

UNIVERSITÉ DE FRIBOURG, SUISSE
FACULTÉ DES SCIENCES
DÉPARTEMENT DE MÉDECINE

En collaboration avec la
HAUTE ÉCOLE FÉDÉRALE DE SPORTS DE MACOLIN

QUELLE EST L'EFFICACITE DU TIREUR DE PENALTY LORSQU'UN CHANGEMENT DE DIRECTION
SURGIT AVANT LE CONTACT DU BALLON ?

Travail final pour l'obtention du Master en
Sciences du Mouvement et du sport
Option Enseignement

Conseiller: Prof. Dr. Jean-Pierre BRESCIANI
Co-conseiller-ère: Thibaut LE NAOUR

Julian CUADRA
Fribourg, Septembre, 2015

Table des matières

1. RESUME	3
2. INTRODUCTION	4
2.1 ENJEU DU TIR DE PENALTY AU FOOTBALL	4
2.2 EXPERIENCE.....	5
<u>2.2.1 « Double step paradigm » :</u>	6
<u>2.2.2 « Pointing » vs. « Response ».....</u>	7
2.3 PLANIFICATION ET AJUSTEMENT DU MOUVEMENT PENDANT SON EXECUTION :	7
<u>2.3.1 Facteurs influençant le temps</u>	9
<u>2.3.2 Type de feedback dans les tirs de penalty</u>	9
2.4 « POINTING » VS. « ANTI-POINTING ».....	11
<u>2.4.1 Automaticité des tâches de « pointing » :.....</u>	11
<u>2.4.2 Structures responsables des ajustements en ligne</u>	12
3. HYPOTHESES DE TRAVAIL	14
4. METHODOLOGIE.....	15
4.1 SUJETS :.....	15
4.2 APPAREIL :	15
4.3 PROCEDURE :	16
4.4 ENREGISTREMENT DES DONNEES :	19
5. RESULTATS	22
5.1 MOYENNE DES RESULTATS DES SUJETS	22
5.2 ANALYSES :	23
<u>5.2.1 Comparaison des moyennes entre les conditions :</u>	23
<u>5.2.2 Comparaison des moyennes entre les types d'exercice:.....</u>	23
<u>5.2.3 Interaction entre les tâches et les conditions:</u>	24
<u>5.2.4 Variabilité du temps entre les deux types d'exercices :</u>	25
<u>5.2.5 Analyse dissociée</u>	26
6. DISCUSSION :	28
7. BIBLIOGRAPHIE:.....	31
8. REMERCIEMENTS:	33
9. DECLARATION PERSONNELLE:.....	34
10. DROITS D'AUTEUR:.....	34
11. ANNEXES:.....	35
11.1 ANNEXE 1 : DONNEES DES SUJETS	35
11.2 ANNEXE 2 : EXPERIENCE	36
11.3 ANNEXE 3 : RESULTATS BRUTS DES SUJETS PAR RAPPORT AUX CONDITIONS	37
11.4 ANNEXE 4 : ENREGISTREMENT DES DONNEES.....	39
11.5 ANNEXE 5 : ANALYSES STATISTIQUES.....	41

1. Résumé

Il a été prouvé qu'un changement de direction pendant l'exécution d'un mouvement de « reaching » avec la main est réalisable à partir d'environ 250 ms. Durant ce type de tâche motrice, les sujets se dirigeaient avec leur main vers une cible perçue visuellement. Une fois le mouvement initié, la cible changeait de position et les sujets doivent ajuster leur mouvement et atteindre le nouvel objectif.

Nous avons pour but de rapprocher ces informations à un mouvement plus complexe : le tir de penalty. Pour cela nous avons fait effectuer des exercices de « reaching » et de « response » à 24 sujets sous trois types de stimuli visuels différents sur un écran interactif : une cible indiquant le côté de l'objectif, une croix indiquant l'objectif à éviter et un gardien en 2-D qui indiquait également l'objectif à éviter. Sur l'écran, les sujets devaient soit atteindre la cible correspondante au stimulus visuel (« reaching ») soit réagir le plus rapidement possible du côté correspondant (« response »). Pour le premier type d'exercice, nous avons utilisé un « double step paradigm » où un changement de côté se réalisait après l'initiation du mouvement afin que des ajustements soient réalisés pour atteindre la nouvelle cible.

Les résultats de l'expérience ont montré une différence significative entre les temps nécessaires aux réactions entre la condition de la croix et les autres stimuli. Cette condition diffère uniquement lors d'une tâche de « response », nous en avons conclu que les deux tâches sont prises en charge par des systèmes de traitement d'informations différents. Nous avons également trouvé que le temps nécessaire à une bonne réalisation des ajustements pendant l'exécution d'un mouvement avec la main est plus court que le temps de réaction aux différents stimuli depuis une position d'arrêt.

D'après les résultats obtenus, nous croyons qu'une expérience dans une situation réelle de tir de penalty avec différents stimuli visuels est nécessaire afin de vérifier les résultats obtenus dans un environnement plus spécifique au football.

2. Introduction

2.1 Enjeu du tir de penalty au football

Le tir de penalty au football peut avoir une grande importance dans le déroulement d'un match. Non seulement les tirs de penalty permettent de départager deux équipes lorsqu'à la fin du temps réglementaire et des prolongations d'un match de tournoi le score est à égalité, mais il a aussi son rôle à jouer dans un match de championnat classique. Depuis la première séance de penaltys officielle qui s'est déroulée en 1970, c'est une tâche motrice qui a provoqué beaucoup d'intérêt chez les chercheurs en sport. Ces derniers se sont intéressés notamment aux différentes stratégies que le tireur pouvait utiliser. Une étude en particulier (Kuhn, 1988) estime que le tireur a le choix entre adopter une stratégie dépendante ou indépendante du gardien. Lors du premier type d'approche, le tireur attend le dernier moment pour ajuster son geste avant le contact du ballon par rapport aux gestes et mouvements du gardien. Dans l'autre stratégie, le tireur décide préalablement le côté où tirer sans se soucier des réactions de son adversaire. Dans cette étude, les sujets avaient le choix d'effectuer les tirs avec une des deux stratégies mais il est intéressant de noter que plus de trois quarts des tireurs ont opté pour une approche dépendante du gardien.

