanche, après la phase de calibration, la distance (champ visuel) à laquelle se place le sujet pour observer ce qu'il souhaite, a un effet sur la qualité des données recueillies pour les lunettes ce qui n'est pas spécifié dans le manuel d'utilisation. Si le sujet se place à une distance de 2 mètres (champ éloigné) de ce qu'il souhaite observer, les données recueillies sont de meilleure qualité que s'il se place à une distance de 1 mètre (champ proche) ou 1,5 mètre (champ intermédiaire).

Ces résultats peuvent être dus à un effet d'apprentissage car l'ordre des champs visuels est toujours le même (proche, intermédiaire et éloigné) ; au fur et à mesure l'œil s'habitue à fixer les points et les fixe donc de manière plus précise en champ éloigné qu'en champ proche et intermédiaire. Ces résultats peuvent aussi s'expliquer par le fait que les Tobii Pro Glasses 2 ont été conçues pour des expériences de terrain [8] [9]. Si on reprend l'exemple précédent, un usager cherchant un article dans le rayon d'un supermarché mettra de la distance entre le rayon et lui, pour pouvoir observer ce dernier dans sa globalité. Cette prise de recul permet à l'usager de minimiser sa

fatigue visuelle. En effet, plus l'objet regardé est loin, moins l'œil accommode et plus il est au repos. L'objet observé tend à se rapprocher du *Punctum Remotum* (position d'un objet vu nettement sans accommodation) qui se situe à l'infini pour l'œil humain normal [4]. Les lunettes ont sûrement été conçues pour s'adapter à ce type de comportement, ce qui peut justifier que les données recueillies soient plus précises en champ éloigné qu'en champ proche et intermédiaire.

CONCLUSION

Cette étude exploratoire avait pour objectif de déterminer l'effet potentiel de la luminosité, de la distance, de l'angle et du champ visuel sur la précision et la justesse de lunettes d'eye-tracking. On constate que la distance, la luminosité et l'angle pendant la phase de calibration n'ont pas d'effet sur la précision et la justesse des *Tobii Pro Glasses 2*. Les lunettes sont capables de s'adapter à des variations de distance, de luminosité et d'angle pendant cette phase sans pour autant avoir une diminution de la qualité des données recueillies. Cependant, on constate que le champ visuel, distance à laquelle se place le sujet pour observer l'écran après la phase de calibration, a un effet sur la précision et la justesse des lunettes. Il est recommandé que le sujet se place à une distance de 2 mètres (champ éloigné) de ce qu'il observe, pour que les données recueillies soient davantage précises. Des études ultérieures pourraient affiner ces premières constatations et permettre également d'analyser les possibles interactions entre les différents facteurs liés à une bonne calibration (distance, luminosité et angle) en ciblant certaines conditions.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la société *Tobii* pour le prêt du matériel d'eye-tracking et *Alexis Clay* pour son aide dans la prise en main du matériel.

BIBLIOGRAPHIE

1. Blascheck, T., Kurzhals, K., Raschke, M., Burch, M., Weiskopf, D., & Ertl, T. (2017). Visualization of Eye Tracking Data: A Taxonomy and Survey. *Computer Graphics Forum*, 36(8), 260–284. <https://doi.org/10.1111/cgf.13079>
2. Box, G.E.P., Hunter, W.G., & Hunter, J.S. (1978). *Statistics for experimenters, An introduction to design, data analysis, and model building*. Hoboken, NJ : John Wiley & Sons.
3. Kasprowski, P., & Harezlak, K. (2018). ETCAL – a versatile and extendable library for eye tracker calibration. *Digital Signal Processing: A Review Journal*, 77, 222–232. <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2017.11.011>
4. Le Grand, Y. (1949). Sur les notions de remotum et d'accommodation négative. *L'année Psychologique*, (1), 179. <https://doi-org.sirius.parisdescartes.fr/10.3406/psy.1949.8441>
5. Nyström, M., Andersson, R., Holmqvist, K., & van de Weijer, J. (2013). The influence of calibration method and eye physiology on eyetracking data quality. *Behavior Research Methods*, 45(1), 272–288. <https://doi.org/10.3758/s13428-012-0247-4>
6. Salber, D., & Coutaz, J. (1993). A wizard of Oz platform for the study of multimodal systems. In *Proceedings of the INTERACT'93 and CHI'93* (Vol. 24, pp. 95–96).
7. Tobii AB. (2015). *Accuracy and precision test report, Tobii pro X3-120 fw 1.7.1*. En ligne <https://www.tobiiipro.com/about/quality/>
8. Tobii AB. (2019). *How do Tobii eye trackers work ?*. En ligne <https://www.tobiiipro.com/learn-and-support/learn/eye-tracking-essentials/how-do-tobii-eye-trackers-work/>
9. Tobii AB. (2019). *Vous avez dit « eye-tracking » ?*. En ligne <https://www.tobiiipro.com/fr/-propos/vous-avez-dit-eye-tracking/>
10. Tobii Pro. (2018). *Eye tracker data quality test report, Accuracy, precision and detected gaze under optimal conditions – controlled environment, Tobii pro nano - firmware :2.33.0*. En ligne <https://www.tobiiipro.com/about/quality/>
11. Tobii Pro. (2018). *Eye tracker data quality test report, Accuracy, precision and detected gaze under optimal conditions – controlled environment, Tobii pro spectrum*. En ligne <https://www.tobiiipro.com/about/quality/>
12. Tobii Technology AB. (2012). *Test Specification, Accuracy and precision test method for remote eye trackers*. En ligne <https://www.tobiiipro.com/learn-and-support/learn/eye-tracking-essentials/what-affects-the-accuracy-and-precision-of-an-eye-tracker/>
13. Tobii Technology AB. (2013). *Accuracy and precision test report, X2-30 fw 1.0.1*. En ligne <https://www.tobiiipro.com/about/quality/>
14. Tobii Technology AB. (2013). *Accuracy and precision test report, X2-60 fw 1.0.5*. En ligne <https://www.tobiiipro.com/about/quality/>