

# **Comparaison du temps de réponse d'une tâche de réaction Go Only et Go/No-go grâce à la réalité augmentée**

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

déposé par

**Mathieu Gschwandtner**

à

l'Université de Fribourg, Suisse  
Faculté des sciences et de médecine  
Section Médecine  
Département des neurosciences et sciences du mouvement

en collaboration avec la  
Haute école fédérale de sport de Macolin

Référent

Prof. Jean-Pierre Bresciani

Conseiller

Dr. Jean-Luc Bloechle

Fribourg, juin 2024

## **Remerciements**

Je souhaite remercier mon référent, Prof. Jean-Pierre Bresciani, pour ses précieux conseils ainsi que mon conseiller, Dr. Jean-Luc Bloechle, pour sa disponibilité et l'élaboration du programme informatique m'ayant permis de réaliser ce travail.

Je suis également reconnaissant envers les 30 participants pour leur patience, leurs efforts et de m'avoir consacré leur temps pour effectuer mon expérience.

Je remercie finalement mon père, Paul Georis, pour sa relecture et les précieuses corrections qu'il a apporté à ce travail.

## Résumé

Ce travail se focalise sur le temps de réponse (TR) avec la réalité augmentée dans une expérience simulant des coups de poing directs en boxe. Les temps de réponse de deux tâches de réaction, à savoir une tâche simple et une tâche à choix, ont été comparés. La tâche simple (Go) englobe uniquement un signal indiquant une frappe alors que la tâche à choix (Go-/No-Go) une frappe et une inhibition. Le TR est défini comme le temps nécessaire pour réagir face à un stimulus. Nous verrons qu'il existe une multitude de facteurs pouvant influencer le TR, principalement la concentration et l'attention.

Dans cette étude, les 30 participants étaient équipés de lunettes de réalité augmentée « MagicLeap » et nous utilisons le programme CopelabVR pour gérer et recueillir les données. La moitié des participants était affiliée à la tâche Go Only, et devaient toucher les cibles vertes, et l'autre à la tâche Go/No-Go, et devaient toucher les cibles vertes, tout en évitant de frapper sur les rouges. Chaque participant voyait neuf cibles qui s'allumaient de manière aléatoire et cela sur 5 blocs avec 4 minutes de pause entre chacun d'eux.

Les résultats montrent que le TR est significativement plus court pour la tâche simple que pour la tâche à choix. Effectivement le processus d'analyse du cerveau lors de la tâche Go/No-Go prend plus de temps. La variabilité intra-individuelle est néanmoins significativement plus large pour le groupe ayant effectué la tâche Go Only. À l'aide d'autres études scientifiques, nous en avons conclu que la tâche Go/No-Go demande plus d'attention, à cause de sa difficulté, et que les résultats sont donc plus uniformes.

En conclusion, cette expérience fournit des informations intéressantes sur les TR tout en utilisant une technologie récente et encore peu développée dans le monde du sport et plus spécialement celui de la boxe.

## Table des matières

1 Introduction .....	5
1.1 Le temps de réponse .....	5
1.2 Concentration et attention .....	7
1.3 Contexte anatomique et physiologique des systèmes visuel, nerveux et moteur .....	9
1.4 Études de réaction simple vs. Études de réactions à choix .....	10
1.5 Études du temps de réaction en boîte .....	12
1.6 La technologie dans la boîte .....	13
1.7 Objectifs de l'étude .....	14
2 Méthode.....	16
2.1 Description de l'échantillon .....	16
2.2 Matériel .....	16
2.3 Protocoles et passations.....	17
2.4 Analyse statistique des données .....	20
3 Résultats .....	22
4 Discussion .....	24
4.1 Vérification des hypothèses.....	24
4.2 Rapport à la littérature.....	24
4.3 Limites de l'étude.....	26
4.4 Améliorations .....	27
5 Conclusion.....	28
Bibliographie.....	29
Annexe .....	32

# **1 Introduction**

Avoir un temps de réponse (TR) rapide est une aptitude primordiale pour la pratique du sport de haut niveau. Dans cette étude, nous nous focalisons sur le TR en boxe qui sera mesuré et testé avec la réalité augmentée. En effet, la technologie est un moyen de plus en plus utilisé dans le domaine du sport afin d'analyser des mesures, planifier des séances d'entraînement ou, encore, apporter des variations. Les dernières technologies révolutionnaires sont les réalités virtuelle et augmentée. C'est donc un domaine nous permettant de faire de nouveaux types d'expériences (Sawan et al., 2021). À l'aide de la réalité augmentée, nous comparerons deux types de tâches de réaction, une simple (Go Only) et une à choix (Go/NoGo) liées à la boxe. Dans un premier temps, ce travail définira le TR, les différentes manières de le provoquer et comment il peut être influencé. Ensuite, nous verrons que, lorsque l'on parle de TR, la concentration et l'attention ont un effet non négligeable. Puis nous nous consacrerons aux différentes réactions anatomiques et physiologiques se produisant dans le corps humain tout au long du TR, avant d'aborder les recherches, déjà réalisées, touchant à ce domaine. Par après, nous approfondirons les objectifs de cette étude, qui sont de savoir quelle tâche sera la plus rapide mais aussi la plus constante sur le plan intra-individuel. Puis viendra l'explication de la méthode : c'est-à-dire l'échantillon que nous avons choisi, le matériel utilisé, tout comme le design de l'expérience. Nous finirons avec la discussion qui permettra de comprendre et d'expliquer les résultats obtenus.

## **1.1 Le temps de réponse**

### ***1.1.1 Définition***

Le temps de réponse (TR) peut être défini comme le temps qu'une personne va prendre pour réagir face à un signal ou un stimulus (Poliak et al., 2022). Dans cette étude, c'est donc le temps qu'un participant met pour toucher la cible depuis le moment où elle s'allume.

### ***1.1.2 Les types d'expériences de réaction***

Selon Kosinski (2013), il existe trois différents types d'expériences pour tester le TR. Pour commencer, il y a des expériences de réaction simple avec un seul stimulus et une seule réponse possible. Ensuite, il existe des expériences de réaction de reconnaissance. Pour celles-ci, il y a des stimuli qui demandent une réponse et d'autres qui n'en demandent pas. Les participants doivent donc, en plus de la réactivité, avoir recours à leur mémoire. Pour finir, les expériences

de réaction à choix proposent plusieurs stimuli demandant, à chaque fois, des réponses différentes.

Les TR les plus rapides ont été enregistrés lors d'expériences de réaction simple, ensuite viennent les expériences de réaction de reconnaissance et pour finir les expériences de réaction à choix. En ce qui concerne ces deux dernières expériences, plus le nombre de stimuli augmente et plus le TR devient lent.

### ***1.1.3 Les stimuli***

Les stimuli visuels et auditifs sont les principaux types de stimuli utilisés pour mesurer le TR. Selon les recherches de (Kosinski, 2013), les stimuli visuels (180-200 ms) apportent des réponses plus lentes que les stimuli auditifs (140-160 ms).

L'intensité des stimuli joue également un rôle, c'est-à-dire moins les couleurs sont vives et plus le TR est lent (Kosinski, 2013).

### ***1.1.4 Les facteurs influençant le temps de réponse***

***La tension.*** Que ce soit la tension musculaire ou l'attention, ces facteurs exercent une influence sur le TR. En effet, si un individu en a trop ou pas assez, son TR va augmenter. En trouvant le juste milieu, le TR s'améliore (Kosinski, 2013).

***L'âge.*** Beaucoup d'études ont été menées sur cet élément et globalement les chercheurs sont d'accord pour affirmer que les TR s'améliorent jusqu'à 20 ans puis régressent légèrement jusqu'à 50 ans. À partir de 70 ans la régression est plus rapide (Der & Deary, 2006; Kosinski, 2013).

***Le genre.*** L'étude de Der & Deary (2006) nous révèle que le genre est bien un facteur à prendre en compte. Dans toutes les tranches d'âge, les femmes ont des TR plus lents que les hommes et ceci aussi bien pour des expériences simples que pour des expériences à choix.

***La fatigue.*** Ce facteur exerce une grande influence sur le TR. Plus un sujet est fatigué et plus son TR sera détérioré et ce particulièrement avec la fatigue mentale. La fatigue musculaire, elle, n'a pas d'impact sur le TR (Kosinski, 2013).

**Les substances.** Comme le souligne l'étude de Landauer & Adamson (1980) plus le taux d'alcoolémie augmente et plus son effet sur le TR est négatif. De son côté, la caféine réduit le TR et augmente par la même occasion l'attention des sujets (Durlach et al., 2002).

**L'activité physique.** Des personnes en forme physiquement et faisant régulièrement du sport ont un meilleur TR, une meilleure attention, ainsi que d'autres habilités mentales (Kosinski, 2013). L'étude de Kashihara & Nakahara (2005) montre qu'une activité physique améliore également temporairement le TR. Effectivement, les 8 premières minutes après l'effort sont meilleures que le reste.

**Le stress.** Un sujet que l'on stresse intentionnellement lorsqu'il a un TR trop lent va s'améliorer par la suite. Il a aussi été prouvé que des individus avec un type de personnalité anxieux avaient de meilleurs TR (Kosinski, 2013).