Bien qu'il soit difficile de dire si les joueurs professionnels utilisent plus une stratégie que l'autre, il est intéressant de voir les préférences de ces derniers. Un exemple récent est celui de la finale de la Copa América de 2015 où le Chili a remporté la coupe contre l'Argentine dans une séance de tirs au but. Il a été particulièrement intéressant de remarquer le joueur argentin Gonzalo Higuaín. Il a probablement utilisé une approche indépendante du gardien car ce dernier a tiré en pleine puissance sans se soucier de ce que son adversaire faisait mais malheureusement pour lui le ballon a fini dans les gradins. On peut comparer son essai à celui du joueur chilien Alexis Sanchez, qui sans aucune pression a commencé à prendre son élan au coup de sifflet et attendu le dernier moment pour tirer et placer le ballon dans le côté libre du but. Cette tentative dépendante du gardien a d'ailleurs permis à l'équipe du joueur de gagner la coupe. S'il s'avère que les joueurs professionnels utilisent plutôt une stratégie indépendante du gardien, nous pensons que cela est dû au niveau de compétences de ces derniers. Nous estimons que si les joueurs étaient assez compétents pour tirer dans une zone difficile à attraper pour le gardien tout en gardant une puissance de tir assez grande, les joueurs auraient intérêt à utiliser une stratégie indépendante. Certains auteurs (Wood & Werner, 2010) pensent

en effet qu'une stratégie où les joueurs ne s'occupent pas des réactions du gardien pourrait être supérieure à une autre, dans le cas où les joueurs seraient assez talentueux pour garder une précision de tir constante et un tir assez puissant pour que la balle soit impossible à arrêter pour le gardien. De plus, il est probablement plus difficile pour un tireur utilisant une approche dépendante du gardien d'effectuer correctement la tâche motrice si le gardien plonge très tard d'un côté que s'il se jette trop tôt. Un auteur a en effet réalisé une étude concernant l'effectivité du tir au penalty par rapport aux différentes stratégies du tireur et il a trouvé que plus un changement de direction était donné tard (délai faible entre le signal et le contact avec le ballon), plus il y avait des chances que le tireur soit moins précis et rate son tir (Van Der Kamp, 2006).

D'autres études se sont plutôt intéressées à la tâche du gardien et sa faculté à anticiper la trajectoire du ballon. Un gardien n'aura d'autre choix que d'anticiper le tir du joueur qui effectue le penalty car sans cela, théoriquement, il lui sera impossible d'être assez rapide pour attraper ou dévier le ballon. Mais est-ce une question de chance ou est-ce que le défenseur des cages peut réellement deviner la trajectoire du ballon ? Une étude s'est intéressée à comparer les différentes zones observées par des gardiens de différents niveaux d'expertise ainsi que la qualité de l'anticipation du gardien par rapport au tireur (Savelsberg, 2005). Les participants de cette étude avaient la tâche de regarder plusieurs séquences de tirs au but depuis la perspective du gardien et ils devaient par la suite montrer la direction du tir à l'aide d'un joystick. Les résultats ont montré une différence significative entre les experts et les débutants par rapport aux zones observées avant que le tireur ne touche le ballon mais aussi concernant la justesse de l'anticipation. En effet, les experts sélectionnaient le côté du tir plus tardivement par rapport aux débutants mais ils ont eu un pourcentage de réussite plus haut que les autres. Par conséquent, on peut en déduire que la capacité à anticiper et intercepter le ballon peut s'entraîner et diffère en fonction du niveau du gardien.

2.2 Expérience

Bien que notre travail se concentre sur le thème du tir de penalty au football, notre expérience s'est représentée par la réalisation de tâches de « reaching » et de « response » avec la main. La raison est due à un manque d'information concernant le temps de réaction lors d'un changement de direction et d'un ajustement du mouvement lors des mouvements complexes comme le tir au but au football. Cependant nous nous sommes basés sur des études traitant les ajustements en ligne lors de mouvements moins complexes, ce qui nous a permis de mettre en

place les tests en gardant des mouvements avec la main tout en se rapprochant du sujet souhaité. Ces études se sont notamment appuyées sur des expériences de « reaching paradigm » où l'on demandait aux sujets d'atteindre une cible avec leur main alors que pendant l'exécution du mouvement, des altérations étaient introduites. Le « double-step paradigm » va nous intéresser plus particulièrement car dans celui-ci, les sujets doivent atteindre une cible le plus rapidement et le plus précisément possible lorsqu'un changement de direction se produit.

2.2.1 « Double step paradigm » :

