

L'influence de la perception d'un flux visuel en environnement de réalité virtuelle sur la capacité à retrouver une vitesse de course à pied imposée

Travail de fin d'études en vue de l'obtention du titre de
Master of Science en sciences du sport
Option enseignement

déposé par

Florian Blunschi

à

l'Université de Fribourg, Suisse

Faculté des sciences

Département de médecine

en collaboration avec la
Haute école fédérale de sport de Macolin

Référent

Prof. Jean-Pierre Bresciani

Conseillère

Dr. Amandine Dubois

Fribourg, mai 2019

Table des matières

Résumé.....	3
1 Introduction	4
1.1 Récepteurs et perception	4
1.2 Système visuel.....	5
1.3 Appareil proprioceptif et système vestibulaire.....	13
1.4 Relations visuo-motrices	14
1.5 Course à pied sur tapis roulant	16
1.6 Objectif du travail.....	17
2 Méthode.....	18
2.1 Description de l'échantillon	18
2.2 Design de l'étude.....	18
2.3 Méthodes et instruments de recherche	19
2.4 Interventions.....	20
2.5 Evaluation et analyse statistique des données	20
3 Résultats	22
4 Discussion	26
4.1 La vitesse d'un flux visuel influence-t-elle la capacité à retrouver une vitesse imposée ?	26
4.2 Forces et faiblesses.....	27
4.3 Perspectives de recherche.....	28
5 Conclusion.....	30
Bibliographie.....	31
Annexes	35
Remerciements	38

Résumé

Introduction. Les activités sportives et physiques font appel à une intégration constante d'informations sensorielles afin de produire une représentation du corps dans l'environnement. Les informations sensorielles sont intégrées par le système nerveux central pour donner lieu à une perception du mouvement. En analysant la locomotion humaine avec un flux optique sur tapis roulant, une influence de la vision a été constatée. Les études s'y référant se concentrent souvent sur l'influence du flux visuel sur la modification de la course à pied au niveau biomécanique. Cependant, les effets d'une modification d'un flux visuel sur la perception de la vitesse sont moins connus. Ce travail avait pour but d'étudier l'influence d'un flux visuel sur la perception de la vitesse en course à pied sur tapis roulant ainsi que de comprendre le rôle joué par la vision dans la perception de l'allure de course.

Méthode. Une expérience de course à pied sur tapis roulant avec un flux visuel en réalité virtuelle a été réalisée sur 12 jeunes adultes (4 femmes et 8 hommes). L'objectif pour les sujets était de courir sur le tapis roulant tout en regardant le flux visuel projeté sur un écran. Après une phase de calibration (2 min) et une pause (1 min), les sujets devaient retrouver la vitesse de course à pied imposée précédemment (celle-ci était de 10 km/h) tout en fixant le flux visuel. Quatre conditions de vitesse de flux visuel ont été appliquées : Sans flux visuel (écran gris), vitesse égale (10 km/h), vitesse inférieure (5 km/h) et vitesse supérieure (15 km/h). Les résultats des vitesses retrouvées par les sujets ont été relevés manuellement, puis traités avec le logiciel informatique Rstudio.

Résultats. Aucune différence significative n'a été trouvée entre les 4 conditions testées ($p=0.33$). Les moyennes des 4 conditions de notre expérience ont révélé que les sujets trouvaient une vitesse légèrement plus élevée que 10 km/h (10.15 à 10.50 km/h en moyenne dans les 4 conditions), indépendamment de la vitesse du flux visuel.

Conclusion. Contrairement aux hypothèses de recherche, la modification de la vitesse d'un flux visuel n'a pas eu d'incidence sur la capacité des personnes à retrouver un rythme de course à pied imposé. C'est-à-dire que nous n'avons pas trouvé d'influence du flux visuel sur la perception de la vitesse. Cela suggère que les récepteurs de la vision ne sont pas les sens majoritairement utilisés par l'être humain pour percevoir une vitesse donnée en course à pied. En conclusion, les mécanismes proprioceptifs et vestibulaires prennent le dessus sur les récepteurs visuels pour percevoir une vitesse imposée de course à pied sur tapis roulant.

1 Introduction

Au cours des dernières années, les sciences perceptives et sensorielles ont amené de nouveaux éléments permettant de comprendre la locomotion humaine. En effet, se déplacer demande de nombreuses interactions de nos sens, de notre corps et de notre environnement (Sun, Campos & Chan, 2004). En ce qui concerne le mouvement du corps avec l'environnement, la locomotion humaine est guidée par des informations multi-sensorielles. Ce qui signifie que les signaux visuels, vestibulaires, moteurs, kinesthésiques et auditifs sont intégrés dans notre système nerveux central pour créer notre perception (Mergner & Rosemeier, 1998). De nombreuses études ont analysé la manière dont ces signaux sont intégrés pour l'orientation humaine. Cependant, nous en connaissons moins sur la perception de la vitesse selon Caramenti et al. (2018).

Cette étude entre dans un contexte de valorisation de l'utilisation des tapis roulants avec l'utilisation d'un environnement virtuel. Le but étant de rendre l'environnement virtuel suffisamment attractif pour motiver les personnes à s'engager dans des activités physiques régulières afin d'améliorer leur santé ainsi que de diminuer le risque de maladies cardiovasculaires. En effet, la course à pied diminue de 25 à 40 % le risque de décès prématuré (Lee et al., 2017). Selon Day et Fitzpatrick (2005) les activités sportives et physiques font appel à une intégration constante d'informations sensorielles afin de produire une représentation claire, précise et cohérente du corps dans son environnement. Dans le cas, d'une interaction de la course à pied sur tapis roulant et d'un flux visuel, deux systèmes sensoriels sont majoritairement impliqués. Il s'agit du système visuel et du système vestibulaire. Nous voulons ainsi lier la pratique de la course à pied avec notre vision. L'étude aimerait voir si le changement d'un flux visuel influencerait les sujets quant à leur capacité à retrouver leur vitesse de course à pied. Nous souhaitons donc mesurer l'effet d'une modification d'un flux visuel sur la perception de la vitesse en course à pied sur un tapis roulant en utilisant la réalité virtuelle.

Afin de bien saisir l'enjeu de l'implication de nos divers systèmes sensoriels, nous allons dans ce chapitre d'introduction présenter les divers systèmes sensoriels impliqués. Puis dans une seconde partie, nous tenterons de comprendre les mécanismes qui font travailler les sens ensemble et chercherons à savoir comment la vision est liée avec notre perception de la vitesse en course à pied.

1.1 Récepteurs et perception

Les récepteurs de notre système nerveux sont des « interprètes cellulaires qui traduisent sous forme d'influx nerveux des modifications spécifiques de leur environnement. Ils sont à la base

de la sensibilité » (Faller, Sprumont & Schünke, 2006, p. 415). En fonction des différents signaux reçus, les récepteurs réagissent de la même manière quelle que soit leur origine. Les signaux sont appelés des stimuli. La stimulation des récepteurs va produire un influx qui se déplace dans notre système nerveux. Les récepteurs en périphérie de notre corps vont envoyer un influx du système nerveux périphérique vers le système nerveux central. Il existe de nombreux récepteurs, qui peuvent avoir des facettes différentes et qui sont répartis dans tout le corps. Certains récepteurs sont localisés à des endroits spécifiques et vont vers le système nerveux central. Selon les différentes stimulations possibles Faller et al. (2006) distinguent trois catégories de récepteurs. Il s'agit des extérocepteurs, des intérocepteurs et des propriocepteurs. Les extérocepteurs vont réagir à des stimuli venant de l'extérieur de l'organisme et proches du corps. Ainsi la peau contient des extérocepteurs généraux et la rétine de l'œil se trouve être un extérocepteur spécifique. Les récepteurs de l'œil sont situés sur la rétine et sont appelés les photorécepteurs. Pour leur part, les intérocepteurs se trouvent à l'intérieur de notre corps, dans la paroi des organes creux tels que les vaisseaux sanguins. Ils réagissent à des différences, dans le corps, de natures chimiques ou mécaniques. La dernière catégorie est aussi présente dans le corps. En effet, les propriocepteurs sont situés dans notre appareil locomoteur. Ces derniers vont réagir en fonction des contraintes mécaniques des ligaments, des articulations et des muscles. L'appareil vestibulaire est parfois considéré comme un propriocepteur particulier. Dans l'appareil locomoteur, les propriocepteurs principaux sont les organes tendineux (de Golgi), les fuseaux musculaires et les récepteurs articulaires (Faller et al., 2006). Les récepteurs généraux de notre organisme sont souvent interconnectés entre eux. La proprioception s'occupe de l'information du système nerveux sur la position du notre appareil locomoteur dans notre espace. Mais il est possible d'observer que le système visuel et les influx visuels ont aussi un rôle majeur dans l'orientation. La vision fait appel à la conscience et peut ainsi être perçue (Faller et al., 2006).

1.2 Système visuel

Nous avons évoqué la rétine de l'œil comme extérocepteur spécifique dans le chapitre précédent. Il convient donc de saisir les différents éléments qui composent notre système visuel pour bien comprendre les enjeux liés à la vision.

1.2.1 L'œil humain. La vision analyse l'environnement grâce aux rayons de la lumière réfléchis ou émis par les objets qui nous entourent. L'appareil de la vision sert à transmettre, sous

la forme d'un influx nerveux, les radiations électromagnétiques à notre cerveau. Notre œil perçoit les ondes électromagnétiques qui sont entre 400 (noir-violet) et 700 nm (rouge-sombre) ; ce qui correspond au spectre visible de la lumière (Faller et al., 2006).

Afin de se faire une idée des différentes composantes que nous allons évoquer, la *figure 1* illustre une représentation d'un œil droit.

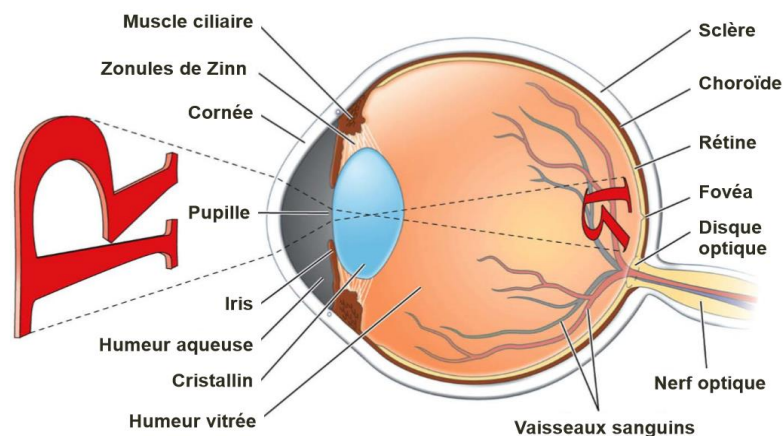


Figure 1. Image d'un œil droit et ces composantes (Wolfe, Kluender & Levi, 2012, p. 33).

L'œil tout comme l'appareil de la vision sont composés du bulbe (globe) oculaire, des muscles (qui permettent le mouvement de l'œil), des paupières (qui le protègent) et de l'appareil lacrymal qui sert à l'humecter (Faller et al., 2006). Nous allons nous concentrer sur l'œil en lui-même et donc rester sur le globe oculaire avec ces diverses composantes ainsi que les récepteurs (photorécepteurs) à l'intérieur de celui-ci. Selon Faller et al. (2006), l'œil a une forme ronde et est composé de trois couches appelées tuniques concentriques qui sont à l'image des poupées russes.