**Les lésions cérébrales.** Un athlète souffrant de lésions cérébrales a un TR plus lent, tout comme une mémoire moins performante (Kosinski, 2013).

## **1.2 Concentration et attention**

L'attention et donc la concentration (habilité à maintenir son attention) sont indispensables pour une tâche de réactivité. Comme nous montre l'étude de Prinzmetal et al. (2005) les TR, mais aussi leur justesse sont meilleurs avec une attention volontaire qu'une attention involontaire. Dans cette étude, l'attention volontaire des sujets est amenée en leur disant quand et sur quoi ils doivent se focaliser. Ils peuvent alors activer leur attention. Pour initier une attention involontaire, les sujets ne sont pas avertis. Nous verrons donc quels types d'attention existent, mais aussi les méthodes de concentration pour garder cette attention activée.

### **1.2.1 Définition**

La concentration est la faculté à rester focaliser sur une tâche tout en ignorant des distractions internes ou externes. Cette habilité est essentielle pour performer dans n'importe quel domaine, que ce soit mental, sportif ou musical (Murphy, 2012).

Nous utilisons notre attention tous les jours et souvent sans nous en rendre compte. Nous sommes confrontés à une multitude de stimuli répartis dans le temps et l'espace. Grâce à notre attention, nous sélectionnons les informations sensorielles ou internes les plus pertinentes. Un automobiliste, par exemple, voit une grande quantité d'éléments, mais il porte son attention sur

les signes routiers, les autres usagers de la route et les actions pour diriger sa voiture. Il peut aussi avoir un focus attentionnel interne, sur ses émotions en situation de stress par exemple (Goldstein, 2005).

### ***1.2.1 Attention interne et externe***

Notre attention peut être externe, on est donc focalisé sur les mouvements que notre corps provoque sur l'environnement nous entourant. Elle peut aussi être interne en étant concentré sur nos pensées ou notre propre corps. De manière générale, les performances sont meilleures en ayant une focalisation attentionnelle externe (Murphy, 2012).

### ***1.2.2 Améliorations et perturbations de la concentration***

Murphy (2012) donne cinq étapes pour atteindre une bonne concentration. Pour commencer, il faut décider de se concentrer. Il faut s'imaginer un interrupteur « on/off » que l'on allume ou que l'on associe à une action avant de performer. Ensuite, il faut diriger notre attention sur une pensée à la fois, idéalement un seul mot. Il est, bien-sûr, possible de se concentrer sur différents éléments, mais il faut qu'ils soient automatisés. La prochaine étape est de faire exactement ce à quoi nous avons pensé. Par après, il est nécessaire de porter son attention uniquement sur des éléments qui sont sous notre contrôle, c'est-à-dire pas trop éloigné dans le futur ou qui n'ont pas de rapport avec la performance. Et pour finir, en cas de stress, il faut adopter une focalisation externe pour éviter de ressasser nos doutes.

Il existe également des techniques pour améliorer sa concentration. Murphy (2012) en donne à nouveau cinq. Avoir des objectifs de performance et non de résultat est la première. En effet, on a plus tendance à être concentré sur ses actions et ses gestes, si nos objectifs de résultat ne prennent pas le dessus. Deuxièmement, mettre en place des routines avant une performance, autant bien internes qu'externes, aide à se concentrer sur le moment présent. L'utilisation de « Trigger Words » est importante pour la motivation ainsi que la concentration. Ensuite il évoque la visualisation qui consiste à vivre mentalement une performance. Cette technique permet d'éviter les mauvaises surprises qui peuvent nous déconcentrer.

À l'inverse, il est possible de perdre sa concentration ou son attention et ceci à tous les niveaux, du débutant à l'expert. En fait, l'attention est juste transférée vers un élément secondaire, notre tâche principale n'est donc plus au centre de l'attention. Cette distraction peut être interne, comme une pensée future, un regret ou un rêve. Elle peut aussi être externe s'il s'agit d'une moquerie d'un adversaire, un visage familier ou un flash d'appareil photo. Lorsque nous

sommes fatigués ou anxieux, les distractions arrivent plus fréquemment. Si l'on essaie de trop contrôler ses pensées ou d'en éviter, celles-ci reviennent plus facilement (Murphy, 2012).

### **1.3 Contexte anatomique et physiologique des systèmes visuel, nerveux et moteur**

Comme évoqué précédemment, le TR est le laps de temps entre l'apparition d'un stimulus et la réponse motrice face à celui-ci. Dans cette expérience le stimulus est visuel, c'est pourquoi ce processus sera expliqué d'un point de vue anatomique et physiologique en partant des yeux et non des oreilles.

Pour que l'œil puisse détecter quelque chose, il faut une source de lumière. Celle-ci est alors captée par l'œil et plus précisément par la pupille. Le cristallin converge ensuite les faisceaux lumineux en un point précis vers la rétine qui, composée de photorécepteurs tels que les cônes et les bâtonnets, transforme les photons de lumière en signaux électriques pouvant alors être interprétés par le cerveau. En effet, les cônes détectent davantage les couleurs (rouge, vert et bleu) alors que les bâtonnets plutôt la lumière faible et les mouvements. Les cellules bipolaires, également présentes dans la rétine, effectuent un travail de synthèse et de sélection des différents signaux électriques. Les cellules amacrines, de leur côté, régulent l'intensité des signaux électriques et traitent les mouvements. Toutes ces informations sont alors récupérées par les cellules ganglionnaires et ensuite transmises au cerveau via le nerf optique (Kolb et al., 1995). Le nerf optique, composé des axones des cellules ganglionnaires, transmet les informations visuelles au thalamus qui s'occupe également des autres facteurs sensoriels. Il diffuse ces informations à d'autres régions du cerveau, mais a également la capacité de combiner les différents stimuli sensoriels. Les signaux visuels sont ensuite traités dans le cortex visuel (Sherman, 2006).

Dans le cortex visuel, le stimulus peut alors être localisé dans l'espace et s'il y a un mouvement, il est analysé plus précisément. Cette région du cerveau s'occupe aussi de mettre une étiquette, une identification sur l'objet. Pour cette analyse, d'autres facteurs sensoriels peuvent aider. Grâce à la mémoire et à l'attention, le cerveau peut ensuite prendre une décision comportementale (Van Essen et al., 1992).

Le système nerveux central (SNC) sélectionne ensuite les muscles les plus appropriés ainsi que leur activation dans le temps pour fournir une réponse motrice au stimulus. Pour qu'un mouvement soit le plus précis possible, le SNC reçoit des feedbacks sensoriels pour l'ajuster au mieux (Wolpert & Flanagan, 2001). La contraction d'un muscle est déclenchée par des signaux électriques venant du SNC et plus précisément des motoneurones (Eccles et al., 1954). Ces signaux stimulent la libération d'acétylcholine, un neurotransmetteur qui provoque un potentiel d'action

au niveau de la fibre musculaire (Katz & Miledi, 1997). Celui-ci génère à son tour la libération des molécules de calcium à partir du réticulum sarcoplasmique. Le calcium se lie à la troponine, une protéine déclenchant ou inhibant la contraction musculaire. Elle est essentielle pour coordonner les mouvements musculaires. Une fois activée par le calcium, elle déplace la tropomyosine qui est une protéine bloquant normalement l'accès à l'actine (Ebashi & Endo, 1968). À ce stade, les têtes de myosine se logent sur l'actine afin de produire une hydrolyse de l'adénosine triphosphate (ATP). Cette hydrolyse libère de l'énergie, qui rend le coulissement des filaments de myosine sur les filaments d'actine possible. Par cette action, le muscle se contracte (Sweeney & Houdusse, 2010).

## **1.4 Études de réaction simple vs. Études de réactions à choix**

### ***1.4.1 Études de réaction simple***

Woods et al. (2015) ont analysé les TR d'une tâche simple tout en corrigeant les latences provenant du matériel informatique. Les participants doivent taper avec l'index de leur main de prédilection sur une souris, conçue pour réagir rapidement en exerçant le moins de force possible, après avoir vu une cible sur la gauche ou la droite de l'écran, afin de ne privilégier aucun hémisphère du cerveau. La moyenne des TR varie entre 200ms pour les plus jeunes (18-24 ans) et 222.3ms pour les plus âgés (59-65 ans). Les TR augmentent au fil de l'expérience à cause de la fatigue. En effet, les participants répondent en moyenne 9.1ms plus lentement lors des 20 derniers stimuli que lors des 20 premiers (sur un total de 120 stimuli). Les chercheurs n'ont, en revanche, pas remarqué de différence majeure en fonction de la provenance du stimulus. Effectivement, le côté opposé à la main forte est seulement 0.61ms plus rapide que l'autre. Pour celle-ci, le genre n'est pas un facteur modifiant le TR pour cette étude. Le niveau d'éducation, tout comme la main de préférence ne sont également pas des facteurs influençant le TR.