Dans ce type d'expérience, la première cible est donnée au sujet mais dans certains cas cette dernière s'éteint et un nouvel objectif s'allume, ce qui donne l'impression d'un déplacement de l'objectif. Par conséquent, le sujet doit réagir le plus rapidement possible, ajuster son mouvement et atteindre le nouveau point (Sarlegna & Mutha, 2015). Il nous a semblé important de revenir à ce paradigme car nous nous en sommes servis pour mettre en place notre expérience sur le tir de penalty. Si l'on compare ce type d'exercice à la pratique d'un tir au but, la procédure est identique. Dans le premier exercice, on demande au sujet d'atteindre une cible avec une incertitude de changement de direction et d'ajuster son mouvement si nécessaire. Lors d'un tir au but, si nous nous référons à une stratégie dépendante du gardien, le tireur attend également la réaction du gardien pour ajuster son mouvement en conséquence et vise le côté libre du but. En imaginant que le joueur ait une première idée concernant la direction du tir, il devra choisir d'ajuster son mouvement ou non tout en dépendant du côté choisi par le gardien. Cependant, il existe une limite aux ajustements réalisés lors d'un changement de direction. Effectivement, modifier une action pendant son exécution est possible mais pas dans tous les cas, car plus le changement se fait tard par rapport à l'objectif d'arrivée, plus des erreurs sont observées (Barrett & Glencross, 1989). Il a aussi été démontré que lorsqu'un mouvement est réalisé trop rapidement, l'ajustement de celui-ci devient difficile en raison du temps nécessaire de l'activation des corrections internes. En effet, beaucoup d'études se sont centrées sur le délai d'un ajustement du bras pendant l'exécution du mouvement. D'après les résultats obtenus, les premières réactions aux stimuli peuvent s'observer environ à 150 ms pour ce type de mouvement (Prablanc & Martin, 1992 ; Johnson, Van Beers & Haggard, 2002). Une autre étude plus similaire à la nôtre s'est intéressée à établir le temps permettant d'ajuster le mouvement dans une tâche de tir au but simulée sur un ordinateur. Les résultats ont montré que lorsque le changement s'effectuait 400 ms avant le contact du ballon, tous les ajustements ont été réalisés à la perfection mais ces mêmes sujets

n'ont pas réussi à ajuster leurs mouvements lorsque le changement de direction se faisait dans un temps inférieur à 150 ms (Morya, Ranvaud & Pinheiro, 2003).

2.2.2 « Pointing » vs. « Response »

Concernant le temps nécessaire à une réaction de choix (« response »), nous nous sommes basés sur des études ayant également comparé les deux types de tâches. Une première étude a comparé les mouvements et le temps de réaction face à un changement de direction dans des tâches de « pointing » et des exercices de réaction (Day & Lyon, 2000). Les résultats n'ont montré aucune différence de temps lors des deux types de tâches mais les auteurs ont trouvé une différence de temps entre le temps de réaction lorsque le mouvement était vers la droite ou vers la gauche. En effet, lorsque le signal visuel était à gauche, le délai de réaction était de 18 ms plus lent que lorsque le signal était à droite. Les auteurs de l'article ont estimé que cela était dû au transfert d'informations entre les deux hémisphères du cerveau. Comme les sujets étaient tous droitiers, l'information devait donc passer de l'hémisphère gauche à l'hémisphère droit, expliquant cette différence de délai. Par contre, les résultats n'ont montré aucune différence entre le côté de la cible pour l'autre type de tâche motrice. Ces observations ont à nouveau été confirmées avec une étude ayant réalisé le même type de tâche (Day & Brown, 2001). Les expérimentateurs ont fait exécuter les tâches à un sujet ayant une agénésie du corps calleux, la structure permettant les échanges entre les deux hémisphères. Les résultats ont montré encore une fois une différence significative entre les temps de réaction lorsque le mouvement se faisait de droite à gauche et vice versa. Les résultats ont également été comparés avec un groupe contrôle n'ayant pas cette maladie et une différence a aussi pu être trouvée. Cependant, le sujet ayant cette absence de formation du corps calleux n'a montré aucune différence pour les tâches de « reaching » par rapport au groupe contrôle. Par conséquent, les auteurs ont pu mettre en évidence une implication des structures sous-corticales dans une tâche de « reaching ». Une autre étude a voulu comparer les temps de corrections en ligne (« reaching ») avec et sans la vision du membre effectuant la tâche motrice (Reichenbach et al. 2009) a montré que les ajustements pendant l'exécution d'un mouvement sont presque deux fois plus rapide qu'une tâche de réaction de choix simple par rapport à un stimulus (« response »).

2.3 Planification et ajustement du mouvement pendant son exécution :

Il nous a tout d'abord semblé judicieux de mentionner comment les mouvements sont contrôlés et de mettre en évidence les systèmes destinés à cette tâche. Un article explique

qu'il existe deux types de modèles concernant le contrôle du mouvement avant et pendant son exécution (Desmurget & Grafton). L'un donne une importance particulière à la planification du mouvement avant son exécution alors que l'autre voit une plus grande importance dans le contrôle du mouvement pendant sa réalisation. En effet, le premier type de contrôle est à boucle ouverte (feedforward) et nécessite une planification avant d'exécuter un mouvement. Alors que le deuxième type est à boucle fermée (feedback) et permet un ajustement pendant la réalisation du mouvement. Cependant il nous a semblé plus intéressant de nous baser sur un article où les auteurs proposent un modèle hybride où la planification de la tâche motrice et le feedback sont des paramètres indispensables au bon déroulement de la tâche motrice. C'est-à-dire que l'on peut d'abord observer un plan moteur par rapport au placement de la main avec laquelle on réalise la tâche ainsi qu'au placement de l'objectif. Lorsque le mouvement est en réalisation, la personne effectuant la tâche motrice reçoit des informations sensorielles et un feedback concernant l'état actuel du membre et le compare à l'état final souhaité. Avec l'évaluation du mouvement en cours et la comparaison avec l'état souhaité, un feedback est généré et permet un ajustement du mouvement afin d'arriver à la cible le plus précisément possible (Figure 1). Afin de prouver qu'un mouvement peut être ajusté pendant son exécution malgré un premier plan moteur, deux chercheurs ont utilisé une expérience où les sujets devaient atteindre une cible qui dans certains cas changeait de place (Prablanc & Martin, 1992). Les ajustements étant faits dans cette expérience, les auteurs de l'article ont pu prouver que ce type de tâche se faisait grâce à un modèle de feedback à boucle fermée (feedback).