La couche externe est la sclère à l'arrière de l'œil et la cornée transparente à l'avant. La sclérotique est le « blanc de l'œil ». Elle est composée d'une membrane solide et a, sur le côté postérieur, des orifices qui laissent passer les fibres du nerf optique. La cornée, située à l'avant, est plus fine au centre (0.6 mm) que dans sa périphérie (1 mm). La cornée contient de nombreuses fibres nerveuses. Elle est donc très délicate et sensible (Faller et al., 2006).

La seconde couche est la choroïde sur l'arrière et forme, à l'avant de notre œil, l'iris. La choroïde est une couche foncée, très bien vascularisée. Cette couche est formée de nombreuses cellules pigmentaires qui empêchent les rayons lumineux de passer aux travers. Ces derniers arrivent dans l'œil seulement par l'ouverture laissée par l'iris qui forme la pupille. Les muscles de l'iris peuvent s'élargir en se dilatant ou s'amincir en se contractant. Ainsi, la taille de la

pupille est variable en fonction de la dilatation ou de la contraction des muscles de l'iris (Faller et al., 2006). La pupille correspond au « disque noir » au centre de l'œil. L'iris et la pupille ont un rôle optique naturel. En effet, elles permettent de contrôler la quantité de lumière arrivant dans l'œil et ainsi de contrôler les propriétés optiques de l'œil en variant la qualité de l'image perçue sur notre rétine (Gatinel, 2015). Le cristallin est situé juste derrière la pupille. C'est une partie transparente qui est entourée d'une capsule et qui est attachée aux muscles ciliaires par des fibres. Le cristallin ne possède pas de nerfs, mais se compose de fibres cristallines qui lui confèrent une certaine élasticité. Il peut donc s'étirer ou se relâcher et ainsi varier de forme. Ces variations sont importantes car elles permettent d'accommoder notre vision à une distance (Faller et al., 2006).

La couche la plus interne est la rétine. La partie arrière de la rétine contient les photorécepteurs, les récepteurs pour notre vision. La partie nerveuse, postérieure, est sur la choroïde. La partie avant, dite aveugle, va jusqu'à la face arrière de l'iris. La frontière entre ces deux parties s'appelle l'ora serrata. La partie nerveuse de la rétine est accrochée à la choroïde par l'ora serrata et le nerf optique. Le nerf optique est la zone où les cellules ganglionnaires de la rétine se dirigent et forment un disque. Les cellules traversent les trois couches des tuniques concentriques pour se diriger vers le système nerveux central (Faller et al., 2006). Autour de ce disque de 1.5 mm de diamètre, qui est le départ du nerf optique, ne se trouve aucun récepteur. Cette zone forme la tache aveugle. Ainsi, si l'homme n'avait qu'un œil, une partie de sa vision serait cachée par cette tache aveugle. C'est-à-dire que nous ne verrions pas une partie de l'environnement qui se trouverait devant nous. Celle-ci ne nous dérange en générale pas, car nous regardons la plupart du temps avec nos deux yeux (vision binoculaire). La fovéa fait aussi partie de la rétine. Il s'agit du point où la rétine est alignée avec l'axe optique de l'œil. Ce point est entouré d'une tache jaune. La fovéa est la zone où la vision est la plus précise. Dans cette tache jaune, la rétine n'a que des cônes comme récepteurs (Faller et al., 2006).

Maintenant que nous avons vu la constitution globale de l'œil, nous allons nous intéresser de plus près à la partie microscopique de la zone optique de la rétine, c'est-à-dire de ces récepteurs. Les photorécepteurs qui sont sensibles à la lumière sont au nombre de 130 millions et forment une couche sur la rétine. Faller et al. (2006) distinguent deux types de photorécepteurs : les cônes et les bâtonnets. L'être humain possède 6 millions de cônes qui permettent de distinguer les couleurs en pleine lumière. Il s'agit de la vision photique. Tous les cônes ont une sensibilité pour une couleur, soit le rouge, soit le bleu ou alors le vert. Les autres récepteurs qui sont au nombre de 110 à 125 millions sont les bâtonnets. Ceux-ci permettent de voir les formes et de distinguer les contours dans la lumière mais aussi dans la nuit et dans la pénombre. Faller et al.

(2006) parlent alors de vision scotopique. Les récepteurs sont reliés, par des synapses, à deux étages de neurones qui sont eux-mêmes connectés à des cellules plus grandes, les cellules ganglionnaires qui sont la base du nerf optique. La *figure 2* montre les différents étages de neurones. Il y a environ 1 million de cellules ganglionnaires sur une rétine. Ce qui veut dire que les stimuli visuels perçus par nos 130 millions de récepteurs (cônes et bâtonnets) sont déjà fortement retravaillés au niveau de la rétine (Faller et al., 2006).

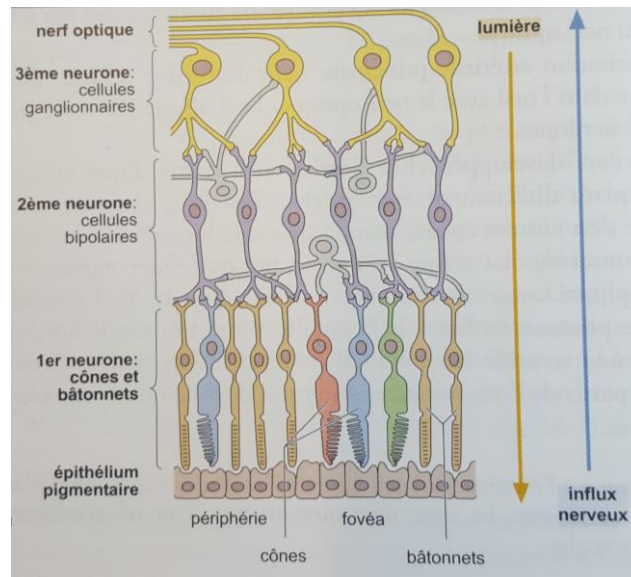


Figure 2. Connexions nerveuses à l'intérieur de la rétine jusqu'au nerf optique (Faller et al., 2006, p. 432).

1.2.2 Fonctions de l'œil. Nous avons explicité la constitution de l'œil. Par la suite il s'agit d'aborder les différentes fonctions de celui-ci.

Pouvoir de réfraction. Les rayons lumineux passent à travers plusieurs parties de notre œil comme la cornée, la pupille ou le cristallin pour arriver sur la rétine. C'est sur cette dernière que se forme l'image de ce que l'être humain observe. Cette image, qui se forme sur la rétine, est renversée et en opposition (comme un miroir). Cette notion est illustrée sur la *figure 1*. C'est grâce au cortex cérébral, qui va traiter l'information visuelle, que les êtres humains voient "correctement le monde" extérieur puisque le cortex cérébral va retourner l'image. L'image objective subit notre perception subjective via le traitement du stimulus visuel par le cortex cérébral (Faller et al., 2006).

Accommodation visuelle à la distance. Tout ce qui se trouve à plus de 6 mètres de l'œil va former une image claire et précise sur la rétine. Cependant, l'environnement à moins de 6 mètres va nécessiter une contraction du muscle ciliaire pour avoir une vision nette d'un objet (Faller et al., 2006). Faller et al. (2006) appellent ceci une accommodation visuelle à la distance.

Réflexes pupillaires. Une contraction des muscles ciliaires, dans le cas d'une accommodation visuelle, provoque un rétrécissement automatique de la pupille. Cette dernière réagit de la même manière si l'intensité lumineuse est trop élevée (Faller et al., 2006).

Champ visuel et vision binoculaire. Tout ce qui se trouve dans la vision correspond au champ visuel. Les deux yeux en ont chacun un bien distinct, bien que la majorité des informations visuelles soient identiques des deux côtés. Cependant, c'est grâce aux divergences minimales entre l'œil gauche et l'œil droit que l'homme arrive à estimer la distance avec un objet. Cela fonctionne relativement bien pour un environnement proche (environ 60 mètres) (Faller et al., 2006).

Acuité visuelle. La précision la plus petite que l'être humain peut observer entre deux éléments s'appelle l'acuité visuelle. C'est-à-dire la plus petite distance qui sépare deux points ou deux traits que l'œil arrive à repérer (Faller et al., 2006).

Ces diverses fonctions de l'œil vont être stimulées par des influx nerveux qui vont ensuite être traités par notre cortex cortical visuel via les voies visuelles (Faller et al., 2006).

1.2.3 Voies visuelles. Pour parler de perception visuelle, les stimuli visuels, qui se transforment en influx nerveux parvenant des bâtonnets ou des cônes, doivent être envoyés au système nerveux central. C'est ce que font les « voies visuelles » ou « voies optiques » (Faller et al., 2006). La *figure 3* et la *figure 4* illustrent les voies visuelles et les différents cortex impliqués dans la vision. Mishkin, Ungerleider et Macko (1983) ont distingué deux voies principales dans le traitement cortical de l'information visuelle. Il s'agit de la voie ventrale, qui permet l'identification d'un objet, et de la voie dorsale qui permet de déterminer la position d'un objet dans l'espace. Ainsi, cette voie contribuerait à la perception du mouvement (Mishkin et al., 1983). D'après Faller et al. (2006), les voies visuelles sont composées des nerfs optiques droits et gauches. Eux-mêmes sont composés de fibres qui vont se croiser à l'intérieur du cerveau, à la hauteur du chiasme optique. Les fibres vont continuer jusqu'au corps géniculé latéral (CGL) du métathalamus. Ceux-ci vont émettre des axones qui s'occupent de la vision pour aboutir dans le cortex visuel primaire. Il y a donc plusieurs étapes entre l'influx nerveux cheminant de la rétine jusqu'au cortex visuel. Le cortex visuel est à l'origine de l'interprétation de notre perception visuelle. La vision consciente vient de notre activité cérébrale. Les perceptions visuelles sont donc liées au travail de notre cerveau et sont fortement subjectives. Ainsi notre cerveau peut commettre des erreurs d'interprétation comme des illusions d'optiques (Faller et al., 2006). La perception de mouvement illusoire sur une image est un exemple des nombreuses illusions d'optiques (Fraser & Wilcox, 1979). C'est en ce sens que notre expérience sur la perception

visuelle devient intéressante. Nous allons nous intéresser à l'impact des différences de vitesse de flux visuel sur notre perception de la course à pied. De même, nous observerons si les informations visuelles perturbent notre cerveau et la vitesse perçue.

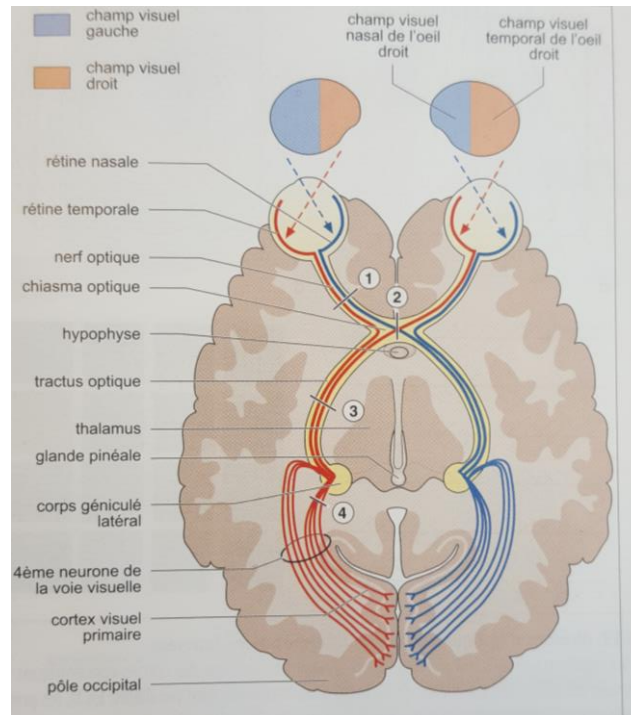


Figure 3. Les voies visuelles (Faller et al., 2006, p. 439).