Pour sa part, le chercheur Simon (1967) analyse le TR venant d'un stimulus auditif. Sa première expérience consiste à appuyer le plus rapidement sur une touche après avoir entendu un son stimulant les deux oreilles en même temps, l'oreille opposée à la main forte ou alors l'oreille du même côté que la main forte, et pour chaque exercice, une fois avec la main gauche et une fois avec la droite. Les participants ont entre 19 et 25 ans. Il y a autant d'hommes que de femmes et autant de droitiers que de gauchers. Les résultats montrent que les TR après stimulus bi-oreilles sont plus rapides (202ms) que lors d'un stimulus mono-oreilles (206ms). En ce qui concerne les signaux mono-oreille, les TR sont significativement plus courts pour l'oreille droite (204ms) que la gauche (208ms) et ceci est souvent le cas pour une personne droitère.

Dans un second temps, Simon (1967) reconduit son expérience, mais avec objectif d'inclure des participants plus âgées. Il y a donc deux groupes (18-25 ans et 65-86 ans) comprenant le même nombre de participants masculins et féminins, mais cette fois sans gauchers. Les résultats montrent, une fois de plus, que les TR après stimulus de l'oreille droite (244ms) sont plus rapides que la gauche (250ms). Pour le groupe sénior, il n'y a pas de différence significative entre les stimuli bi- et mono-oreilles, contrairement au groupe jeune qui a une préférence pour les stimuli bi-oreilles. En ce qui concerne la moyenne des TR entre les deux groupes, les jeunes (200ms) sont significativement meilleurs que les séniors (294ms). Un autre résultat significatif est la différence entre les participants masculins et féminins au sein du groupe jeune, puisque les TR des hommes (183ms) sont plus rapides que ceux des femmes (211ms).

Dans sa troisième et dernière expérience, Simon (1967) cherche à clarifier la supériorité de l'oreille droite. Pour cela, les participants (18-26 ans), comprenant autant d'hommes que de femmes et autant de gauchers que de droitiers, sont avertis si le stimulus est bi- ou mono-oreille et dans ce dernier cas, de quel côté il sera. Avec cette méthode, les résultats montrant une différence entre les deux oreilles ne sont plus significatifs, tout comme la différence entre bi- et mono-oreille. Mais, comme prouvé plus haut, la différence entre les genres (176ms pour les hommes et 212ms pour les femmes) reste significative. Cette troisième expérience permet de comprendre l'asymétrie auditive remarquée auparavant. Les connexions et la rapidité des liaisons nerveuses sont en réalité pareilles des deux côtés, mais lorsque la provenance du stimulus est inconnue, les sujets ont tendance à activer l'audition du côté droit.

#### ***1.4.2 Études de réaction à choix***

Kida et al. (2005) se sont penchés sur les TR de joueurs de baseball professionnels (23,4 ans en moyenne) en les comparant à des joueurs non-professionnels (21,6 ans), des joueurs de tennis (21,3 ans) et des étudiants sédentaires (22,9 ans). Leur TR est mesuré lors d'une tâche simple et à choix (Go/NoGo). Pour la tâche simple, les participants doivent appuyer sur un bouton lorsqu'un des quatre carrés visibles sur un écran s'allume en vert, ces derniers étant disposés en ligne et numérotés de 1 à 4 depuis la gauche. Lors de la tâche à choix, ils doivent appuyer sur le bouton, seulement si les carrés 2 et 3 s'allument en vert. La durée entre les stimuli, leur position ainsi que l'ordre des tâches sont randomisées. Les résultats concernant la différence des TR de tâche simple entre les groupes ne sont pas significatifs et ils varient en moyenne entre 245ms et 241ms. En revanche, les TR du Go de la tâche à choix sont significativement différents. En effet, le TR moyen des baseballeurs non-professionnels (293ms) est plus court que celui des joueurs de tennis (332ms) qui est lui-même plus court que celui des non-sportifs

(347ms). Les baseballeurs professionnels (263ms) ont le TR moyen le plus rapide. Le nombre d'erreurs ne donne pas lieu à de résultats significativement différents entre les groupes. Cette expérience a été faite sur 3 ans, il a donc été possible de mesurer les améliorations des sujets et pour les baseballeurs, plus ils avancent dans le temps et plus leurs résultats sont significativement meilleurs lors de la tâche à choix. Il est donc possible d'améliorer son TR avec de l'entraînement.

Récemment, les chercheurs Melynnyte et al. (2017) ont comparé les résultats d'une tâche Go/NoGo des femmes et des hommes. Pour cela, ils ont évalué 39 hommes et 40 femmes, tous âgés de 18 à 30 ans. Pour éviter au maximum les biais, ils ont divisé les femmes en quatre groupes égaux, trois groupes pour les trois phases du cycle menstruel et un groupe prenant des pilules contraceptives à base de stéroïdes. Les stimuli auditifs sont composés de deux sons distincts (Go et NoGo). Lors du Go, les participants appuient le plus vite possible sur une touche. Pendant toute l'expérience, les participants fixent une croix sur un écran. Les résultats ne montrent pas une grande différence concernant les TR des deux genres. En effet, le TR moyen (Go) des hommes est de 378,8ms et 380,8ms pour les femmes. Cependant, les hommes ont fait moins d'erreurs que les femmes, que ce soit pour la condition Go ou NoGo.

### ***1.4.3 Comparaisons***

Comme vu précédemment, l'enseignement majeur à retenir de ces études, est le fait que les TR sont bien plus rapides lors d'une tâche simple que lors d'une tâche à choix. À part les expériences de Simon (1967), le genre n'a que peu d'influence sur le TR. La provenance du stimulus, visuel ou auditif, est également un élément à prendre en compte. Pour une tâche simple, les participants masculins de Simon (1967), soumis à un stimulus auditif, sont bien plus rapides que les participants de Woods et al. (2015) soumis, eux, à un stimulus visuel. Concernant les tâches à choix, les TR après stimulus auditif sont plus lents que ceux après stimulus visuel, et ça même en comparant le groupe le plus lent de Kida et al. (2005) et les participants masculins de Melynnyte et al. (2017). Pour finir, l'entraînement ainsi que la pratique d'un sport à réflexes influencent positivement le TR, contrairement à l'âge qui est un facteur qui le ralentit.

### **1.5 Études du temps de réaction en boxe**

Le TR est un facteur essentiel à prendre en compte dans la pratique de la boxe, ainsi que pour la performance. Comme le montre l'étude de Darby et al. (2014), les boxeurs ayant un TR plus court, ont de plus fortes chances de gagner. Ils ont analysé les TR de 180 boxeurs amateurs en

amont d'un tournoi et les 18 vainqueurs avaient un TR plus court que la moyenne. À cela s'ajoute le fait qu'ils aient également plus d'expérience.

Si on prend les sports de combat en général, le TR est un élément clé. Il est donc intéressant de comparer la boxe à un autre sport de ce type, comme l'ont fait Dinçer et al. (2022). Ils ont pris 30 jeunes entre 14 et 17 ans. 15 d'entre eux pratiquent la boxe et les 15 autres la lutte. Après avoir effectué un test de réaction visuel simple, ils ont conclu que les boxeurs étaient significativement plus rapides que les lutteurs.

Les chercheurs Hukkanen & Häkkinen (2017) ont regardé l'évolution du TR au fil des séances d'entraînements et d'un sparring. Les TR de 7 boxeurs de l'équipe nationale finlandaise se sont améliorés entre la phase d'entraînement pré-compétition et compétition. Les TR se sont également moins dégradés au fil des rounds pendant la phase de compétition. Effectivement, la boxe est un sport très énergivore ; une meilleure condition physique réduit la fatigue et améliore donc indirectement les TR. Leurs valeurs (force, lactatémie et fréquence cardiaque), représentant la condition physique, se sont également améliorées.

## **1.6 La technologie dans la boxe**

La technologie est de plus en plus présente dans les sports de haut niveau pour prendre des mesures et créer de nouvelles manières de s'entraîner pour toujours viser plus haut et c'est aussi le cas pour la boxe. Chadli et al. (2014) ont développé un instrument permettant de quantifier les aptitudes physiques d'un boxeur. Il peut être un moyen de cibler les points à améliorer, de fixer des critères de sélection ou de détecter de futurs talents. Cet engin est constitué d'une cible basculant autour d'une barre de torsion à l'aide d'un manche ajustable. Le tout fixé à une structure stable. Un accéléromètre est relié à la cible et un autre est placé dans le gant du boxeur. Ceux-ci nous communiquent des informations concernant la fréquence de frappe, le temps de réaction (temps depuis le stimulus jusqu'au début du mouvement), le TR (temps depuis le stimulus jusqu'à la touche), l'accélération du poing et la force max.

Buško et al., (2014) ont comparé deux systèmes de mesure, cette fois, combinés à un vrai sac de boxe. Le premier était une jauge de contrainte et le deuxième un accéléromètre. Ils mesurent la force (point d'impact et direction), l'accélération ainsi que le TR. L'accéléromètre est légèrement moins précis que la jauge de contrainte, en revanche son logiciel le rend bien plus polyvalent.

En plus d'outils permettant la quantification de performances, des méthodes d'entraînement incluant la technologie ont vu le jour. En effet, Chen et al. (2022) ont développé un programme de coaching personnalisé avec la réalité virtuelle (VR). Équipés d'un casque de VR, de deux

joysticks ainsi que de capteurs attachés aux coudes et à la hanche, les usagers sont face à un sac de boxe virtuel et peuvent le taper en suivant les conseils du coach virtuel. Ce programme a été calibré grâce à des boxeurs professionnels, donnant l'exemple, ainsi que des boxeurs amateurs, donnant un contre-exemple. En mesurant la vitesse de frappe, le TR et la position du sujet, le coach virtuel est capable de donner un feedback et driller les points faibles de l'utilisateur.