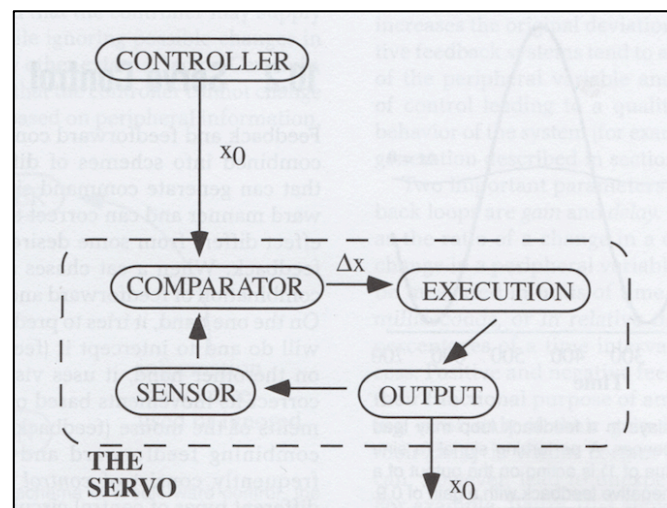


Figure 1: Exemple d'un modèle combinant un contrôle à boucle ouverte et fermée. La boucle de feedback (« the servo ») reçoit un signal (x_0) et ajuste ce dernier en fonction de l'exercice à réaliser. (Latash M., 2008, p. 94).

2.3.1 Facteurs influençant le temps

Certains expérimentateurs ont voulu connaître l'effet de certains facteurs qui pourraient influencer le temps nécessaire à un ajustement en ligne. La vision du membre effectuant le mouvement serait l'un d'entre eux. Par conséquent, des chercheurs (Elliot, 1992 ; Desmurget et al. 1995) ont comparé les tâches avec et sans la vision du bras et les résultats ont montré une faible différence mais ont tout de même pu mettre en évidence une plus grande précision lors de la vision continue du membre. En plus des résultats obtenus dans cette expérience, certains auteurs ont trouvé une automaticité dans ce type d'ajustement du mouvement avec la main dans une tâche de « pointing » lors d'un « double step paradigm ». C'est-à-dire que lorsqu'un changement de cible se réalisait dans certains cas et que les sujets se dirigeaient préalablement vers un côté, les ajustements se sont réalisés sans une détection consciente d'une perturbation de leur part. Ainsi, un des articles qui avait déjà mis en évidence cette particularité des ajustements en ligne sans la vision du bras (Prablanc, 1986) a pu être confirmée. Lors de ces études, il se pouvait que les sujets se trouvent dans une totale obscurité mais les corrections en ligne ont néanmoins pu être exécutées. Ces faits montrent l'importance des systèmes proprioceptifs qui permettent non seulement une estimation du corps dans l'espace, mais aussi dans ce cas d'adapter le mouvement du bras lors d'un geste se dirigeant vers une cible visuelle. Concernant le thème de l'automaticité dans l'article de Prablanc et ses collaborateurs (1986), cette caractéristique avait déjà pu être observée cette caractéristique lorsqu'un changement de la cible se produisait pendant une saccade oculaire du sujet. Dans ces cas-là, les sujets n'étaient pas conscients du changement de la cible (phénomène de suppression saccadique) mais des ajustements ont toutefois pu être observés, ce qui confirme une autorégulation des corrections faites pendant la réalisation de ces tâches motrices.

2.3.2 Type de feedback dans les tirs de penalty

Nous avons mis en évidence l'importance des systèmes perceptifs et exécutifs du gardien pour anticiper la trajectoire du ballon. Cependant il est également important de relever le grand rôle qu'ont ces systèmes dans la tâche du tir de penalty depuis le point de vue du tireur. Comme nous avons pu le mentionner plus haut, il existe deux stratégies pour le tireur : une approche dépendante du gardien et une autre indépendante de celui-ci. Dans la première stratégie, nous pensons que le tireur a déjà auparavant une idée sur le côté où il veut placer le ballon. Néanmoins, le joueur attend la réaction du gardien pour confirmer son mouvement ou au contraire ajuste le mouvement pour tirer du côté opposé au gardien des cages. Pour cela le

tireur devra donc utiliser ses systèmes perceptifs, plus spécifiquement la vue, pour se baser sur les réactions du gardien et ajuster son exécution du mouvement avant le contact du ballon. D'un autre côté, le joueur peut adopter une stratégie indépendante du gardien ; c'est-à-dire qu'il choisit dès le départ la direction du tir et il ne se soucie pas des mouvements ou de la réaction du gardien avant le contact du ballon. Dans ce cas, le système visuel n'est pas utilisé pour ajuster le mouvement par rapport au gardien et le joueur doit simplement se concentrer à exécuter son plan moteur le plus précisément possible. Comme nous avons pu le mentionner, il ne faut toutefois pas oublier que dans le cas où un changement de direction se produit, les différents systèmes nécessaires aux ajustements nécessitent d'un temps minimal pour que l'exécution du nouveau mouvement se réalise de manière optimale.

Les tirs au football en général sont complexes et comptent beaucoup de facteurs à prendre en considération. On peut séparer les tirs au but en deux phases. La première s'agit de la course d'élan durant laquelle le joueur décide de quel côté il place le ballon. Si l'on se réfère à une stratégie dépendante du gardien, il utilise par conséquent les signaux visuels nécessaires afin de placer le ballon du côté libre du but. Par conséquent, cette phase se définit par un type de contrôle du mouvement en boucle fermée où durant sa course, le joueur ajuste son mouvement par rapport aux réactions du gardien. La deuxième phase serait celle du contact du pied avec ballon. Une fois que le joueur perd le contact du ballon, il n'a plus aucun contrôle sur son objectif et sa cible, même si par exemple il remarque tardivement que le gardien plonge du côté où il a placé le ballon. Si on compare ce mouvement avec les tâches que nous avons mises en place pour les expériences, les exercices de « reaching » sont des gestes contrôlés en boucle fermée jusqu'à l'arrivée de l'objectif. En effet, une fois l'ajustement réalisé (changement de côté) les sujets pouvaient néanmoins utiliser ces systèmes correcteurs afin d'arriver dans l'objectif en question. Par conséquent, il était très difficile que le joueur n'arrive pas jusqu'à l'objectif souhaité. En revanche, il est très facile pour un joueur de football de rater son tir. L'essai est jugé comme raté quand le ballon est dévié par le gardien et que la balle n'entre pas dans les buts ou encore quand le joueur tire en dehors des limites de la cage. Si l'on se réfère maintenant à la tâche de « response » qui se définissait par une réaction à deux types de choix (gauche ou droite) par rapport à différents stimuli visuels, le penalty se réfère plus à cette dernière tâche de ce point de vue car l'essai était perçu comme faux si le sujet réagissait du mauvais côté. Aucune correction était possible une fois le mouvement exécuté, comme lorsque le tireur de penalty perd le contact du pied avec le