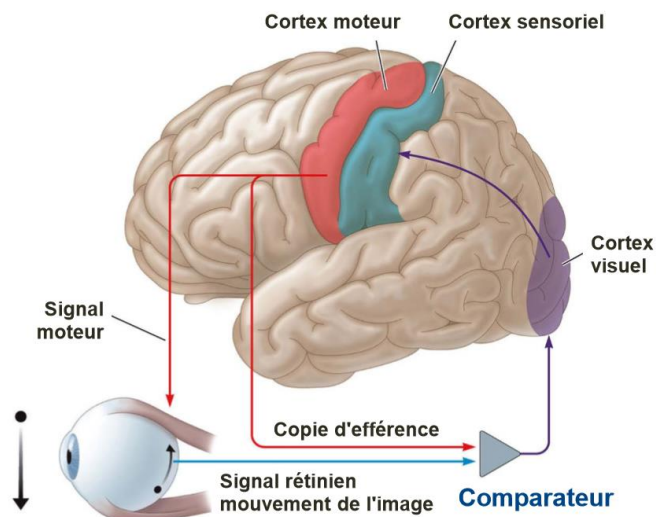


Figure 4. Copie d'efférence (Wolfe et al., 2012, p. 239).

Avant, d'aller plus loin dans notre analyse, il convient de comprendre comment notre vision perçoit le mouvement.

1.2.4 Perception du mouvement dans l'environnement. Le mouvement est le changement de position au fil du temps (Wolfe et al., 2012). Selon Wolfe et al. (2012), le système visuel distingue un objet par ses différentes caractéristiques, comme sa forme, sa localisation dans l'espace et sa couleur. Il a été évoqué dans les chapitres précédents que les stimuli visuels étaient directement codés dans l'œil par les neurones avant d'être traités par le cortex visuel (Faller et al., 2006). Dans certains cas, un trouble neuropsychologique rare connu sous le nom d'akinétopsie va affecter un individu de telle manière qu'il n'aura aucune perception visuelle du mouvement (Wolfe et al., 2012). Cela signifie que la personne est pleinement consciente qu'un objet a changé d'emplacement (du point A au point B) mais qu'elle ne ressent aucune perception du mouvement. Ce syndrome de cécité au mouvement correspond à une image qui se bloque, puis la personne perd la reconnaissance du mouvement (Wolfe et al., 2012). Zihl, Von Cramon et Mai (1983) ont publié un article concernant une dame ayant le syndrome d'akinétopsie. L'étude révèle que les deux côtés de son cortex extra-strié, qui jouent un rôle dans la reconnaissance du mouvement (aire V5 de la voie visuelle dorsale), étaient endommagés (Zihl et al., 1983). Cependant, la grande majorité des personnes détectent le déplacement d'objets dans l'environnement. Ces déplacements peuvent d'ailleurs perturber la perception de la réalité (Wolfe et al., 2012). Nous avons tous déjà eu des illusions de déplacement (sensation de bouger alors que nous sommes immobiles) causées par des signaux visuels en mouvement. Cette illusion peut être obtenue en regardant des films IMAX, ou lorsque nous sommes à l'arrêt dans notre voiture (ou dans le train) et que celui d'à côté commence à bouger. Toutes ces situations peuvent conduire à des perceptions de mouvements de soi illusoire appelésvection (Wolfe et al., 2012). Les objets de taille et de formes différentes, situés à des distances variables, peuvent donner des angles optiques similaires (Temprado & Montagne, 2001). Selon Temprado et Montagne, (2001) cet effet peut s'obtenir en partant du principe que les connaissances d'un sujet sur son environnement lui permettent de rétablir l'information incomplète. Ainsi, en réalité, une personne n'a pas besoin de toutes les informations visuelles et de toutes les étapes intermédiaires pour se représenter un objet et son déplacement. Les représentations intermédiaires ne sont plus nécessaires si le cerveau tient compte des changements de configurations optiques au fil du temps. C'est ce que Temprado et Montagne (2001) appellent le flux optique.

1.2.5 Flux optique. Le flux visuel ou flux optique peut être défini comme le changement de position angulaire des points dans une image en perspective donnant l'impression de se déplacer dans le monde réel (Wolfe et al., 2012). Lorsque les personnes se déplacent dans l'environne-

ment, elles expérimentent des patterns du flux optique (Gibson, 1957). Les différences de configurations optiques donnent l'impression d'un flux optique qui peut être défini par un champ vectoriel (Gibson, 1950). « A chaque élément optique est affecté un vecteur dont l'amplitude, la direction et le sens permettent de caractériser le déplacement de l'individu dans son environnement » (Temprado & Montagne, 2001, p. 22). Selon Temprado et Montagne (2001), il existe une différence entre un flux optique global, qui découle du déplacement d'une personne dans son environnement et un flux optique local qui provient du déplacement de la surface du terrain par rapport à une personne. Dans la vie de tous les jours comme conduire, se déplacer ou faire du sport, les deux types de flux se mélangent (Temprado & Montagne, 2001). Les informations visuelles qu'un sujet doit utiliser pour contrôler un mouvement sont disponibles dans le flux visuel sous la forme d'invariants (Temprado & Montagne, 2001).

Dans notre expérience, les sujets seront soumis à un flux optique. Leur attention devra donc se focaliser sur l'écran devant eux et la tâche à réaliser.

1.2.6 Attention sensorielle. L'attention est un aspect central de la perception car l'homme ne peut pas traiter toutes les entrées de nos sens. Le terme attention désigne un ensemble important de mécanismes sélectifs qui permettent à l'homme de se concentrer sur certains stimuli au détriment des autres. Des mécanismes attentionnels existent dans tous les domaines sensoriels (Wolfe et al., 2012). Si un sujet se focalise sur un point précis de son champ visuel, les neurones qui répondent aux stimuli dans cette partie du champ deviendront plus actifs (Wolfe et al., 2012). Lorsque les cellules limitent leur traitement à l'objet de l'attention, la sensibilité aux éléments voisins peut être réduite à mesure que des ressources leur sont retirées. Cette prédiction est confirmée, selon Mounts (2000), puisqu'il a montré dans son étude que les effets de l'attention révèlent l'inhibition visuelle de ce qui se trouve autour de l'objet de l'attention. En laboratoire, cependant, des phénomènes tels que la cécité attentionnelle peuvent être utilisés pour révéler les limites de notre perception. Il devient de plus en plus évident que ces limites peuvent avoir des conséquences concrètes sur nos sens (Wolfe et al., 2012). Selon Wolfe et al. (2012) des études ont montré que les premiers stades du traitement cortical étaient déjà influencés par l'attention. Sans attention, des mécanismes empêchent l'être humain de détecter certains déplacements ou changements d'objets dans une scène complexe. Ce qui peut même amener à ne pas percevoir du tout certains objets dans une scène. Les scientifiques parlent alors de cécité d'inattention (Simons & Chabris, 1999). Simons et Chabris (1999) ont montré cet effet dans leur expérience du gorille. Les sujets devaient compter le nombre de passes d'une équipe de

basket. Pendant ce temps, une personne avec un costume de gorille traverse la scène. Une majorité des personnes ne détectaient pas la présence du gorille car leur attention se portait sur les passes de basket (Simons & Chabris, 1999). Les mécanismes de cécité sont à prendre en considération dans notre étude.

1.3 Appareil proprioceptif et système vestibulaire

Après avoir réalisé un aperçu du système visuel, nous allons introduire l'appareil proprioceptif et le système vestibulaire.

1.3.1 Récepteurs proprioceptifs. Selon Prescott et Ratté (2017), la proprioception fait référence au sens de la position et du mouvement des membres, ce dernier étant spécifiquement appelé kinesthésie. Le retour proprioceptif est essentiel au bon équilibre et au bon contrôle moteur. Innervés par les fibres alpha-conductrices rapides, les muscles possèdent des récepteurs impliqués dans la proprioception. Les fuseaux musculaires comprennent un faisceau de fibres musculaires minces qui sont enfermées dans une capsule. Des afférences mécano-sensibles enveloppent les fibres musculaires et sont activées par étirement, de sorte que leur cadence de déclenchement est proportionnelle à la longueur du muscle. La contraction des fibres musculaires minces (intrafusales), innervées par les motoneurones, peut efficacement moduler la sensibilité des fuseaux musculaires. Les organes tendineux de Golgi, situés entre les muscles et les tendons, détectent la force musculaire plutôt que la longueur et constituent un élément important des circuits réflexes. Les articulations sont dotées de récepteurs de capsule articulaire qui détectent la tension. Cependant, il est intéressant de noter que les individus avec des articulations artificielles peuvent toujours assez bien percevoir l'angle et le mouvement de leur articulation artificielle sur la base de la contribution des fuseaux musculaires (Prescott & Ratté, 2017).

1.3.2 Système vestibulaire. Le système vestibulaire est un ensemble d'organes sensoriels spécialisés situés dans l'oreille interne juste à côté de la cochlée. Les organes vestibulaires détectent le mouvement de la tête ainsi que l'orientation de la gravité. De même, ils contribuent de manière prédominante à notre perception de l'inclinaison de notre tête et à notre perception du mouvement (Wolfe et al., 2012). Le système vestibulaire répond à la perception du mouvement, principalement grâce aux accélérations qu'il subit (Faller et al., 2006). Ainsi une haute vitesse de déplacement mais sans accélération ne sera pas relevée par le système vestibulaire, alors qu'un positionnement inhabituel dans l'inclinaison provoquera une réponse vestibulaire (Faller et al., 2006).

Nous allons maintenant nous intéresser à la manière dont le système visuel et proprioceptif travaillent ensemble pour créer notre perception du déplacement et de la vitesse.

1.4 Relations visuo-motrices

Les habiletés visuomotrices se rapportent au moment où la vision et les mouvements moteurs travaillent ensemble afin de produire des gestes (AboutKidsHealth, 2009). Selon Fink, Foo et Warren (2009), le contrôle visuel de l'action repose sur un modèle interne du monde physique, de sorte qu'un joueur défensif prédit le point d'atterrissage d'une balle en se basant sur un modèle mental de la trajectoire de la balle (TP). Cependant, deux théories alternatives, l'annulation d'accélération optique (OAC) et la trajectoire optique linéaire (LOT), proposent que les joueurs sur un terrain soient conduits au bon endroit au bon moment en couplant leurs mouvements à des informations visuelles de manière continue "en ligne". Les trois théories prédisent des captures réussies et des trajectoires similaires (Fink et al., 2009). Ainsi, les joueurs de baseball qui rattrapent une balle doivent coordonner leur mouvement et la vision pour réussir l'exercice (Shaffer & MacBeath, 2002). Selon Shaffer et MacBeath (2002) la stratégie LOT est la priorité lors de la poursuite des balles. Ces théories nous montrent une partie des relations entre le mouvement et la vision.