Les chercheurs ont ensuite étudié l'efficacité du programme. Ils ont pris 15 participants divisés en trois groupes égaux. Chacun a effectué le même pré-test et post-test, mais la méthode d'entraînement différait selon le groupe. Les méthodes d'entraînement sont les suivantes : coaching VR, exemple/explication vidéo et explication littéraire. Ils ont analysé la vitesse de frappe, le TR et la position de frappe. En ce qui concerne la vitesse de frappe, les participants ont fait plus de progrès grâce à la vidéo puis le coaching VR, mais avec la littérature ils ont régressé. Pour le TR, les améliorations étaient très faibles pour la vidéo et la littérature alors que pour la méthode du coach VR les a fait régresser. Pour finir, la position lors des frappes a grandement été améliorée grâce au coach VR alors que les améliorations étaient minimales pour les deux autres méthodes. Cette expérience et ce programme nous montrent qu'il reste encore beaucoup d'éléments à explorer et à améliorer du côté de la réalité virtuelle ou de la réalité augmentée.

### **1.7 Objectifs de l'étude**

Cette expérience, sur le TR en boxe à l'aide de la réalité augmentée, est la première de l'Université de Fribourg. C'est donc une expérience basique et simplifiée en attendant d'ajouter des éléments la rendant plus complexe, immersive et réaliste en espérant pouvoir créer un programme assez performant pour l'intégrer dans un programme d'entraînement d'un athlète. La réalité augmentée est utilisée, car de plus en plus de domaines (sciences, sport) l'utilisent pour améliorer les performances et qu'il reste encore beaucoup de champs d'exploration possibles (Sawan et al., 2021). La récolte de données est aussi plus précise et rapide qu'avec la simple intervention humaine. Cette étude a pour but de comparer les TR de deux groupes avec des tâches distinctes. Le premier a une tâche de réaction à choix (Go/No-Go) et l'autre une tâche de réaction simple (Go Only). Les questions suivantes peuvent donc se poser :

- Quel groupe aura un TR plus rapide ?
- Quel groupe aura des résultats avec une plus grande variabilité intra-individuelle ?

Pour répondre à ces questions, deux hypothèses ont été formulées en accord avec le référent de cette expérience :

- a) Le temps de réponse de la tâche de réaction simple (Go Only) est plus court que celui de la tâche de réaction à choix (Go/No-Go).

- b) La variabilité intra-individuelle des temps de réponse de la tâche de réaction simple (Go Only) est moins large que celui de la tâche de réaction à choix (Go/No-Go).

## 2 Méthode

### 2.1 Description de l'échantillon

Les 30 participant-e-s ayant pris part à cette étude étaient 23 hommes et 7 femmes âgés de 18 à 30 ans. L'âge moyen était de 23,9 ans. Ils ont été séparés en deux groupes de 15 participant-e-s. Le premier était le groupe Go/No-Go et le second le groupe Go Only. Le premier était composé de 12 hommes et 3 femmes. De l'autre côté, le deuxième était composé de 10 hommes et 5 femmes. Dans les deux groupes il y avait à chaque fois un seul gaucher.

### 2.2 Matériel

Pour effectuer cette expérience, trois équipements matériels étaient nécessaires : les lunettes de réalité augmentée MagicLeap 2 ainsi que leur joystick et d'un ordinateur équipé du programme CopelabVR.

Les participant-e-s posaient les lunettes de réalité augmentée sur leur tête et prenaient le joystick dans leur main forte. Ces lunettes étaient, selon *Magic Leap 2*, (s. d.), reliées à l'aide d'un câble, à un petit ordinateur circulaire, équipé du processeur SoC AMD quadricœur Zen 2, prenant en charge des applications et des contenus numériques très exigeants. Celui-ci pouvait être mis dans une poche ou alors en bandoulière ou autour de la taille grâce à une sangle. Ce procédé permettait d'avoir des lunettes plus légères (260 grammes) et une meilleure répartition du poids sur la tête. Pour encore plus de confort, quatre caméras de suivi oculaire ajustaient le contenu numérique, réduisant ainsi la fatigue. Grâce à la technologie Dynamic Dimming™, jusqu'à 99,7% de la lumière extérieure pouvait être filtrée, rendant le contenu visuel plus clair. Malgré cela, et de manière à éviter les biais les participant-e-s se plaçaient face à un mur noir. En ce qui concerne la qualité des images générées par les lunettes MagicLeap2, on atteignait un champ de vision de 70°, une résolution de 1440x1760 px et une luminosité allant jusqu'à 2000 nits. Ses caméras et son capteur permettaient de générer plus de 300 000 points 3D. De plus, ces lunettes étaient équipées de 6 micros, de sorte à pouvoir placer des effets sonores dans l'environnement des participant-e-s. Le joystick, lui, était équipé de deux caméras, d'une lumière infrarouge et d'une unité de mesure inertielle (IMU) de manière à le placer précisément dans l'espace selon 6 degrés d'orientation.

De son côté, l'examineur était en possession d'un ordinateur comprenant le programme CopelabVR. À l'aide de celui-ci, il pouvait mettre en place et gérer l'expérience à distance. C'est-à-dire modifier les paramètres d'utilisations, le nom et les essais des participants et démarrer

l'expérience. Il lui permettait également de visionner les résultats en temps réel et de récolter ceux-ci une fois l'expérience terminée.

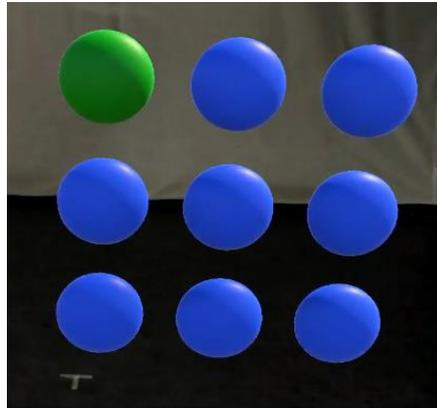
## **2.3 Protocoles et passations**

### ***2.3.1 Design de l'étude pour le groupe Go/No-Go***

Les participant-e-s du groupe contrôle devaient boxer le plus vite possible avec leur main forte, équipée du joystick, sur des cibles qu'ils voyaient à travers les lunettes de réalité augmentée. L'étude était composée de cinq blocs identiques. Lors de chaque bloc, les participants recevaient 63 signaux Go/No-Go (45 Go et 18 No-Go) générés aléatoirement par l'algorithme du système. Les signaux Go étaient en vert (figure 1) et les signaux No-Go en rouge (figure 2). Pour que le signal Go soit validé, il devait être touché avec la main en un temps maximal de 0,8 secondes (s). Pour que le signal No-Go soit validé, la main du participant-e ne devait pas se déplacer de plus de 5% de la longueur totale du bras (distance entre le joystick et les lunettes lorsque le bras est tendu) durant les 0,8s suivant le début du signal. Les participant-e-s voyaient 9 cibles, disposées en un carré de 3x3 (figure 3). Durant un bloc, chaque cible s'illuminait 7 fois (5 fois en vert et 2 fois en rouge). Ce procédé était également généré aléatoirement par l'algorithme du système. Afin d'éviter une anticipation, les cibles s'illuminaient dans un temps imparti aléatoirement entre 1 et 3 secondes. Pour résumer, les 63 cibles s'illuminaient aléatoirement entre elles mais aussi aléatoirement au niveau de la couleur. Entre chaque bloc, les participants avaient une pause de 4 minutes, pendant laquelle ils pouvaient enlever les lunettes et se reposer.

## Figure 1

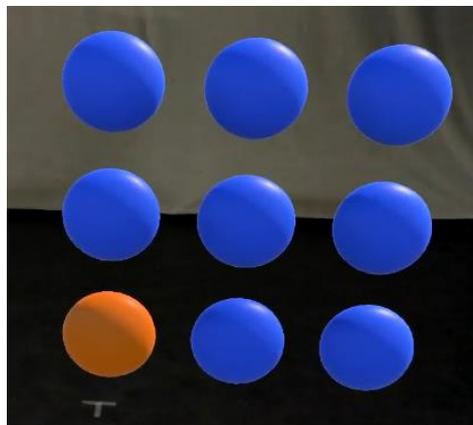
*Cibles en état Go*



*Note.* Vision depuis les lunettes MagicLeap 2 lorsqu'une cible s'illumine en vert pour signaler le stimulus « GO ».

## Figure 2

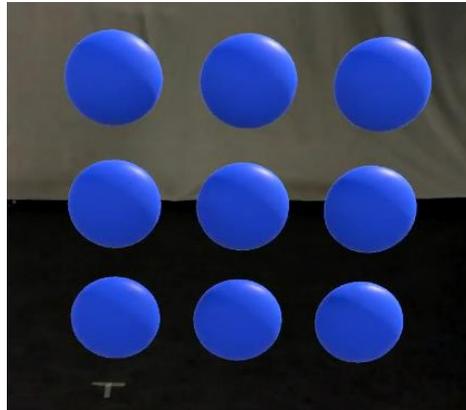
*Cibles en état No-Go*



*Note.* Vision depuis les lunettes MagicLeap 2 lorsqu'une cible s'illumine en rouge pour signaler le stimulus « No-Go ».