ballon. Cependant, ce qui nous intéresse plus particulièrement sont les ajustements pendant l'exécution du tir avant le contact du ballon.

2.4 « Pointing » vs. « Anti-pointing »

2.4.1 Automaticité des tâches de « pointing » :

Une autre étude (Johnson, Van Beers & Haggard, 2002) a encore une fois voulu prouver l'effectivité des corrections sans la nécessité de conscience pendant une tâche de « pointing » mais aussi lors d'un mouvement d'« anti-pointing ». Dans ce dernier type de mouvement, le sujet doit atteindre le côté opposé au stimulus visuel alors que dans certains cas, encore une fois, un changement de direction a lieu.

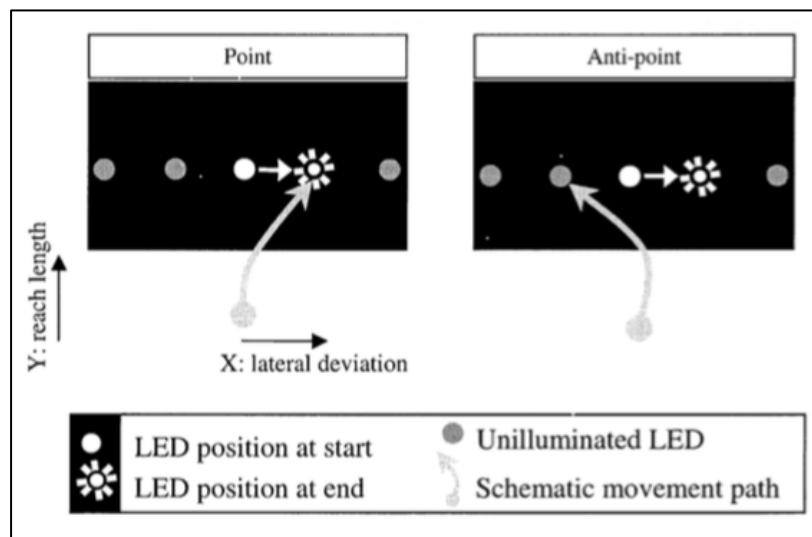


Figure 2: Tâches de « point » et « anti-point » (Johnson H., Van Beers R.J., Haggard P., p.452)

Bien que l'on ait pu observer des corrections très rapides lors d'un mouvement de « pointing », celles-ci ont été éliminées dans un quart des essais lors d'un mouvement qui cherchait à aller du côté inverse au signal. De plus, lorsqu'ils ont tout de même pu observer ce type d'ajustements lors de cet exercice, ceux-ci se sont fait la plupart du temps du côté du stimulus visuel. Les auteurs de l'article ont demandé aux sujets de reproduire consciemment la courbe qu'ils venaient de réaliser dans les deux exercices où un éventuel changement de direction pouvait arriver. Les résultats ont montré que les courbes réalisées pendant l'exercice et celles reproduites consciemment à postériori étaient très ressemblantes, avec tout de même des erreurs d'estimation du chemin emprunté par rapport à une surévaluation ou sous-évaluation de la courbe lors du changement de direction. Cependant, il est important de

constater que lors des exercices d' « anti-pointing » beaucoup d'erreurs ont été faites ; les sujets se dirigeaient du côté du signal visuel au lieu de cibler le côté opposé au stimulus. Cependant, les auteurs de l'expérience en ont conclu que la prise de conscience dans l'exécution des ajustements lors d'un changement de direction, était bien présente très tôt. En effet, ils ont trouvé un délai de 36 ms entre la correction réalisée et la perception consciente de l'ajustement, alors qu'une étude plus ancienne (Castiello, Paulignan & Jeannerod, 1991) avait estimé ce temps à environ 300 ms. Cependant Johnson et ses collaborateurs admettent qu'il n'existe jusqu'à présent aucune méthode acceptée qui mesure la conscience motrice. Il est par conséquent difficile de dire si les mouvements d' « anti-pointing » présentent une prise de conscience, de plus que ceux-ci dévient souvent au départ du mouvement vers le mauvais côté.