De plus, l'importance des informations visuelles ainsi que l'effet d'une modification d'un flux perceptif sur la locomotion humaine sont déjà bien documentés. Cependant ces études se concentrent souvent sur l'effet de la modification du flux visuel sur la course à pied au niveau biomécanique (Prokop, Schubert & Berger, 1997 ; Pailhous, Ferrandez, Flückiger & Baumberger, 1990). Ils ont démontré que les sujets diminuaient leur vitesse de marche de telle manière à ce que le flux visuel corresponde à leur vitesse de marche. Pour mesurer leur expérience, Pailhous et al., (1990) ont observé la longueur des pas. Notre démarche souhaite approfondir la thématique de l'influence de la modification d'un flux visuel sur la course à pied au niveau perceptif, dans l'optique de mieux comprendre l'importance du système visuel sur notre locomotion. Selon Mohler, Thompson, Creem-Regehr, Pick Jr., et Warren Jr. (2007), il reste d'importantes questions ouvertes sur le couple perception-action associé au contrôle locomoteur. Par exemple, le placement du pied sur des surfaces irrégulières requiert des informations environnementales qui sont fortement influencées par notre vision. Dans leur étude « Visual flow influences gait transition speed and preferred walking speed », ils démontrent que dans les deux cas la vision a une influence. Ainsi le contrôle de la locomotion n'est pas seulement basé sur les aspects biomécaniques mais aussi sur les aspects perceptifs (Mohler et al., 2007).

Plusieurs recherches sur la perception de la vitesse ont été réalisées avec des sujets immobiles et ont permis d'examiner de quelle manière les "paramètres" visuels comme la taille et la nature du champ de vision ainsi que la structure de la scène et le contraste affectent la vitesse perçue, selon Caramenti et al. (2018). Concernant le contraste, quelques études analysent comment les signaux visuels et non-visuels aussi appelés kinesthésiques sont intégrés dans la perception de la vitesse (Caramenti et al, 2018). Laurent & Thomson (1988) ont montré que les sujets tenaient compte des propriétés d'un flux optique pour réguler la vitesse de leur pas. De ce fait, la vitesse perçue était bien plus grande que la réalité du déplacement.

De plus, comme le démontre Müller, Häufle et Blickhan (2015) les informations visuelles (feedback visuel) permettent au coureur de prendre des mesures avant le contact au sol et ainsi anticiper les obstacles et éviter les blessures. Bien que le système visuel permette de prévoir des adaptations musculaires à l'avance, dès que pied touche le sol, ce sont les feedbacks proprioceptifs qui jouent un rôle majeur dans l'adaptation musculaire (Müller et al., 2015). Le système vestibulaire contribue à clarifier notre vision lorsque nous bougeons et nous aide à maintenir l'équilibre lorsque nous sommes debout (Wolfe et al., 2012). Effectivement, les sens n'opèrent pas indépendamment. Le cerveau combine des signaux des différents systèmes sensoriels via des processus neuronaux d'intégration sensorielle (Brandt, Bartenstein, Janek & Dietrich, 1998). Une étude visant à déterminer l'interaction corticale visuelle-vestibulaire au cours de la vection circulaire induite visuellement a révélé que la stimulation du mouvement visuel avec la vection circulaire active non seulement la zone visuelle du cortex, mais désactive simultanément la région vestibulaire du cortex. Ce qui suggère une interaction visuelle-vestibulaire comme mécanisme pour protéger la perception visuelle de son propre déplacement des inadéquations vestibulaires (Brandt et al., 1998). Powell, Hand, Stevens et Simmonds (2006) ont montré dans leur expérience une relation inverse entre la vitesse d'un flux optique et la vitesse de marche choisie par les sujets. Cela peut être imputé à la suppression des informations vestibulaires par le cortex visuel et à la prédominance de l'entrée visuelle sur les informations sensorimotrices lors du réétalonnage du retour moteur-visuel (Powell et al., 2006). Les résultats obtenus par Mohler et al. (2004) supportent l'idée que l'information visuelle a tendance à dominer le contrôle du mouvement humain.

Nous avons explicité les interactions entre le système visuel et vestibulaire. Il s'agit maintenant de nous intéresser à la pratique de la course à pied sur tapis roulant.

1.5 Course à pied sur tapis roulant

Bien qu'il serait facile de comparer directement la course à pied normale sur le sol avec la course à pied sur un tapis roulant comme étant égale, il est essentiel de se rendre compte que des différences de cinétique et de cinématique pour des expériences sur le sol et sur tapis roulant peuvent avoir lieu selon Nigg, De Boer et Fischer (1995) et Riley et al. (2008). Spécialement la cinématique à grande vitesse a montré des périodes de support plus longues, une vitesse verticale plus petite du centre de masse, une variation moindre des vitesses horizontales et verticales, une longueur de foulées plus courte et une cadence de foulées plus élevée pour le tapis de course que pour la course au sol (Elliott & Blanksby 1976 ; Monte, Fucci & Manoni, 1973 ; Nelson, Dillman, Lagasse & Bickett, 1972). De plus, la vitesse de locomotion sur un tapis de course est habituellement perçue comme plus rapide que la vitesse de locomotion sur le sol (Kong, Koh, Tan & Wang, 2012). Du point de vue de Kong et al. (2012), lorsqu'il est demandé à des sujets de courir à leur vitesse préférée sur le sol ou sur un tapis de course, la vitesse sélectionnée est de 27.1% plus lente sur un tapis de course. La perception de la vitesse sur tapis roulant est ainsi faussée par rapport à une vitesse réelle sur le sol. En outre, notre tapis roulant possède des barrières de sécurité. Celles-ci peuvent donner un sentiment de sécurité et des informations visuelles aux coureurs. En effet, Powell, Stevens, Hand et Simmonds (2011) ont montré que les barrières donnaient des informations sur la cinématique de la course des sujets. Ainsi, ces informations visuelles sont disponibles en tout temps par les participants et elles peuvent faciliter la perception de la vitesse. En outre, selon Lavcanska, Taylor et Schache (2005), il est probable qu'un manque de familiarité avec la course sur tapis roulant influence la perception de la vitesse de course. De même, les différences de déplacement et d'équilibre sur l'engin risquerait de déstabiliser les sujets. Pour terminer, la course à pied sur tapis roulant est potentiellement perçue comme ennuyante en comparaison à la course à pied en extérieur (Thompson et al., 2011).

Tous les points présentés ci-dessus nous démontrent l'importance et l'implication du système visuel et vestibulaire dans la locomotion humaine. C'est dans une approche de la perception de notre vitesse de course à pied que nous souhaitons approfondir le sujet. L'être humain est capable de courir à une vitesse constante sur un tapis roulant. Cependant, si cette vitesse n'est pas sa vitesse de prédilection, sommes-nous capables de retrouver cette vitesse ? Et quel rôle joue le système visuel dans cette démarche ? Est-ce qu'un flux visuel a la possibilité d'influencer une personne lorsqu'elle tente de retrouver sa vitesse de course ? En jouant sur quatre différentes conditions de flux visuel, nous allons essayer de mieux comprendre le lien ainsi que

l'importance entre le système visuel et notre capacité à déceler notre vitesse de mouvement. Ces questions nous amènent aux objectifs et aux questions concrètes du chapitre suivant.

1.6 Objectif du travail

Cette étude vise à analyser l'influence d'un flux visuel en environnement de réalité virtuelle sur la perception de la vitesse en courant sur un tapis roulant.

Il s'agit de mieux comprendre la perception de notre propre vitesse de course et comment celle-ci est influencée par notre système visuel. Comment notre vision nous aide-t-elle à retrouver une vitesse de course à pied ? Ou plus précisément, comment un flux visuel influence notre capacité à retrouver une vitesse imposée ?

Afin d'examiner scientifiquement cette question, nous avons formulé les hypothèses suivantes :

H0 : Un flux visuel n'influence pas la capacité à retrouver une vitesse de course à pied imposée.

H1 : Un flux visuel influence la capacité à retrouver une vitesse de course à pied imposée.

H2 : Un flux visuel plus lent que la vitesse de course imposée, influence le sujet vers le bas.

H3 : Un flux visuel plus rapide que la vitesse de course imposée, influence le sujet vers le haut.

C'est-à-dire que la condition 1, où la vitesse du flux visuelle est égale à la vitesse imposée, devrait être la condition où les sujets deviennent le plus précis en terme de vitesse. Lors de la condition 2 (vitesse inférieure), les sujets devraient être influencés vers le bas et sélectionner une vitesse inférieure à la vitesse imposée. Pour la condition 3, les sujets pourraient être amenés à sélectionner une vitesse supérieure à 10 km/h, étant donné que le flux visuel sera de 15 km/h.

2 Méthode

2.1 Description de l'échantillon

L'expérience s'est déroulée à l'Université de Fribourg dans le laboratoire du Dr. Jean-pierre Bresciani. Nous avons utilisé un échantillon de 12 sujets (8 hommes et 4 femmes) âgés entre 20 et 30 ans et en bonne santé. Aucun sujet ne présentait de problème cardiovasculaire. Ces personnes pratiquaient du sport de 1 à 2 heures par semaine jusqu'à plus de 10 heures par semaine. Certains décrivaient leur pratique sportive comme participant récréatif alors que d'autres la présentaient comme participant compétitif. Leur VMA variaient entre 14.5 et 18.5. Tous les sujets ont lu les conditions et les devoirs des participants et ils ont tous rempli un questionnaire de participation. Bien qu'informés sur les principes de l'expérience (la perception de la vitesse en réalité virtuelle), personne ne connaissait l'expérience à l'avance. Tous les sujets sont passés dans toutes les conditions tests de l'étude, formant au total quatre conditions expérimentales : Condition Contrôle (Sans flux visuel), Vitesse égale (10 km/h), Vitesse inférieure (5 km/h), Vitesse supérieure (15 km/h). Afin de palier à un risque expérimental d'effet d'ordre, nous avons appliqué un carré latin des quatre conditions pour les sujets. Les sujets étaient invités à venir une seule fois pour une durée d'environ une heure afin de réaliser l'intégralité de l'expérience.

2.2 Design de l'étude

L'objectif était de courir sur le tapis à une vitesse imposée (10 km/h) mais non connue des participants, tout en regardant un flux visuel présenté à l'écran pendant deux minutes. Après une brève interruption de la course (pause d'une minute), il leur était demandé d'ajuster la vitesse du tapis pour que celle-ci soit identique à la vitesse précédemment imposée. Pendant qu'ils couraient, les participants devaient dire s'ils souhaitaient que nous augmentions ou diminuions la vitesse du tapis roulant. Une fois la vitesse ajustée selon la perception du participant, celui-ci avait deux minutes de pause durant laquelle il était obligé de marcher dans un couloir. Par la suite, l'expérience était reconduite quatre fois. Tous les sujets devaient passer par les quatre conditions.

Pour la condition contrôle, il s'agissait de courir sur le tapis sans flux visuel. L'écran était simplement gris sans flux optique. Pour la condition 1 (vitesse égale) le flux visuel correspondait à la vitesse imposée, soit de 10 km/h. Lors de la condition 2 (vitesse inférieure), le flux visuel était de 5 km/h en dessous de la vitesse imposée, soit une vitesse de flux de 5 km/h. Pour la

condition 3 (vitesse supérieure), le flux était 5 km/h plus rapide que la vitesse initiale, soit une vitesse de 15 km/h.