### Figure 3

#### *Cibles sans stimulus*



*Note.* Vision depuis les lunettes MagicLeap 2 lorsqu'il n'y a pas de signal lumineux. Les cibles sont disposées en un carré 3x3.

#### **2.3.2 Design de l'étude pour le groupe Go Only**

Les participant-e-s du groupe Go Only devaient également boxer le plus vite possible avec leur main forte, équipée du joystick, sur des cibles qu'ils voyaient à travers les lunettes de réalité augmentée. L'étude était composée de cinq blocs identiques. Lors de chaque bloc, les participants recevaient cette fois 45 signaux uniquement Go. Chacune des 9 cibles s'illuminait donc de manière aléatoire 7x en vert. Cette fois, les participants avaient jusqu'à une seconde pour toucher la cible. Le temps de pause entre chaque bloc était le même et l'algorithme qui gère le temps entre chaque signal était également identique.

#### **2.3.3 Mise en place de l'expérience**

Avant le début de l'étude, l'examineur devait configurer et mettre en place certains éléments. Tout d'abord, les lunettes MagicLeap 2 devaient être couplées, à l'aide de l'adresse IP, à un ordinateur prenant en charge le programme CopelabVR. Venait ensuite la phase de calibration des lunettes. Les cibles étaient placées devant un mur noir, pour éviter au maximum les biais, et le sol de l'application devait être placé au même niveau que le vrai sol. Après cela, la calibration était terminée. Pour chaque participant et chaque session, l'examineur devait changer le « Name » comme suit : Prénom du participant-numéro de la session. À chaque nouveau participant, l'examineur devait indiquer sa longueur de bras dans le programme. Pour cela, le participant tenait horizontalement son bras devant lui. Le programme indiquait sous « Arm » la

distance entre les lunettes et le joystick. Cette valeur devait être reportée sous « ArmLength » et restait inchangée durant toute l'expérience d'un même participant. Cette donnée permettait d'ajuster automatiquement l'éloignement des cibles par rapport aux lunettes. Elles se trouvaient à 80% de cette longueur. Lorsque tout était en place et que le participant était équipé, l'examineur pouvait appuyer sur « Play ». Il devait néanmoins vérifier que le participant se tenait debout à ce moment-là, car la hauteur des cibles s'ajustait en fonction de la hauteur des lunettes. Entre chaque session, l'examineur veillait à respecter un temps de pause de 4 minutes.

#### **2.3.4 Consignes**

Les participant-e-s des deux groupes ont suivis exactement le même protocole d'expérience. Dans un premier temps, ils recevaient le protocole de l'expérience, leur expliquant les informations nécessaires à la bonne exécution de la tâche (annexe 1 et 2). En cas de doute, des explications supplémentaires étaient données. Ensuite, s'ils étaient toujours d'accord de participer à l'étude, un formulaire de consentement devait être signé (annexe 3). Après leur avoir demandé leur âge, leur sexe, leur main forte ainsi que leur sport de prédilection, les participant-e-s pouvaient débiter l'expérience. Ils pouvaient à tout moment la quitter s'ils le souhaitaient. En ce qui concerne le groupe Go/No-Go, pour démarrer chaque session de l'expérience, après que l'expérimentateur ait tout mis en place, les participants devaient taper sur n'importe quelle cible. Les cibles d'abord bleues, devenaient alors blanches. Les lunettes pouvaient, en cas de non-respect des consignes, donner des informations comme suit : « Please adjust your position » ou « Please hold your hand close to your chin ». La première signalisait aux participants d'éloigner ou de rapprocher leur tête des cibles, de sorte que la cible du milieu soit alignée aux autres - car elle restait toujours à une longueur de 80% de la longueur du bras par rapport aux lunettes - et la deuxième leur indiquait de rapprocher leur main, tenant le joystick, du menton. Pour le groupe Go Only, l'expérience avait été simplifiée. Une fois que l'expérimentateur avait appuyé sur la touche « play » si le joystick était assez proche du menton/joue, l'expérience pouvait débiter. Si les participants étaient trop proches des cibles, les lunettes émettaient un bip et l'expérience ne pouvaient continuer. Cependant il n'y avait plus de consignes s'ils étaient trop éloignés. Ils devaient juste pouvoir toucher les cibles pour valider le coup. Lorsque toutes les consignes étaient respectées, les cibles étaient bleues et dans le cas contraire oranges.

#### **2.4 Analyse statistique des données**

Dans un premier temps, nous avons comparé la moyenne des TR du Go entre les 2 groupes. Pour cela, nous avons utilisé le Wilcoxon rank-sum test, car nous avons des échantillons

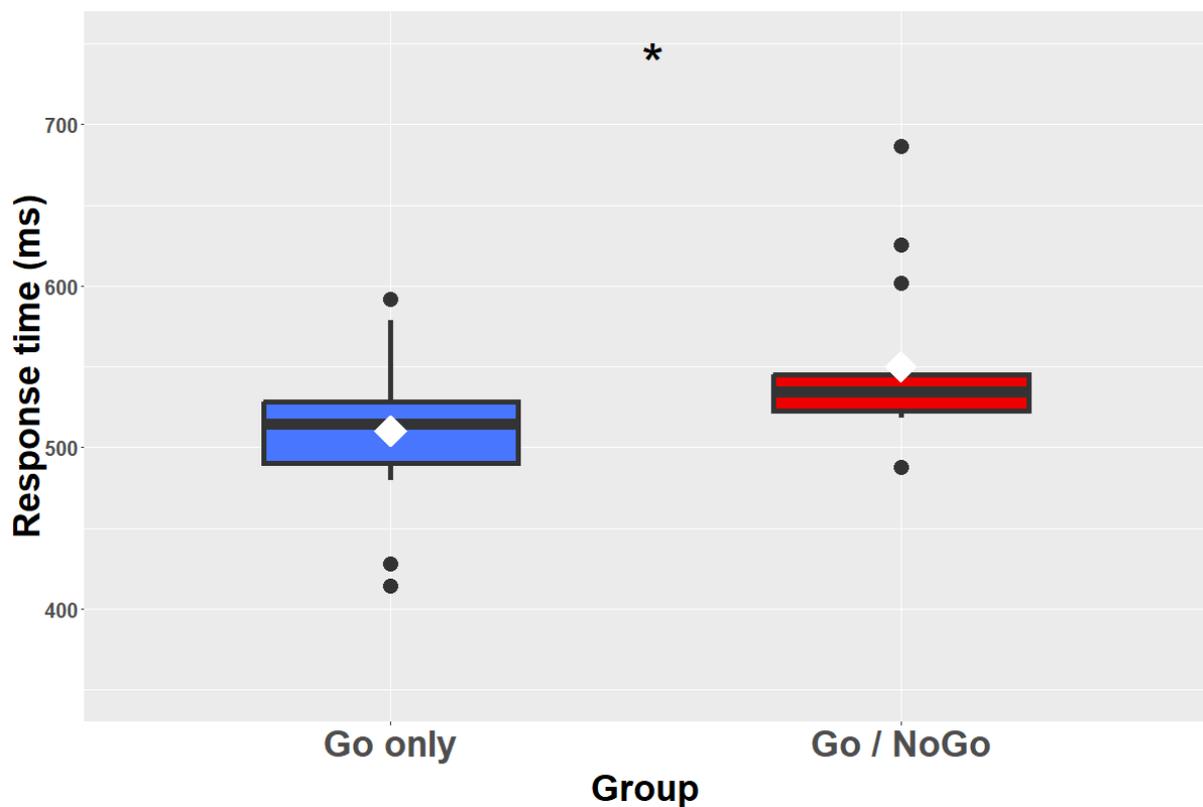
indépendants. Il s'agit d'un test non-paramétrique car il y avait moins de 20 participants par groupe. Dans un second temps, nous avons comparé la variabilité intra-individuelle des TR.

### 3 Résultats

Après la passation des 30 sujets (15 dans chaque groupe) les moyennes des TR du signal Go ont été comparées. Les TR sont significativement ( $p < 0.05$ ) plus longs pour le groupe Go/No-Go (moyenne =  $550.07 \pm 50.29$ ms) que le groupe Go Only (moyenne =  $510.22 \pm 47.78$ ms). La différence entre les groupes est notable (taille d'effet modérée,  $R = 0.41$ ) (figure 4).