2.4.2 Structures responsables des ajustements en ligne

Il a également été question de déterminer quelles sont les zones responsables lors de tâches de « pointing » qui nécessitent un ajustement pendant la réalisation de l'exercice. On a pu trouver dans la littérature des études cherchant cet objectif. Celles-ci ont pu constater que de tels mouvements sont contrôlés tant par des aires sensori-motrices corticales que sous-corticales. Un article (Day & Lyon, 2000) suggère plus particulièrement que les premières corrections sont contrôlées par des aires sous-corticales alors que les ajustements plus tardifs sont gérés par les régions corticales. Cependant, la plupart des études cherchant à déterminer les zones impliquées lors des ajustements ont pu mettre en évidence le cortex pariétal postérieur, qui serait indispensable pour ce type de tâche (Prablanc, Desmurget & Gréah, 2003). Une autre étude ayant le même objectif a souligné l'importance du sillon intrapariétal dans le cortex pariétal en perturbant cette zone à l'aide d'une stimulation magnétique transcrânienne avec un sujet sain. Il se trouve que cette stimulation générée artificiellement ne permettait pas les feedbacks en boucle fermée qui servaient au sujet d'ajuster le mouvement (Desmurget et al. 1999). Une autre méthode de mesure a été utilisée pour calculer l'activation des zones impliquées dans les ajustements en ligne par Connolly. Ce dernier a mesuré l'intensité de l'activité des zones du cerveau dans des tâches de « pointing » et « anti-pointing » à l'aide de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (Connolly, 2000). Les résultats montrent encore une fois une activation du cortex pariétal dans les aires postérieures et supérieures mais aussi une activation du cortex frontal uniquement pendant les mouvements de « anti-pointing ». D'autres zones plus spécifiques dans le cortex pariétal ont été trouvées lors de ces exercices. Une observation nous a semblé particulièrement

intéressante ; les mêmes zones étaient concernées dans les deux types de tâches sauf que dans la condition où le sujet vise le côté opposé à une cible (« anti-pointing »), d'autres aires du cerveau sont ajoutées aux zones actives pendant les ajustements. Il faut également noter qu'une autre partie du cerveau est importante pour les ajustements en ligne : le cervelet. Son rôle a souvent été associé au contrôle du feedback, plus particulièrement dans le contrôle visuel du mouvement (Stein, 1986).

3. Hypothèses de travail

En nous basant sur les études concernant les ajustements pendant l'exécution d'un mouvement lors d'un changement de direction, nous supposons que le temps nécessaire serait différent par rapport aux différents stimuli visuels. Nous avons surtout voulu le prouver en comparant les conditions d'anti-pointing (croix et gardien). Bien qu'ils aient le même objectif de se diriger ou réagir du côté opposé au stimulus, nous supposons que des systèmes additionnels et spécifiques seraient nécessaires pour l'exécution dans la condition se rapprochant le plus du tir de penalty. Nous avons également voulu confirmer les études précédentes concernant la différence entre les délais d'une réaction (« response ») et d'un ajustement pendant le déplacement en direction d'un objectif par rapport aux différentes conditions (« reaching »). Les hypothèses étaient donc les suivantes :

- Le temps nécessaire à un changement de direction après l'initiation d'un mouvement est différent d'un temps de réaction de choix demandant une réponse spécifique à différents stimuli visuels.
- Le temps de délai dans les tâches de « reaching » et « response » est relatif au type de stimulus perçu.

4. Méthodologie

4.1 Sujets :

24 sujets entre 22 et 29 ans ont participé à l'expérience dont 21 hommes et 3 femmes (moyenne d'âge : 24.29, écart-type : ± 1.92). Tous les sujets étaient des étudiants à l'université de Fribourg dont 21 étaient à ce moment-là étudiants en sport. Tous les sujets étaient droitiers et ont effectué la tâche sur l'écran tactile avec leur main droite.

4.2 Appareil :

Les tests se sont réalisés à l'Université de Fribourg dans une salle calme et adaptée à la situation. Les sujets étaient installés à une table et ont effectué les différentes tâches de « reaching » et « response » en position assise. Celles-ci ont été réalisées sur un écran interactif Wacom Cintiq 24 HD touch dont les dimensions de l'écran étaient de 518 mm x 324 mm avec une diagonale de 61 cm. La première image que les sujets pouvaient voir était la même. Il y avait tout d'abord une zone grise située au bas de l'écran, d'où chaque sujet devait commencer par placer le stylo mis à sa disposition. En haut de l'écran, le but était représenté par trois traits épais et à l'intérieur de celui-ci, le gardien était représenté au milieu du but. Deux carrés en pointillés délimitant les objectifs étaient situés à gauche et à droite du gardien (Figure 3). Les participants se sont servis d'un stylo tactile destiné à cet écran pour effectuer les différentes tâches motrices. Cet écran était relié à l'écran de l'ordinateur principal de l'expérimentateur, qui était installé à une autre table en face du sujet. Par conséquent, il pouvait contrôler la réalisation des exercices des sujets depuis son écran et si besoin donner rapidement des instructions. Des écouteurs étaient à la disposition des sujets pour qu'ils entendent le coup de sifflet qui signalait à chaque fois le début de chaque essai.

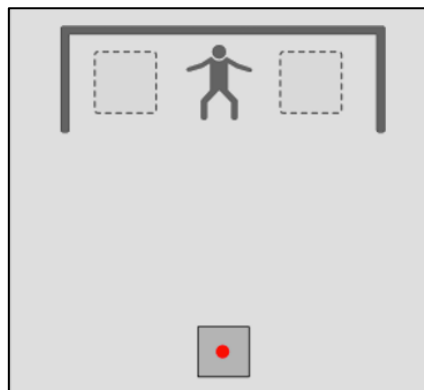


Figure 3: Image de départ des exercices

4.3 Procédure :

Les sujets sont passés individuellement à l'horaire fixé par l'expérimentateur. Une fois arrivés, chaque sujet était installé à la table et informé sur le contexte des exercices qu'il aurait à faire sur l'écran. Le responsable leur a expliqué à chacun d'entre eux qu'il s'agissait de faire des exercices avec leur main droite sur l'appareil dans la thématique du tir de penalty et qu'ils devraient réagir à différents stimuli visuels sous différentes conditions.