2.3 Méthodes et instruments de recherche

En ce qui concerne les instruments de recherche, nous avons employé un tapis roulant de type HP Cosmos Mercury (surface de course longueur : 150 cm, largeur : 50 cm) qui permettait au sujet de courir dans un laboratoire. Ce tapis roulant, présenté sur la *figure 5*, était positionné devant un écran de taille 4.30 m. x 2.70 m. Un projecteur de type Barco F50 WUXGA (1920 x 1200 pixels) était utilisé pour projeter le flux visuel sur l'écran blanc. Afin de reproduire le flux optique en réalité virtuel, le programme Unity 3D a été utilisé. Cette scène virtuelle consistait en un couloir neutre en plein air, présenté avec un déplacement à vitesse constante. La texture granulaire du sol et le motif aléatoire sur les murs ont fourni des informations riches en flux optique concernant la vitesse visuelle, mais sans aucun repère ou information spatiale directement utilisable comme montrée sur la *figure 6*. Une fois le sujet sur le tapis de course, la pièce était plongée dans le noir afin que la seule source de lumière vienne de l'écran et du flux visuel. Durant toute la durée de l'expérience, les sujets devaient porter un casque de protection auditive de type Pamir de l'armée suisse. Ceci dans le but de minimiser les biais de l'expérience et de ne pas être influencés par le bruit du tapis roulant. En effet, le bruit du moteur de notre tapis de course diffère entre une vitesse de 8 km/h et une vitesse de 10 km/h. Un chronomètre a été utilisé pour mesurer les temps de pause et temps de marche entre les différentes conditions. Ceci dans l'intention de laisser les mêmes durées de pause et de marche pour tous les sujets.



Figure 5. Image du tapis roulant et de l'écran utilisé.

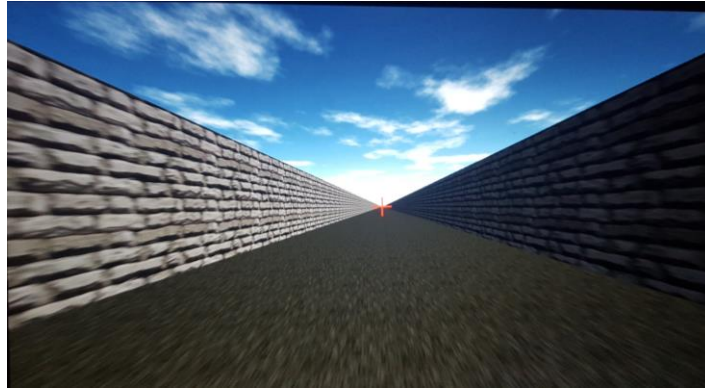


Figure 6. Image du flux visuel produit avec Unity 3D.

2.4 Interventions

Chaque sujet était soumis aux quatre conditions. Une condition contrôle avec un écran gris (sans flux visuel), une condition avec un flux visuel inférieur à la vitesse imposée (5 km/h), une condition avec un flux visuel correspondant à la vitesse imposée (10 km/h) et une dernière condition avec un flux visuel supérieur à la vitesse imposée (15 km/h).

Les consignes pour l'expérience étaient strictement les mêmes pour tous les sujets. Voici le texte exact : *« Vous allez courir sur le tapis avec une vitesse de course imposée. Vous descendrez du tapis pour prendre une pause. Puis vous allez devoir courir en remettant la vitesse du tapis que nous vous avons imposée précédemment. Vous nous indiquerez alors oralement si vous voulez augmenter ou diminuer la vitesse. Une fois que vous estimez la vitesse du tapis comme identique à celle que nous vous avons imposée, dites-le-nous. Vous pourrez alors descendre du tapis et sortir de la salle pour marcher jusqu'au bout du couloir et revenir. Les différentes étapes indiquées précédemment seront à refaire plusieurs fois ».*

2.5 Evaluation et analyse statistique des données

Les données qualitatives sur les sujets ont été récoltées grâce à un questionnaire de consentement et de profil. Les données quantitatives ont été récoltées en partie manuellement (cf. annexe 3) et en partie avec le programme informatique de réalité virtuelle, Unity 3D, ceci dans le but d'avoir les temps de pause, les durées d'exercices et les vitesses perçues par les sujets. L'expérience était donc intra-sujets, puisque tous les sujets étaient soumis aux quatre conditions. L'analyse et l'évaluation statistique a, quant-à-elle été réalisée avec le programme R studio 4 version 1.1.447 (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria). La vitesse que les sujets ont trouvée constituait notre variable dépendante alors que la variable indépendante cor-

respondait aux différentes conditions. Pour l'analyse des variables, la normalité a été systématiquement testée. Le seuil de significativité a été fixé à $p < 0.05$. Une Anova oneway à mesures répétées a été utilisée pour tester les différences entre les conditions. Ensuite, un test de sphéricité de Mauchly a été appliqué.

3 Résultats

Pour les quatre conditions de flux visuel (contrôle, 5, 10 et 15 km/h), nous avons comparé la vitesse retrouvée par les sujets avec la vitesse imposée (10 km/h). Nous avons appliqué un test de normalité pour chacune des conditions. Les résultats du test de normalité ont tous un $p > 0.05$, indiquant qu'il n'y a pas de significativité (cf. tableau 1). Cela nous montre que les données sont réparties de manières normales. Notre échantillon suit donc une loi normale.

Tableau 1
La valeur p dans les quatre conditions de flux visuel

Vitesse imposée	Sans flux visuel	Vitesse égale	Vitesse inférieure	Vitesse supérieure
10 km/h	$p=0.280$	$p=0.430$	$p=0.477$	$p=0.956$

Note. Le tableau 1 montre la variation de la valeur p (paramètre de significativité) selon la vitesse imposée.

Afin de se représenter les résultats obtenus par les sujets dans les quatre conditions, nous avons représenté graphiquement les vitesses obtenues dans la *figure 7*, la *figure 8*, la *figure 9* et la *figure 10*.

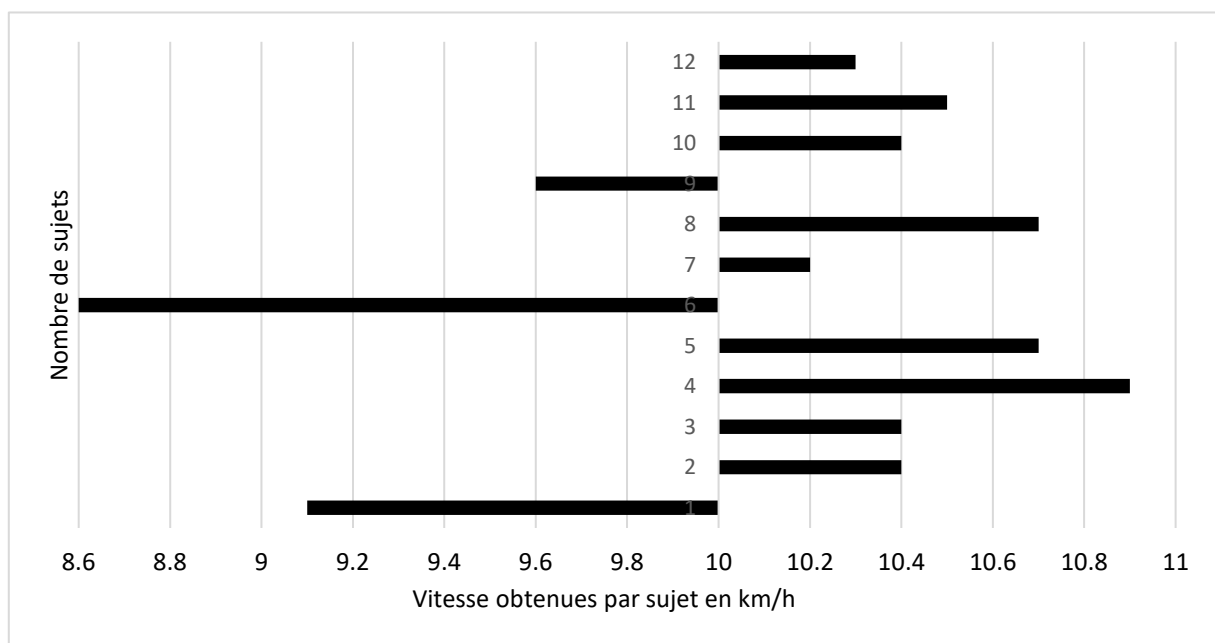


Figure 7. Vitesses obtenues en km/h par sujet dans la condition contrôle (sans flux visuel).

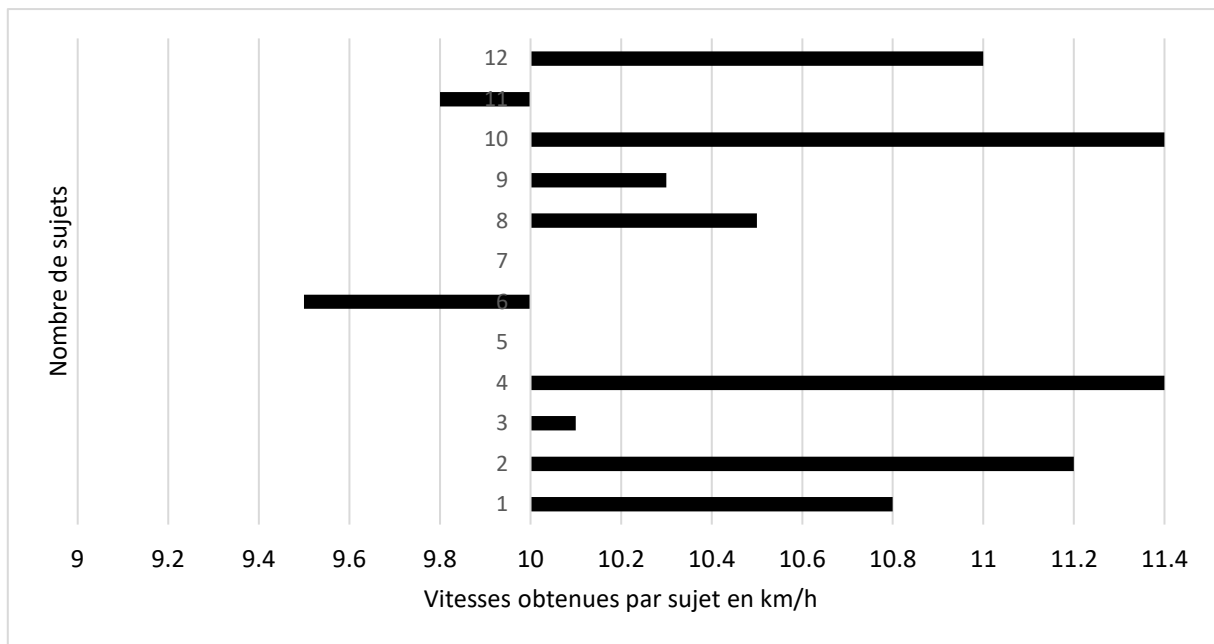


Figure 8. Vitesses obtenues en km/h par sujet dans la condition vitesse égale (flux à 10 km/h).