**Figure 4**

*Comparaison de moyenne*

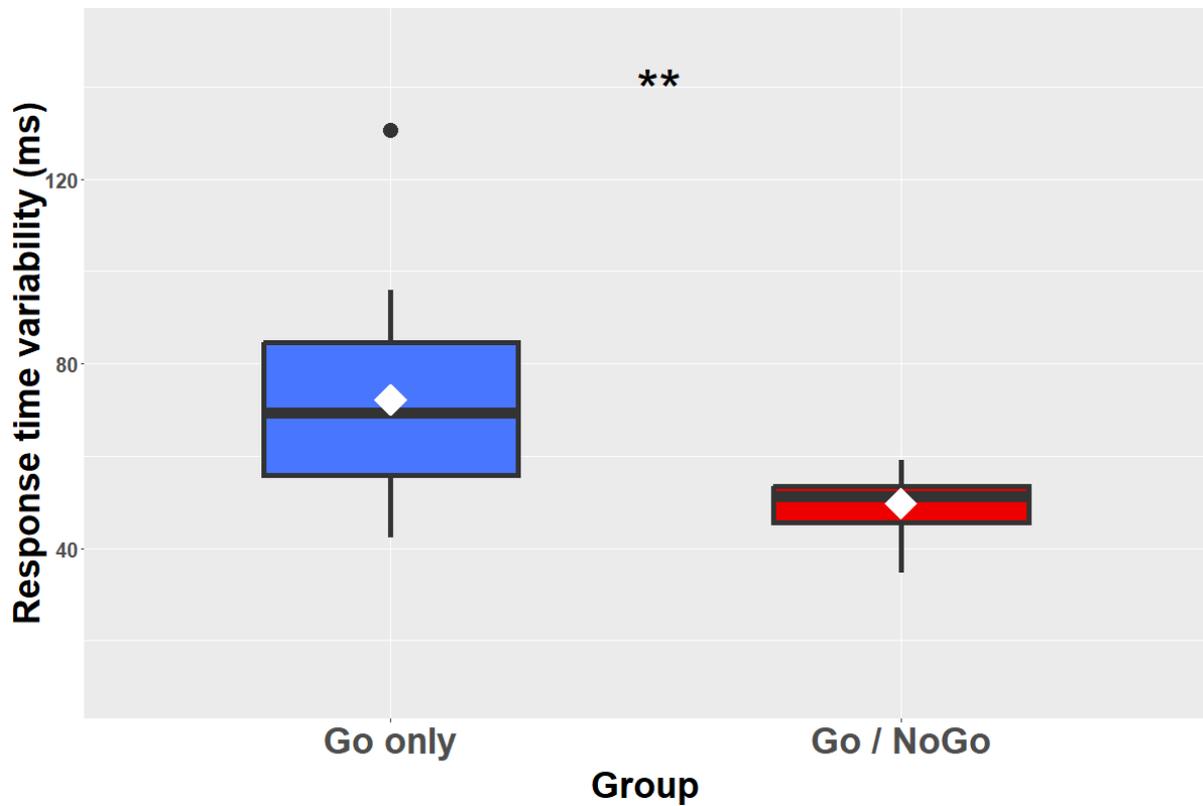


*Note.* Boxplot représentant la moyenne (losange blanc), la médiane (barre noire horizontale), les quartils, les minimas et les maximas des résultats obtenus pour les 2 groupes : en bleu le groupe Go Only et en rouge le groupe Go/No-Go. Plus les valeurs en Y sont faibles et plus le TR est rapide. Le TR est exprimé en ms.

En ce qui concerne la variabilité intra-individuelle, les TR sont significativement ( $p < 0.01$ ) plus large pour le groupe Go Only (moyenne =  $72.13 \pm 23.21$ ms) que pour le groupe Go/No-Go (moyenne =  $49.68 \pm 6.62$ ). La différence entre les groupes est grande (taille d'effet large,  $R = 0.60$ ) (figure 5).

**Figure 5**

*Comparaison de la variabilité intra-individuelle.*



*Note.* Boxplot représentant la moyenne (losange blanc), la médiane (barre noire horizontale), les quartiles, les minimas et les maximas des variables intra-individuelles des 2 groupes : en bleu le groupe Go Only et en rouge le groupe Go/No-Go. Plus les valeurs en Y sont faibles et plus la variabilité intra-individuelle est petite. Le temps de la variabilité intra-individuelle est exprimée en ms.

## **4 Discussion**

Dans ce chapitre, nous passerons en revue les résultats obtenus en les mettant en relief avec les hypothèses émises au préalable. Il sera ensuite intéressant de les analyser, les justifier et les comprendre à l'aide de théories et/ou d'études faites antérieurement. Nous verrons ensuite les limites que nous avons rencontrées lors de l'exécution de l'expérience et comment la rendre meilleure et l'adapter pour d'éventuelles études futures se rapprochant de la nôtre.

### **4.1 Vérification des hypothèses**

La première hypothèse et également l'objectif premier de ce travail de recherche était de prouver qu'une tâche simple (Go Only) provoquerait des TR plus courts qu'une tâche à choix avec inhibition (Go/No-Go). Comme vu plus haut, cette hypothèse est vérifiée. En effet, les TR moyens du groupe Go Only, sont significativement plus courts que ceux du groupe Go/No-Go. Contrairement à ce que nous pensions, la deuxième hypothèse, qui estimait que la variabilité intra-individuelle des TR serait moins large pour la tâche simple (Go Only) que pour la tâche à choix avec inhibition (Go/No-Go), n'a pas pu être vérifiée. Effectivement, les résultats nous montrent que la variabilité intra-individuelle était significativement plus large pour le groupe Go Only que pour le groupe Go/No-Go.

### **4.2 Rapport à la littérature**

Les résultats concernant l'hypothèse 1 ne sont pas étonnants. En effet, comme il est possible de le constater dans l'article de Kosinski, (2013) les tâches de réaction simple sont, de manière générale, effectuées plus rapidement que celles à choix. Si nous nous référons à des expériences ressemblant à la nôtre, le constat est le même. Comme vu dans le chapitre 1.4.2, l'étude de Kida et al., (2005) démontre que le TR d'une tâche simple est plus rapide qu'une tâche à choix et cela même si les participants viennent d'un milieu sportif professionnel ou non. Néanmoins, plus le niveau sportif du participant est élevé et plus le TR de la tâche à choix se rapproche de celui de la tâche simple. Un autre moyen d'avoir une plus petite différence entre les deux TR, est selon Zhang et al., (2024) de changer le ratio des Go et No-go. Moins il y a de No-Go et plus les Go sont rapides. Dans notre étude, il y avait 71,4% de Go pour le groupe Go/No-Go. D'un point de vue plus physiologique, une tâche Go/No-Go provoque des inhibitions motrices de la part du cerveau, ce qui n'est pas le cas lors d'une tâche Go Only. Ce processus d'inhibition combiné à une réponse motrice prend plus de temps qu'une simple réponse motrice face à un

stimulus. La prise de décision de la part du cerveau est donc plus complexe et plus coûteuse en temps pour la tâche Go/No-Go (Zhang et al., 2024).

Concernant l'hypothèse 2, qui n'a pas pu être vérifiée, certains éléments théoriques peuvent expliquer les résultats obtenus. Comme la tâche était plus simple, nous pensions donc, dans un premier temps, que les participants seraient plus constants au niveau des TR. Mais dans les faits, la variabilité intra-individuelle était moins large chez le groupe Go/No-Go. Nous pensons, donc, que l'élément faisant cette différence, est l'attention. Le chapitre 1.2 de ce travail nous indique à quel point c'est un facteur déterminant dans le cadre d'activités à réaction. Si nous nous penchons sur d'autres sources scientifiques, la causalité entre la variabilité intra-individuelle des TR et les troubles du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH), est souvent mise en avant. En effet, les chercheurs (Vaurio et al., 2009) ont découvert que des enfants diagnostiqués du TDAH ont une plus grande variabilité dans leur TR sur des tâches Go/No-Go que des enfants sains. Comme le révèlent (Keith et al., 2017), la même chose a été constaté chez les adultes, où plus le TDAH est important et plus la variabilité intra-individuelle des TR sur une tâche Go/No-Go est grande. Si nous superposons ces informations à notre étude, nous pouvons partir du principe que même si nos sujets étaient sains, leur attention devait être moins présente lors de la tâche Go Only que lors de la tâche Go/No-Go. Ce contraste entre l'attention des deux groupes expliquerait alors la différence de variabilité intra-individuelle. Les chercheurs (Berchicci et al., 2023) ont justement mesuré le potentiel évoqué (PE) dans le lobe préfrontal, temporal, pariétal et occipital précédant trois tâches de réaction différentes. La première était simple (Go Only), la deuxième à choix avec inhibition (Go/No-Go) et la dernière à choix multiples. Le but de leur étude était de déterminer quelle tâche nécessite la plus grande attention et concentration de la part des participants. La tâche Go/No-Go est celle qui recrute le plus de zones du cerveau et avec la plus grande intensité. Vient ensuite la tâche à choix multiple et pour finir la tâche simple. Cette différence entre la tâche Go/No-Go et à choix multiples est due à l'inhibition que demande la première et pas la seconde. Comme estimé auparavant, le Go Only est moins demandeur d'attention que le Go/No-Go, ce qui expliquerait cette plus grande variabilité intra-individuelle. Des participants confrontés à une tâche légèrement plus compliquée ont besoin de plus d'attention, ce qui réduit donc les erreurs et les TR extrêmement longs. En plus de nous donner des informations sur l'activité du cerveau, l'étude de (Berchicci et al., 2023) rejoint sur tous les plans les résultats que nous avons obtenus. En effet les TR sont plus rapides pour la tâche Go Only et, ici aussi, la variabilité intra-individuelle est plus importante pour la tâche simple que pour la tâche Go/No-Go.