La première condition dans les exercices de « reaching » consistait à tirer un trait depuis le point de départ jusqu'à l'objectif vert qui était signalé d'un côté du gardien mais uniquement à partir du coup de sifflet. Une fois que le coup de sifflet retentissait, le sujet se dirigeait vers la zone marquée en vert mais dans certains cas, l'objectif signalé au départ changeait de côté une fois le mouvement initié. Il est important de souligner que dans cette condition, le gardien ne changeait pas de position mais uniquement le signal visuel en question. Dans ce cas, le sujet devait réagir le plus rapidement possible au changement de direction, ajuster son mouvement et se diriger vers le nouvel objectif. Les essais où un changement de cible s'effectuait étaient programmés de forme aléatoire. Par conséquent, le sujet ne pouvait pas savoir ni anticiper quand un déplacement de la cible se produirait. Une fois arrivé à la cible, le sujet se repositionnait dans la zone grise pour effectuer un nouvel essai.

La deuxième condition dans le même type de tâche consistait cette fois-ci de tirer un trait depuis le point de départ jusqu'à la cible opposée au signal visuel (anti-pointing). Le stimulus s'agissait d'une croix rouge qui apparaissait comme lors du premier exercice déjà avant le coup de sifflet. Une fois le coup de sifflet entendu, le sujet tirait un trait vers le côté opposé au stimulus visuel mais dans certains cas, la croix changeait de côté et le sujet devait ajuster le mouvement comme auparavant. (Figure 4) Dans cette condition, le gardien restait également immobile du début à la fin.

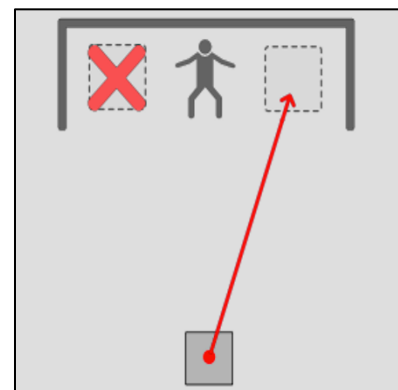


Figure 4: Deuxième condition de « reaching » : la flèche indique le chemin du sujet avec le stylo. Dans cet exemple, aucun changement de direction n'a eu lieu.

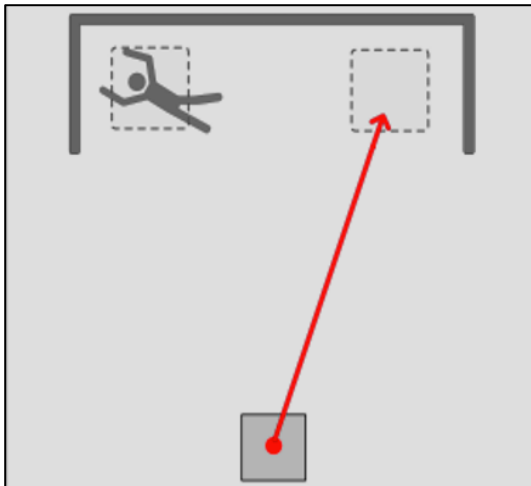


Figure 5: Troisième condition de « reaching » : la flèche indique le chemin du sujet avec le stylo. Dans cet exemple, aucun changement de direction n'a eu lieu.

La dernière condition était celle qui se rapprochait le plus à la situation du tir de penalty. Quand le sujet se situait dans le carré de départ, une des deux zones à côté du gardien s'allumait en vert une seconde, montrant le côté vers lequel le sujet devra tirer le trait puis la zone en vert s'éteignait. Une fois que le coup de sifflet retentissait, que le sujet commençait son mouvement. Le gardien représenté au milieu du but disparaissait et

réapparaissait momentanément dans une des deux zones de la cage. Cette condition est la seule où le positionnement du gardien change entre le début et

la fin de l'exercice. Par conséquent le sujet devait soit continuer son trait si le gardien plongeait du côté opposé par rapport à sa première intention (Figure 5), soit il devait changer de direction si le gardien du but apparaissait du côté signalé avant le mouvement.

Pour les exercices de « response », les mêmes signaux visuels ont été utilisés. C'est-à-dire le carré vert qui s'allumait pour la première condition (« target »), la croix rouge qui apparaissait d'un côté (« anti ») et finalement le gardien qui plongeait pour la dernière condition (« gk »). Comme lors du premier type d'exercice, les sujets commençaient par toucher la zone de départ avec le stylo. Ensuite, un coup de sifflet retentissait mais les sujets ne devaient pas réagir à celui-ci car il leur permettait simplement de les avertir du prochain signal visuel et de les rendre attentif. Par la suite, le stimulus visuel apparaissait dans un des deux carrés à l'intérieur du but. Par conséquent, les personnes devaient réagir au stimulus selon le type de condition. Il ne s'agissait pas cette fois-ci de tirer un trait vers la zone située dans le but, mais uniquement de tirer un trait le plus rapidement possible vers la droite ou la gauche de la zone grise (Figure 6). Comme dans les exercices de « reaching », la dernière condition était la seule où l'on pouvait observer un déplacement du gardien.

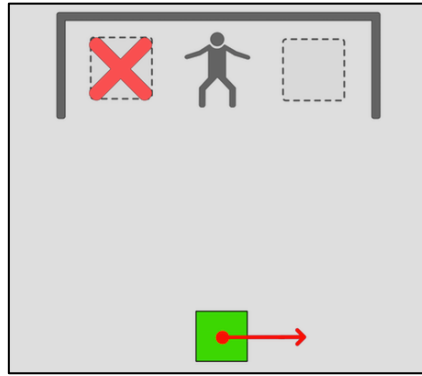


Figure 6: Exemple de tâche de « response » : le sujet tire un trait du côté opposé à la croix.

Les sujets ont été divisés en deux groupes de 12 pour varier l'ordre des exercices et le passage des conditions. Dans chaque groupe, les six premiers sujets du premier groupe ont commencé par les tâches de « reaching » et ont terminé par les exercices de « response », alors que les six derniers sujets ont commencé par le block de « response ». L'ordre des stimuli était aussi différent entre les sujets qui commençaient par le même block de tâches, l'ordre étant complètement contrebalancé entre les sujets. Une fois les 12 premiers sujets passés, le deuxième groupe a suivi le même ordre de passage des exercices que le premier groupe. C'est-à-dire qu'on avait une distribution symétrique des variables pour les deux groupes de sujets.