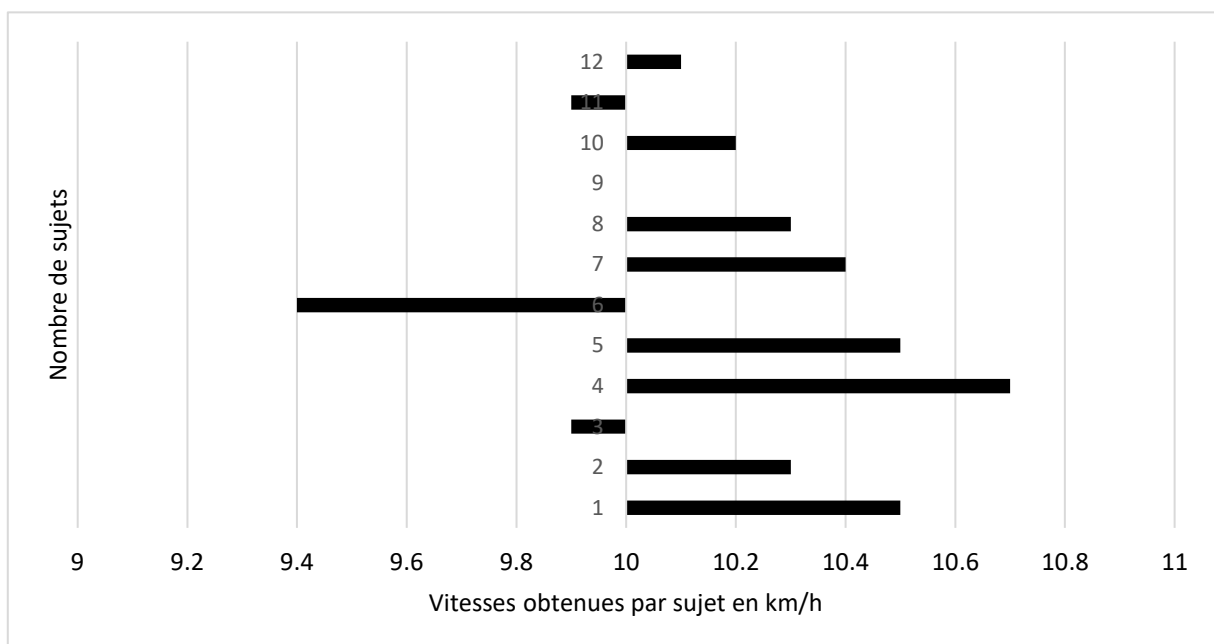


Figure 9. Vitesses obtenues en km/h par sujet dans la condition vitesse inférieure (flux à 5 km/h).

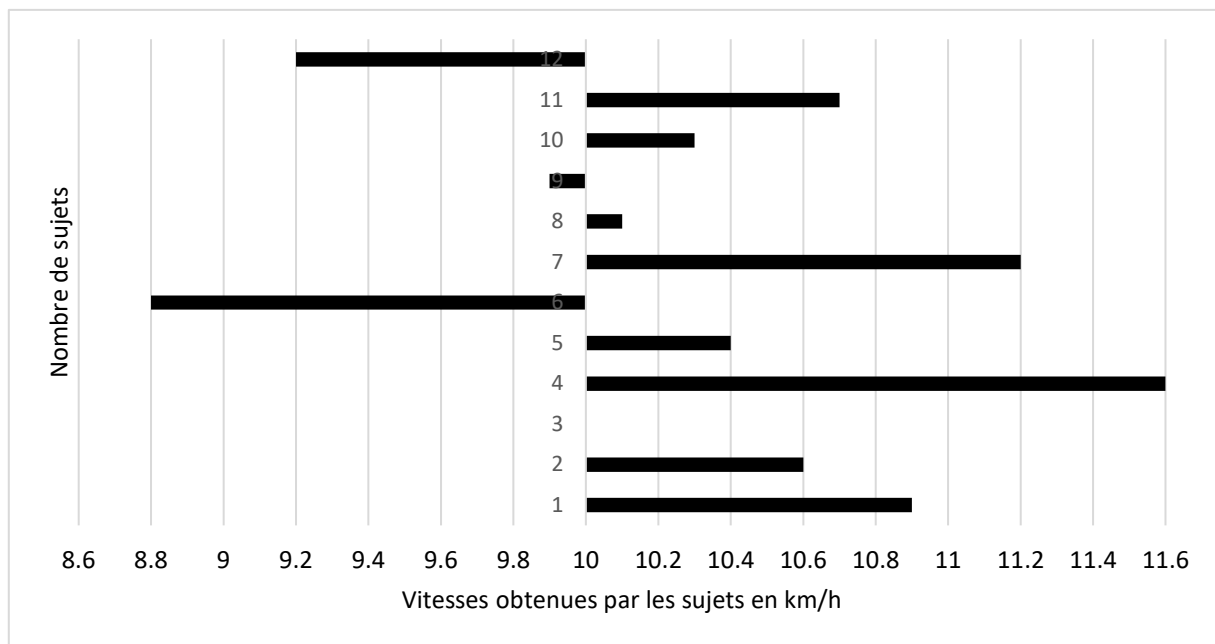


Figure 10. Vitesses obtenues en km/h par sujet dans la condition vitesse supérieure (flux à 15 km/h).

Dans un deuxième temps nous avons appliqué une anova oneway à mesures répétées. De cette anova, nous avons trouvé un $p=0.332$. Ainsi, aucun effet significatif entre les moyennes n'a été détecté, le seuil de significativité étant fixé à $p=0.05$. En appliquant un test de sphéricité de Mauchly et une correction de la sphéricité, nous obtenons un $p=0.331$. Les résultats sont résumés dans la figure 11.

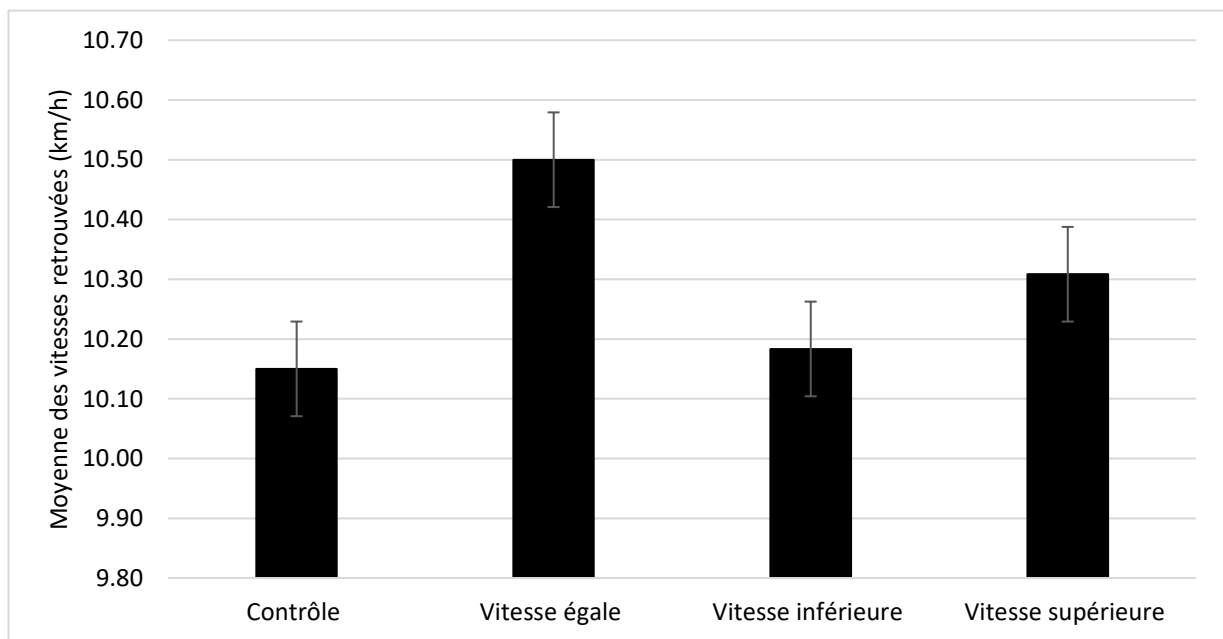


Figure 11. Comparaison des moyennes des vitesses retrouvées par les sujets ($n = 12$) dans les quatre conditions. Contrôle = sans flux visuel, Vitesse égale = à 10 km/h, Vitesse inférieure = 5 km/h, Vitesse supérieure = 15 km/h. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la valeur moyenne.

L'analyse des variances (ANOVA) n'ayant pas relevé de différences significatives entre les moyennes de nos quatre conditions testées, nous n'avons pas pu réaliser de tests post-hoc.

4 Discussion

Après avoir présenté les résultats, nous allons, dans ce chapitre, les mettre en relation avec la littérature préexistante. Nous essayerons également de répondre à nos hypothèses de recherche, de ressortir les forces et les faiblesses de notre expérience ainsi que de faire un lien avec des perspectives futures de recherches.

Nous avons relevé que les résultats n'ont montré aucune différence significative entre les quatre conditions. En effet, la modification de la vitesse du flux visuel (5, 10 et 15 km/h) n'a pas apporté de différence significative sur la perception de la vitesse. De plus, nous pouvons remarquer que c'est dans la condition à vitesse égale que nous trouvons le plus grand écart à la moyenne, soit 10.50 km/h, alors que nous pensions que c'est dans cette condition que les sujets obtiendraient le meilleur résultat. Ces résultats suggèrent que les récepteurs de la vision n'ont pas joué le rôle dominant sur la capacité à retrouver la vitesse de course à pied. Ce résultat va dans le sens de l'étude de Müller et al. (2015) qui suggère que lors du contact du pied sur le tapis roulant, les informations vestibulaires et proprioceptives jouent un rôle majeur sur la perception de la vitesse en course à pied.

Nous allons maintenant répondre à notre question de recherche.

4.1 La vitesse d'un flux visuel influence-t-elle la capacité à retrouver une vitesse imposée ?

Ainsi pour répondre à notre question de recherche, nous pouvons affirmer que, dans notre expérience, le flux visuel n'a pas d'influence significative sur la perception de la vitesse en course à pied sur tapis roulant.