### 4.3 Limites de l'étude

Comme cette expérience était la première dans le domaine de la boxe et de la réalité augmentée par les chercheurs de l'Université de Fribourg, nous avons remarqué plusieurs limites. Pour commencer, cette expérience a subi quelques améliorations entre le groupe Go/No-Go, qui s'est présenté en premier et le groupe Go Only. Les participants du deuxième groupe avaient une liberté de placement plus grande et moins contraignante. En effet, le système ne leur imposait plus une distance minimale avec les cibles à respecter. Les participants du groupe Go/No-Go avaient alors plus de mal à enchaîner les coups, sans provoquer des erreurs de placement, car leur marge de mouvement était limitée. De plus, l'expérience pour le groupe Go Only n'était pas adaptée aux participants gauchers à cause d'un problème du système.

Ensuite, le groupe Go Only avait 18 signaux lumineux de moins par bloc, puisqu'ils n'avaient pas de signaux rouges. Sur les 5 blocs, cela représente donc 90 signaux qui ont été supprimés. En plus d'avoir une tâche plus simple, leur temps d'attention était également plus court. Effectivement, l'expérience, si aucune erreur n'était commise, durait à peu près une minute de plus, par bloc, pour le groupe Go/No-Go. En cas d'erreur, le groupe Go Only était également avantageux. En effet, si la distance avec les cibles ou la position du joystick était incorrecte, il y avait seulement un bip sonore. De son côté, le groupe Go/No-Go recevait les indications : « Please adjust your position » ou « Please hold your hand close to your chin ». Ces phrases sont plus favorables à la déconcentration du participant et rajoutent encore du temps à l'expérience de ce groupe.

Ensuite, de manière générale, que ce soit un groupe ou l'autre, les participants se plaignaient de la durée des blocs. L'attention n'était plus la même à la fin de ceux-ci. Ils pouvaient même ressentir des douleurs musculaires dans le dos à force de tenir le joystick et de taper. Les pauses, néanmoins, permettaient de repartir à nouveau en pleine forme.

Les participants n'ayant effectué que l'un des deux tests, il ne nous est pas possible de comparer les performances sur un plan individuel, mais seulement au niveau des groupes, c'est-à-dire l'ensemble de ceux qui ont participé au test Go/No-Go par rapport à ceux du test Go Only.

Comme vu auparavant dans ce travail, beaucoup de facteurs, comme le sommeil, la fatigue, l'alcool ou d'autres substances exercent une influence sur le TR. Malheureusement, nous n'avons aucune connaissance ni sur l'état ni sur le comportement des participants précédant l'expérience. La motivation et l'attention sont également des facteurs que nous ne pouvions influencer. Des biais peuvent alors exister.

Pour finir, l'utilisation de la réalité augmentée, par rapport à la réalité virtuelle, fait sens car cette étude pourra être améliorée en incluant plus la réalité lors d'études futures et car c'est une

technologie récente, précise et agréable à porter. Mais malheureusement, dans cette étude, les cibles flottaient dans le vide et la seule source pertinente, venant de la réalité, était la vision de la main. Il est donc plus facile de la situer dans l'espace, en comparaison à une main virtuelle, issue de la réalité virtuelle.

#### **4.4 Améliorations**

La première grande amélioration à apporter à cette étude, serait d'avoir exactement le même protocole d'expérience pour les deux groupes, idéalement en reprenant le modèle du groupe Go Only. Effectivement, celui-ci était plus épuré et instinctif, rendant l'expérience plus fluide et agréable pour les participants.

Ensuite, nous pourrions rajouter quelques signaux lumineux chez le groupe Go Only ou alors en enlever chez le groupe Go/No-Go, de manière à avoir la même durée d'expérience pour les deux groupes. Si nous adaptions le format à ce niveau-là, il y aura, en revanche, toujours une inégalité entre les groupes, car un des deux groupes tapera forcément toujours un plus grand nombre de fois sur les cibles.

Comme expliqué plus haut, il serait également intéressant d'avoir un seul groupe, qui passerait alors les deux différents tests, à savoir, le Go Only et le Go/No-Go. On effectuerait alors un contrebalancement, c'est-à-dire, l'ordre de passage des tests serait randomisé pour éviter les biais et les adaptations des participants. Les variables liées aux participants seraient alors minimisées.

Il aurait aussi été intéressant d'ajouter une variable au sein des participants. En ayant, par exemple, plusieurs groupes distincts au niveau des participants. De ce fait, nous aurions pu comparer les performances de boxeurs, sportifs et non-sportifs et cela dans les deux conditions. Pour finir, la réalité augmentée aurait pu être plus utilisée en plaçant les cibles sur un sac de boxe par exemple. Ça aurait rapproché l'expérience d'une pratique plus concrète de la boxe. Mais comme déjà évoqué auparavant, cette expérience étant la première dans ce domaine par les chercheurs de l'Université de Fribourg, il restera encore de la marge pour l'adapter dans le futur.

## **5 Conclusion**

Cette étude avait pour objectif d'évaluer et de comparer le TR dans des tâches de réaction simples et à choix en utilisant la réalité augmentée, spécifiquement dans le contexte de la boîte. Les résultats obtenus confirment en grande partie nos hypothèses initiales. En effet, il a été démontré que le TR est significativement plus court dans les tâches simples comparé aux tâches à choix. Cette constatation est cohérente avec la littérature existante, qui montre que les tâches de réaction simples demandent moins de TR que des tâches plus complexes nécessitant une inhibition et une prise de décision. Cependant, contrairement à notre deuxième hypothèse, la variabilité intra-individuelle des TR a été plus large dans la tâche simple que celle à choix. Cela pourrait s'expliquer par une plus grande marge de fluctuation du fait qu'une moins grande demande d'attention soit nécessaire. Ce travail souligne également les défis méthodologiques et les biais potentiels auxquelles nous devons faire face. Ces remarques seront utiles pour de futurs travaux de ce style. Pour conclure, cette étude apporte des éclairages précieux sur l'impact des tâches de réaction simple et à choix sur le TR en boîte, tout en ouvrant des perspectives pour des recherches à venir.

## Bibliographie

- Berchicci, M., Bianco, V., Hamidi, H., Fiorini, L., & Di Russo, F. (2023). Electrophysiological Correlates of Different Proactive Controls during Response Competition and Inhibition Tasks. *Brain Sciences*, 13(3), Article 3.  
<https://doi.org/10.3390/brainsci13030455>
- Buśko, K., Staniak, Z., Łach, P., Mazur-Różycka, J., Michalski, R., & Górski, M. (2014). Comparison of two boxing training simulators. *Biomedical Human Kinetics*, 6(1).  
<https://doi.org/10.2478/bhk-2014-0022>
- Chadli, S., Ababou, N., & Ababou, A. (2014). A New Instrument for Punch Analysis in Boxing. *Procedia Engineering*, 72, 411-416. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.06.073>
- Chen, H., Wang, Y., & Liang, W. (2022). VCoach : Enabling Personalized Boxing Training in Virtual Reality. *2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, 546-547.  
<https://doi.org/10.1109/VRW55335.2022.00124>
- Darby, D., Moriarity, J., Pietrzak, R., Kutcher, J., McAward, K., & McCrory, P. (2014). Prediction of winning amateur boxers using pretournament reaction times. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 54(3), 340-346.
- Der, G., & Deary, I. J. (2006). Age and sex differences in reaction time in adulthood : Results from the United Kingdom Health and Lifestyle Survey. *Psychology and Aging*, 21(1), 62-73. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.21.1.62>
- Dinçer, N., Kiliç, Z., & Ilbak, I. (2022). Comparison of Visual Simple Reaction Time Performances of Boxers and Wrestlers. *Pakistan Journal of Medical & Health Sciences*, 16(02), Article 02. <https://doi.org/10.53350/pjmhs22162467>
- Durlach, P. J., Edmunds, R., Howard, L., & Tipper, S. P. (2002). A Rapid Effect of Caffeinated Beverages on Two Choice Reaction Time Tasks. *Nutritional Neuroscience*, 5(6), 433-442. <https://doi.org/10.1080/1028415021000039211>
- Ebashi, S., & Endo, M. (1968). Calcium and muscle contraction. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 18, 123-183. [https://doi.org/10.1016/0079-6107\(68\)90023-0](https://doi.org/10.1016/0079-6107(68)90023-0)
- Eccles, J. C., Fatt, P., & Koketsu, K. (1954). Cholinergic and inhibitory synapses in a pathway from motor-axon collaterals to motoneurons. *The Journal of Physiology*, 126(3), 524-562. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1954.sp005226>