Cela conforte les résultats de Caramenti et al. (2018) qui indiquent une différence de la perception du flux visuel en fonction de la perception de la vitesse. Ainsi, nous pouvons confirmer que selon les résultats des études précédentes « matching optical flow to motor speed in virtual reality while running on a treadmill », l'expérience de Caramenti et al. (2018) était bien protocolées. Lorsqu'un sujet doit faire correspondre la vitesse d'un flux visuel avec sa vitesse de course à pied, les résultats suggèrent que la vitesse du flux visuel est systématiquement sous-estimée. C'est-à-dire que la vitesse du flux visuel doit être plus élevée que la vitesse réelle du tapis roulant pour que les sujets aient l'impression d'avoir un flux visuel à la bonne vitesse par rapport à leur vitesse de course à pied (Caramenti et al., 2018). Ainsi, lorsque les sujets doivent lier la vitesse du flux visuel avec la vitesse perçue, l'effet de la vision est significatif. Cependant, quand les sujets doivent faire correspondre leur vitesse de course à pied par rapport à une vitesse imposée, l'effet de la vision est négligeable. Bien que durant l'expérience, les sujets regardaient

le flux visuel projeté sur l'écran, leur attention sensorielle n'étaient probablement pas centrée sur la vision. Mounts (2000) a montré que les effets de l'attention révèlent l'inhibition visuelle de ce qui se trouve autour de l'objet de l'attention. L'utilisation des sens vestibulaires et proprioceptifs, comme le suggère Müller et al. (2015), ont joué un rôle prédominant sur la perception de la vitesse. De même, le flux optique a probablement été sujet à l'inhibition visuelle. L'intensité joue également un rôle dans la perception de notre vitesse de locomotion (Caramenti et al., 2018). La vitesse de 10 km/h a volontairement été choisie pour ne pas être trop intense mais suffisamment rapide pour obtenir une allure de course et non de marche. L'état physique des sujets à la fin de l'expérience semblait bon. En leur demandant le ressenti, aucun participant nous a dit que la durée ou l'intensité de l'expérience était trop élevée. Cependant, l'expérience de Kong et al. (2012) a montré des différences de perception de vitesse sur un tapis de course. Leur expérience a démontré que la vitesse perçue sur un tapis de course était plus rapide que la vitesse perçue sur le sol. Cela signifie que lorsque les sujets devaient courir à leur allure préférée, une fois sur un tapis de course et une fois sur le sol, ils choisissaient, en moyenne, une vitesse sur le tapis de course de 27.1 % plus lente que sur le sol. La perception de la vitesse sur tapis roulant est ainsi faussée par rapport à une vitesse réelle sur le sol (Kong et al., 2012).

Pour conclure, en comparant les vitesses retrouvées dans les quatre conditions, aucune différence significative n'a été observée après l'expérience. Il semble donc que les sujets soient capables de percevoir leur vitesse de course à pied indépendamment de la vitesse du flux visuel. Cette conclusion est soutenue par le fait que dans les quatre conditions les sujets ont trouvé de manière générale des vitesses légèrement supérieures à 10 km/h. Ce qui est correct étant donné que dans les quatre conditions, la vitesse imposée que les sujets devaient retrouver était de 10 km/h.

4.2 Forces et faiblesses

Dans cette section nous allons aborder les forces et faiblesses de notre étude. Les forces reposent essentiellement sur deux facteurs principaux : l'engagement des sujets et le fait de cibler les récepteurs perceptifs que nous souhaitons mesurer. En ce sens, seules les informations visuelles du flux optique et les informations vestibulaires et proprioceptives devaient être utilisées par les sujets pour percevoir la vitesse de course à pied. Dans cette optique, nous avons essayé, dans la mesure du possible, d'enlever toutes les indications de vitesse autres que celles que nous voulions mesurer. Ainsi en équipant d'un casque protège oreilles anti-bruit, les sujets ne pouvaient pas utiliser les sens de l'ouïe pour retrouver la vitesse initiale. Il ne leur restait ainsi plus

que les récepteurs visuels et proprioceptifs. Le niveau de préparation et la fatigue des participants est une seconde force de notre étude. En effet, tous les sujets étaient issus des sciences du sport, pratiquaient régulièrement une activité sportive et avaient la condition physique nécessaire pour cette expérience. De plus, l'application du carré latin sur l'ordre de passage des sujets dans les différentes conditions permettait de palier à l'effet de fatigue dans les résultats.

Dans les faiblesses, nous pouvons relever le surplus d'informations visuelles et le manque d'expérience en course à pied sur tapis roulant. En effet, les expériences faites par Powell et al. (2011) ont montré que les barrières sur le tapis roulant pouvaient donner un sentiment de sécurité pour les coureurs et pouvaient induire des informations sur la cinématique de leur course. Ceci est généralement une bonne chose car cela limite les risques d'accident. Cependant, dans le cas de notre expérience, lors du passage de la condition contrôle, soit sans flux visuel, les sujets percevaient malgré tout des informations visuelles supplémentaires pour retrouver leur vitesse de course à pied. Ces informations visuelles, tels que les barrières ou la vitesse de balancement des bras, sont des biais de notre expérience. De plus, selon Lavcanska et al. (2005), un manque de familiarité avec la course sur tapis roulant risque d'influencer la perception de la vitesse de course. Les différences de déplacement et d'équilibre sur l'engin risquent de déstabiliser les sujets. Ainsi leur attention était probablement plutôt focalisée sur leur dynamique de course que sur le flux visuel. Bien que nous étions à côté des sujets pour contrôler que la tâche expérimentale soit réalisée correctement, ceux-ci auraient potentiellement pu ne pas avoir leur regard porté à 100 % sur le flux optique et ainsi avoir un défaut d'attention visuelle. D'ailleurs, une partie des sujets nous a affirmé avoir eu recours à des stratégies basées sur des aspects biomécaniques comme leur fréquence de pas et sur des aspects physiologiques comme leur essoufflement pour retrouver la vitesse imposée. Cela va dans le sens de Brandt et al., (1998) qui affirment que le cerveau combine des signaux des différents systèmes sensoriels et que ceux-ci sont liés entre eux. Dans notre expérience, plusieurs systèmes sensoriels étaient mis à contribution. Ainsi, des mécanismes de cécité in-attentionnelle (Simons & Chabris, 1999) ont pu avoir lieu et l'attention n'était alors pas suffisamment dirigée sur le flux optique.

4.3 Perspectives de recherche

Une perspective possible serait de refaire une expérience similaire sur la perception de la vitesse, mais en comparant une condition sans aucune information visuelle (yeux bandés) et des conditions avec des informations visuelles (flux optique). Le groupe avec les yeux bandés, n'ayant absolument aucune information visuelle, devraient retrouver la vitesse imposée avec d'autres sens que la vision. Un groupe avec les yeux bandés est différent du groupe contrôle

(sans flux visuel) de notre expérience. En effet, même sans flux visuel projeté à l'écran, les sujets (dans notre expérience) avaient tout de même des repères visuels comme le balancement de leur bras par rapport aux barrières du tapis roulant. Ces indications ont donc une influence pour les coureurs (Hand & Simmonds, 2011). De plus, il serait intéressant pour les conditions avec flux optique d'utiliser un appareil d'eyetracking qui permet de connaître l'emplacement du regard des sujets sur le flux optique. Cela permettrait de s'assurer scientifiquement que les sujets fixent le centre de l'écran et non pas le balancement de leur bras.

Le manque de familiarité avec un tapis de course a déjà été évoqué (Lavcanska et al., 2005) mais nous n'avons pas encore parlé du manque de familiarité avec un environnement virtuel. Ainsi, un groupe de personne habitué au milieu virtuel, en comparaison à un groupe de personne avec une faible expérience en réalité virtuelle pourrait être comparé dans une perspective de recherche. Nous pourrions également diminuer le manque de familiarité du tapis de course et augmenter la familiarité avec un environnement virtuel par une série d'entraînement d'un même groupe. Nous pourrions alors nous poser la question si cela ne permettrait pas d'obtenir des résultats plus proches de la réalité.

Un intérêt à continuer des recherches dans cette thématique serait de favoriser et motiver la population à faire des activités cardiovasculaires en salle de fitness. Effectivement, celle-ci sont parfois vues comme ennuyeuses en comparaison à des activités cardiovasculaires extérieures (Thompson et al., 2011). L'implication de la conception d'environnements virtuels basés sur un tapis de course joue donc un rôle majeur. En ce sens, une perspective d'amélioration serait de modifier le support visuel. Dans notre expérience, le flux visuel était régulier, soit toujours un chemin illustré sur la *figure 6*, qui est une photo du flux visuel produit avec le programme Unity 3D. Le paysage ne changeait donc pas durant toute la durée de l'expérience. Un support visuel plus attrayant ne favoriserait-il pas la perception de la course à pied ? Peut-être pas concernant la perception de la vitesse mais au moins sur la perception du temps passé sur le tapis roulant. Si le temps perçu avec un support visuel adéquat paraît réduit, des entraînements sur tapis roulant en salle de fitness pourrait devenir encore plus attractifs. Cela permettrait de produire de la jouissance et de la satisfaction subjective et augmenterait l'engagement des personnes à l'activité physique, ce qui est un objectif important dans un contexte de santé et de prévention des maladies (Caramenti et al., 2018). Ainsi, des recherches approfondies sur la conception d'environnements virtuels pourraient être intéressantes afin de valoriser les tapis roulants en salle de sports.

5 Conclusion

Ce travail s'est intéressé à l'influence d'un changement de flux optique sur la perception de la vitesse de course à pied sur tapis roulant chez des jeunes adultes en bonne santé. En premier lieu, la modification de la vitesse du flux visuel (5, 10 et 15 km/h) n'a pas apporté de différence significative sur la perception de la vitesse. Les sujets ont été capable de retrouver la vitesse de course à pied imposée sans l'influence du flux visuel. Cela suggère que les récepteurs de la vision n'ont pas joué de rôle significatif dans la capacité à retrouver la vitesse de course à pied imposée. Les résultats ont montré que les sujets se rapprochaient sensiblement de la vitesse imposée indépendamment de la vitesse du flux visuel. Cela suggère que lors du contact du pied sur le tapis roulant, les informations vestibulaires et proprioceptives jouent un rôle majeur sur la perception de la vitesse (Müller et al., 2015). En second lieu, comme le montre l'expérience de Caramenti et al. (2018), faire correspondre la vitesse du flux visuel avec la perception de la vitesse n'est pas aisée. Dans leur expérience, les sujets ont systématiquement sous-estimé la vitesse du flux visuel en regard de leur vraie vitesse de déplacement. C'est-à-dire que le flux visuel doit être plus élevé que la vitesse réelle du tapis de course pour être perçue comme équivalente par les sujets. Les informations visuelles ont un rôle plus important lorsqu'il faut matcher une vitesse de flux visuel avec une vitesse de course à pied mais un rôle négligeable quand il faut retrouver une vitesse de course à pied sur tapis roulant en environnement virtuel. En définitive, l'influence de la vision est négligeable et les mécanismes proprioceptifs et vestibulaires prennent le dessus sur les récepteurs visuels pour percevoir une vitesse imposée de course à pied.

Bibliographie

- Aboutkidshealth (2009). Hâbiletés visuo motrices. Accès à l'adresse <https://www.aboutkidshealth.ca/fr/Article?contentid=1879&language=French>)
- Brandt, T., Bartenstein, P., Janek, A., & Dieterich, M. (1998). Reciprocal inhibitory visual-vestibular interaction: Visual motion stimulation deactivates the parieto-insular vestibular cortex. *Brain: A Journal of Neurology*, 121(9), 1749-1758. <http://dx.doi.org/10.1093/brain/121.9.1749>
- Caramenti, M., Lafortuna, C.L., Mugellini, E., Abou Khaled, O., Bresciani, J-P. & Dubois, A. (2018). Matching optical flow to motor speed in virtual reality while running on a treadmill. *PLoS ONE* 13(4), e0195781. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195781>
- Day, B. L. & Fitzpatrick, R. C. (2005). Virtual head rotation reveals a process of route reconstruction from human vestibular signals. *The Journal of Physiology*, 567(2), 591–597. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2005.092544>
- Elliott, B., C. & Blanksby, B. A. (1976). A cinematographic analysis of overground and treadmill running by males and females. *Med Sci Sports*, 8(2), 84-87. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/957936>
- Faller, A., Sprumont, P. & Schünke, M. (2006). *Le CORPS humain* (5ème édition). Bruxelles : De Boeck Université.
- Fink, P. W., Foo, P. S. & Warren, W. H. (2009). Catching fly balls in virtual reality: A critical test of the outfielder problem. *Journal of Vision*, 9(13):14, 1–8. Doi:10.1167/9.13.14
- Fraser, A. & Wilcox, K. J. (1979). Perception of illusory movement. *Nature*, 281(5732), 565-566. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/573864>
- Gatinel, D. (2015). La pupille irienne. Accès à l'adresse <https://www.gatinel.com/recherche-formation/pupille-irienne/>
- Gibson, J.J. (1957). Optical motions and transformations as stimuli for visual perception. *Psychol*, 64(5), 288-295. <http://dx.doi.org/10.1037/h0044277>
- Gibson, J.J. (1950). The perception of Visual World. *Boston: Houghton Mifflin*. DOI 10.2307/2181436
- Kong, P.W., Koh, T.M.C., Tan, W.C.R. & Wang, Y.S. (2012). Unmatched perception of speed when running overground and on treadmill. *Gait & posture*, 36(1), 46-8. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.01.001>

- Laurent, M. & Thomson, J. A. (1988). The role of visual information in control of a constrained locomotor task. *Journal of Motor Behavior*, 20(1), 17-37. <http://dx.doi.org/10.1080/00222895.1988.10735430>
- Lavcanska, V., Taylor, N. F. & Schache, A. G. (2005). Familiarization to treadmill running in young unimpaired adults. *Human Movement Science*, 24(4), 544-557. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2005.08.001>
- Lee, D. C., Brellethin, A. G., Thompson D. P., Sui, X., Lee, I-M. & Lavie, C. J. (2017). Running as a Key Lifestyle Medicine for Longevity. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 60(1), 45-55. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2017.03.005>
- Mergner, T. & Rosemeier, T. (1998). Interaction of vestibular, somatosensory and visual signals for postural control and motion perception under terrestrial and microgravity conditions-a conceptual model. *Brain Research Reviews*, 28(1-2), 118-35. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9795180>
- Mishkin, M., Ungerleider L. G. & Macko, K. A. (1983). Object vision and spatial vision: two cortical pathways. *Trends in Neurosciences*, 6, 414-417. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(83\)90190-X](https://doi.org/10.1016/0166-2236(83)90190-X)
- Mohler, B. J., Thompson B. W., Creem-Regehr, H. S., Pick Jr., L. H. & Warren Jr., H. W. (2007). Visual flow influences gait transition speed and preferred walking speed. *Exp Brain Res*, 181(2), 221-8. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17372727>
- Mohler, B. J., Thompson B. W., Creem-Regehr, H. S., Pick Jr, L. H., Warren Jr, H. W., Rieser, J. J. & Willemsen, P. (2004). Visual motion influences locomotion in a treadmill virtual environment. *APGV'04 Proceedings of the 1st Symposium on Applied perception in graphics and visualization*, 19-22. DOI 10.1145/1012551.1012554
- Monte, A.D., Fucci, S. & Manoni, A. (1973). The treadmill used as a training and a simulator instrument in middle- and long-distance running. Dans Cerquiglini, S., Venerando, A, & Wartenweiler, J (eds), *Biomechanics III* (p. 359-363). Rome : Karger Publishers. <https://doi.org/10.1159/000393775>
- Mounts, J. R., (2000). Evidence for suppressive mechanisms in attentional selection: Feature singletons produce inhibitory surrounds. *Percept Psychophys*, 62(5), 969-83. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10997043>
- Müller, R., Häufle, D. F. B. & Blickhan, R. (2015). Preparing the leg for ground contact in running: the contribution of feed-forward and visual feedback. *Journal of Experimental Biology*, 218, 451-57. DOI 10.1242/jeb.113688

- Nelson, R. C., Dillman, C. J., Lagasse, P. & Bickett, P. (1972). Biomechanics of overground versus treadmill running. *Med Sci Sports*, 4(4), 233-240. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/4648586>
- Nigg, BM., De Boer, RW. & Fischer, V. (1995). A kinematic comparison of overground and treadmill running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(1), 98-105. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7898346>
- Pailhous, J., Ferrandez, A. M., Flückiger, M. & Baumberger, B. (1990). Unintentional modulations of human gait by optical flow. *Behavioural Brain Research*, 38(3), 275-281. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2363843>
- Powell, W., Stevens, B., Hand, S. & Simmonds, M., editors (2011). Blurring the boundaries: The perception of visual gain in treadmill-mediated virtual environments. *3rd IEEE VR Workshop on Perceptual Illusions in Virtual Environments*.
- Powell, W. A., Hand, S., Stevens, B. & Simmonds, M. (2006). Optic flow with a stereoscopic display: Sustained influence on speed of locomotion. *Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine*, 6, 73-78. <https://www.scribd.com/document/11648006/Annual-Review-of-CyberTherapy-and-Telemedicine-Volume-4-Summer-2006>
- Prescott, S.A. & Ratté, S. (2017). Somatosensation and Pain. Dans *Conn's Translational Neuroscience* (p. 517-539). Texas United States : University Health Sciences Center. <https://doi.org/10.1016/C2014-0-02630-5>
- Prokop, T., Schubert, M. & Berger, W. (1997). Visual influence on human locomotion. *Exp Brain Res*, 114(1), 63-70. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9125452>
- Riley, P.O., Dicharry, J., Franz, J., Della Croce, U., Wilder, R.P. & Kerrigan, D. C. (2008). A kinematics and kinetic comparison of overground and treadmill running. *Medicine and science in sports and exercise*, 40(6), 1093-1100. DOI: 10.1249/MSS.0b013e3181677530
- Shaffer, D.M. & MacBeath, M.K. (2002). Baseball outfielders maintain a linear optical trajectory when tracking uncatchable fly balls. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 28(2), 335-48. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11999858>
- Simons, D. J. & Chabris, C. F. (1999). Gorillas in our midst: Sustained inattention blindness for dynamic events. *Perception*, 28(9), 1059-1074. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10694957>

- Sun, H., Campos, J. & Chan, G. (2004). Multisensory integration in the estimation of relative path length. *Experimental Brain Research*, 154(2), 246-54. <https://doi.org/10.1007/s00221-003-1652-9>
- Temprado, J-J. & Montagne, G. (2001). *Les coordinations perceptivo-motrices (éd.)*. Paris : Armand Colin.
- Thompson, C. J., Boddy, K., Stein, K., Whear, R., Barton, J. & Depledge, MH. (2011). Does participating in physical activity in outdoor natural environments have a greater effect on physical and mental wellbeing than physical activity indoors? A systematic review. *Environ Sci Technol*, 45(5), 1761-1772. <https://doi.org/10.1021/es102947t>
- Wolfe, M. J., Kluender, R. K. & Levi, M. D. (2012). *Sensation & Perception* (3ème édition). Massachusetts U.S.A : Publishers Sunderland.
- Zihl, J., Von Cramon, D. & Mai, N. (1983). Selective disturbance of movement vision after bilateral brain damage. *Brain*, 106(2), 313-340. <https://doi.org/10.1093/brain/106.2.313>

Annexes

Annexe 1 : Informations aux participants de l'étude



Informations aux participants de l'étude :

Perception de la Vitesse en Réalité Virtuelle

Vous avez été invité(e) à prendre part à une étude observationnelle au sein du Département des neurosciences et sciences du mouvement de l'Université de Fribourg.

1. Conditions de participation

Si vous êtes sujet aux crises d'épilepsie, vous ne pouvez pas participer à cette étude.

2. Participation

C'est à vous seul de décider si vous souhaitez participer à l'étude. Si tel est le cas, vous devez signer un formulaire de consentement. Mais même après avoir signé ce formulaire, vous restez libre de vous retirer de l'étude à n'importe quel moment sans donner de raison. La décision de vous retirer de l'étude ou de ne pas y participer n'a aucune conséquence pour vous. Si vous ne souhaitez plus participer, vos données personnelles seront anonymisées après analyse.

3. But de l'étude

Cette étude vise à analyser l'influence d'un flux visuel en environnement de réalité virtuelle sur la perception de la vitesse en courant sur un tapis roulant.

4. Rémunération

Vous ne serez pas rémunéré(e) pour votre participation à cette étude.

5. Devoirs incombant au participant

En tant que participant à l'étude, vous êtes tenu(e) de suivre les instructions du chercheur. Le cas échéant, vous devez informer votre interlocuteur de toute gêne que vous pourriez ressentir et qui serait de nature à remettre en cause votre participation à l'étude.

6. Risques et désagréments

Dans cette étude, vous devez courir sur un tapis roulant. Vous êtes invité(e) à nous signaler toute gêne ou tout désagrément lié à l'étude (cf point 5).

7. Déroulement de l'étude

L'étude sera réalisée en 1 heure environ.

Vous devrez courir sur le tapis à une vitesse imposée tout en regardant un flux visuel présenté à l'écran. Après une brève interruption de la course, il vous sera demandé d'ajuster la vitesse du tapis pour que celle-ci soit identique à la vitesse précédemment imposée.

8. Données enregistrées

Les données enregistrées sont : la réponse à la fiche d'information et les vitesses estimées du tapis roulant.

9. Confidentialité

Toutes les données de l'enregistrement et de l'analyse seront anonymisées. Ces informations seront uniquement disponibles par les responsables de l'étude.

10. Qu'en est-il des résultats de l'étude ?

Les résultats généraux de l'étude seront publiés dans la littérature scientifique. Vos données individuelles ne pourront pas être identifiées. Vous pourrez poser toute(s) question(s) relative(s) aux motivations scientifiques et cliniques de cette étude dès la fin de votre participation à l'étude.

11. Personnes à contacter

Si vous avez des questions sur le déroulement de l'étude ou les procédures en cas d'événement inattendu ou négatif pouvant survenir pendant et après l'étude, vous pouvez toujours nous contacter.

Responsables de l'étude

Dr Dubois Amandine (Français)
Dept de neurosciences et sciences du
mouvement
Université de Fribourg
Tél : 026 300 7757
Mail : amandine.dubois@unifr.ch

Martina Caramenti
Dept de neurosciences et sciences du
mouvement
Université de Fribourg
Mail : martina.caramenti@unifr.ch

Annexe 2 : Document pour la prise des résultats durant l'expérience



Perception de la Vitesse en Réalité Virtuelle

Partie réservée à la personne responsable de l'étude

Entraînement	Notes	_____

Bloc 1	Temps pause	_____
	Temps marche	_____
	Vitesse	_____
	Notes	_____

Bloc 2	Temps pause	_____
	Temps marche	_____
	Vitesse	_____
	Notes	_____

Bloc 3	Temps pause	_____
	Temps marche	_____
	Vitesse	_____
	Notes	_____

Bloc 4	Temps pause	_____
	Temps marche	_____
	Vitesse	_____
	Notes	_____

Remerciements

Je remercie particulièrement ma conseillère, le Dr Amandine Dubois, pour son professionnalisme, ses conseils et sa disponibilité tout au long de ce travail. Je remercie aussi Mme Martina Caramenti pour son aide lors de la prise des mesures et pour ses précisions sur le matériel utilisé en laboratoire. J'adresse également mes remerciements à toutes les personnes ayant contribué à la réussite de ce travail, que ce soit par leur relecture ou leur soutien durant ces six mois. Finalement, je tiens à remercier l'université de Fribourg et le Prof. Bresciani Jean-pierre pour la mise à disposition de son laboratoire et de ses infrastructures.