- Goldstein, E. B. (Éd.). (2005). *Blackwell handbook of sensation and perception*. Blackwell Publ.
- Hukkanen, E., & Häkkinen, K. (2017). Effects of Sparring Load on Reaction Speed and Punch Force During the Precompetition and Competition Periods in Boxing. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(6), 1563.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001885>
- Kashihara, K., & Nakahara, Y. (2005). Short-Term Effect of Physical Exercise at Lactate Threshold on Choice Reaction Time. *Perceptual and Motor Skills*, 100(2), 275-291.  
<https://doi.org/10.2466/pms.100.2.275-291>
- Katz, B., & Miledi, R. (1997). The measurement of synaptic delay, and the time course of acetylcholine release at the neuromuscular junction. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences*, 161(985), 483-495.  
<https://doi.org/10.1098/rspb.1965.0016>
- Keith, J. R., Blackwood, M. E., Mathew, R. T., & Lecci, L. B. (2017). Self-Reported Mindful Attention and Awareness, Go/No-Go Response-Time Variability, and Attention-Deficit Hyperactivity Disorder. *Mindfulness*, 8(3), 765-774.  
<https://doi.org/10.1007/s12671-016-0655-0>
- Kida, N., Oda, S., & Matsumura, M. (2005). Intensive baseball practice improves the Go/Nogo reaction time, but not the simple reaction time. *Cognitive Brain Research*, 22(2), 257-264. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2004.09.003>
- Kolb, H., Fernandez, E., & Nelson, R. (Éds.). (1995). *Webvision : The Organization of the Retina and Visual System*. University of Utah Health Sciences Center.  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK11530/>
- Kosinski, R. J. (2013). *A Literature Review on Reaction Time*.
- Landauer, A. A., & Adamson, R. (1980). L'alcool Et La Variance Du Temps De Réaction. *Le Travail Humain*, 43(1), 87-95.
- Magic Leap 2. (s. d.). Magic Leap. Consulté 4 avril 2024, à l'adresse <https://www.magicleap.com/magic-leap-2>
- Melynyte, S., Ruksenas, O., & Griskova-Bulanova, I. (2017). Sex differences in equiprobable auditory Go/NoGo task : Effects on N2 and P3. *Experimental Brain Research*, 235(5), 1565-1574. <https://doi.org/10.1007/s00221-017-4911-x>
- Murphy, S. M. (2012). *The Oxford Handbook of Sport and Performance Psychology*. OUP USA.

- Poliak, M., Svabova, L., Benus, J., & Demirci, E. (2022). Driver Response Time and Age Impact on the Reaction Time of Drivers : A Driving Simulator Study among Professional-Truck Drivers. *Mathematics*, 10(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/math10091489>
- Prinzmetal, W., McCool, C., & Park, S. (2005). Attention : Reaction Time and Accuracy Reveal Different Mechanisms. *Journal of Experimental Psychology: General*, 134(1), 73-92. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.134.1.73>
- Sawan, N., Eltweri, A., De Lucia, C., Pio Leonardo Cavaliere, L., Faccia, A., & Roxana Moşteanu, N. (2021). Mixed and Augmented Reality Applications in the Sport Industry. *Proceedings of the 2020 2nd International Conference on E-Business and E-commerce Engineering*, 55-59. <https://doi.org/10.1145/3446922.3446932>
- Sherman, S. M. (2006). Thalamus. *Scholarpedia*, 1(9), 1583. <https://doi.org/10.4249/scholarpedia.1583>
- Simon, J. R. (1967). Ear Preference in a Simple Reaction-Time Task. *Journal of Experimental Psychology*, 75(1), 49-55. <https://doi.org/10.1037/h0021281>
- Sweeney, H. L., & Houdusse, A. (2010). Structural and Functional Insights into the Myosin Motor Mechanism. *Annual Review of Biophysics*, 39(Volume 39, 2010), 539-557. <https://doi.org/10.1146/annurev.biophys.050708.133751>
- Van Essen, D. C., Anderson, C. H., & Felleman, D. J. (1992). Information Processing in the Primate Visual System : An Integrated Systems Perspective. *Science*, 255(5043), 419-423. <https://doi.org/10.1126/science.1734518>
- Vaurio, R. G., Simmonds, D. J., & Mostofsky, S. H. (2009). Increased intra-individual reaction time variability in attention-deficit/hyperactivity disorder across response inhibition tasks with different cognitive demands. *Neuropsychologia*, 47(12), 2389-2396. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.01.022>
- Wolpert, D. M., & Flanagan, J. R. (2001). Motor prediction. *Current Biology*, 11(18), R729-R732. [https://doi.org/10.1016/S0960-9822\(01\)00432-8](https://doi.org/10.1016/S0960-9822(01)00432-8)
- Woods, D. L., Wyma, J. M., Yund, E. W., Herron, T. J., & Reed, B. (2015). Factors influencing the latency of simple reaction time. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00131>
- Zhang, N., An, W., Yu, Y., Wu, J., & Yang, J. (2024). Go/No-Go Ratios Modulate Inhibition-Related Brain Activity : An Event-Related Potential Study. *Brain Sciences*, 14(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/brainsci14050414>

## Annexe

### Annexe 1. Protocole groupe Go/No-Go

#### Déroulement de la tâche Go/No-Go :

Lors de la mise en place du matériel de réalité augmentée, le participant possédant des lunettes de correction de vue devra les enlever. Une fois les lunettes de réalité augmentée posées sur la tête, le joystick dans la main et l'ordinateur accroché en bandoulière, l'expérience peut commencer. Le participant se place devant les cibles, à une distance plus grande que la longueur de son bras. Lors de la calibration, il devra tendre son bras fort (tenant le joystick) en direction des cibles. De cette manière, l'expérimentateur pourra mesurer la longueur de son bras. Ensuite, pour démarrer la session, il pourra alors s'avancer en direction des cibles et en toucher une. Viendront alors 5 blocs de 63 signaux lumineux indiquant quelle cible le participant devra toucher (en vert) ou ne pas toucher (en rouge). Il y a un total de 9 cibles différentes qui sont disposées en forme de carré. Entre chaque bloc, le participant a droit à 4 minutes de pause.

Pour que l'expérience fonctionne, le participant devra respecter certains points :

- Garder le joystick collé au menton après chaque coup donné.
- Être à une distance optimale des cibles (la cible du milieu devant se trouver entre 5cm plus proche ou plus éloignée des autres cibles).
- Taper les cibles le plus rapidement possible.

Les lunettes donneront certains types d'informations au participant. Si la cible est touchée correctement, un bruit grave se fera entendre. En cas d'erreur, un bruit plus aigu sera alors émis. Si le participant est trop proche ou trop éloigné des cibles, les lunettes diront : « Please adjust your position ». Si le participant ne garde pas le joystick assez proche de son menton, les lunettes diront alors : « Please hold your hand close to your chin ».

Avant de commencer l'expérience, le participant devra lire et signer une décharge de consentement.

### Déroulement de la tâche Go :

Lors de la mise en place du matériel de réalité augmentée, le participant possédant des lunettes de correction de vue devra les enlever. Une fois les lunettes de réalité augmentée posées sur la tête, le joystick dans la main et l'ordinateur accroché en bandoulière, l'expérience peut commencer. Le participant se place devant les cibles, à une distance plus grande que la longueur de son bras. Lors de la calibration, il devra tendre son bras fort (tenant le joystick) en direction des cibles. De cette manière, l'expérimentateur pourra mesurer la longueur de son bras. Ensuite, pour démarrer la session, il pourra alors s'avancer en direction des cibles et en toucher une. Viendront alors 5 blocs de 45 signaux lumineux verts indiquant quelle cible le participant devra toucher. Il y a un total de 9 cibles différentes qui sont disposées en forme de carré. Entre chaque bloc, le participant a droit à 4 minutes de pause.

Pour que l'expérience fonctionne, le participant devra respecter certains points :

- Garder le joystick collé au menton après chaque coup donné.
- Ne pas être trop proche des cibles.
- Taper les cibles le plus rapidement possible.

Les lunettes donneront certains types d'informations au participant. Si la cible est touchée correctement, un bruit grave se fera entendre. En cas d'erreur, un bruit plus aigu sera alors émis. Si le participant est trop proche des cibles ou que le joystick est trop loin du menton, les lunettes émettront des Bips jusqu'à ce que le participant soit assez éloigné ou que le joystick soit assez proche du menton.

Avant de commencer l'expérience, le participant devra lire et signer une décharge de consentement.

## Participation à une étude de recherche

CoPe Lab - Control and Perception Laboratory, Fribourg

### Formulaire de Consentement

Je, soussigné(e) \_\_\_\_\_ déclare accepter, librement, et de façon éclairée, de participer comme sujet à cette étude de recherche.

Je comprends que j'ai le choix de me retirer de l'étude à n'importe quel moment et ceci sans aucune justification ni conséquence, mais ceci au plus tard jusqu'à deux semaines après la date de ma dernière expérience.

Je confirme que la nature de cette étude m'a été clairement expliquée et que j'ai eu l'opportunité de poser toutes les questions que je souhaitais.

Je comprends qu'il n'y a pas d'intéressement direct résultant de ma participation à cette étude.

Je comprends et j'accepte que toutes les données personnelles provenant de cette étude seront traitées et utilisées de manière complètement confidentielle et anonyme. Comme l'adresse de courriel, l'âge, le genre, ainsi que les divers paramètres et variables enregistrés lors de l'étude.

Je comprends que je suis libre de contacter à ma guise l'équipe de recherche afin d'obtenir des informations complémentaires relative à cette étude.

Responsable principal de l'étude

Jean-Luc Bloechle, PhD  
Université de Fribourg  
jean-luc.bloechle@unifr.ch



Date \_\_\_\_\_

Signature du responsable

Signature du participant