Avant de commencer les blocks d'exercices, le responsable des tests récoltait des informations concernant l'âge, le sexe du sujet et contrôlait que l'ordre du passage des stimuli correspondait (Annexe 1). Avant chaque condition d'exercice, un récapitulatif sous forme d'image était affiché à l'écran où chaque étape était expliquée au sujet visuellement (Annexe 2) puis le responsable des tests expliquait chacune d'elles oralement au sujet. Après ces éclaircissements, le sujet passait à la phase d'entraînement où il pouvait s'habituer à la tâche et à la condition qui allait suivre. Cette étape consistait à faire environ une dizaine d'essais où un changement de direction était présent, cependant la perturbation du côté se faisait de forme aléatoire pour éviter que le sujet anticipe le côté. Après celle-ci la phase de test commençait. Pour les tâches de « reaching », cette étape durait le temps que le programme exécute 12 changements de directions dont 6 de gauche à droite et 6 dans le sens opposé. Bien que les perturbations par rapport à la première cible étaient définies de façon aléatoire, le nombre d'essais entre les conditions restait constant. Quant aux exercices de « response », il y avait également 12 essais qui étaient pris en compte pour l'enregistrement des données, dont 6 vers la gauche et les 6 autres vers la droite.

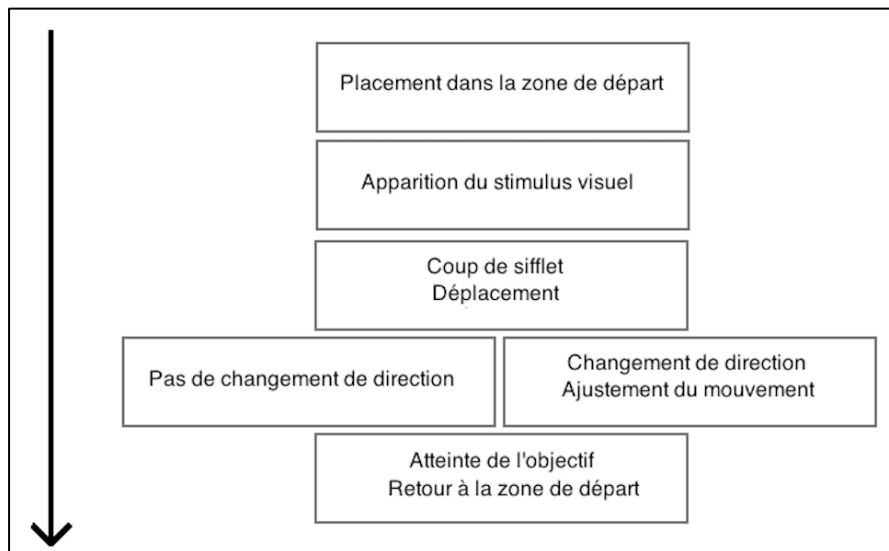


Figure 7: Etapes principales des tâches de « reaching »

4.4 Enregistrement des données :

Le programme des expériences était directement lancé depuis l'ordinateur de l'expérimentateur. Le logiciel a calculé les différents temps à partir de l'apparition du signal visuel, alors que le mouvement était en cours d'exécution. C'est-à-dire que lors des exercices de « reaching », le sujet traçait une trajectoire depuis le point de départ en gris jusqu'à la case correspondante dans le but. Cette trajectoire a donc été enregistrée en mettant en évidence le temps où un changement se produisait à partir de l'initiation du mouvement du sujet. À noter que, les données brutes ont été préalablement enregistrées dans un fichier XML (informations sur la scène, informations sur le sujet, trajectoires et temps de passage au différents points important). Nous avons ensuite extrait de ce

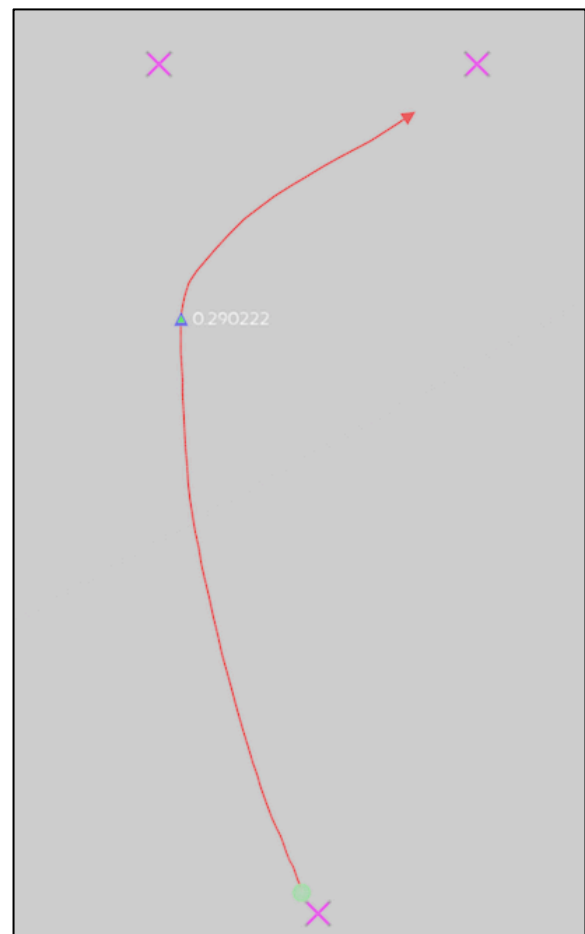


Figure 8: Trajectoire enregistrée lors d'un changement de direction de gauche à droite.

premier format, les données qui nous intéressaient dans le cadre de notre problématique à savoir les informations concernant le temps auquel le stimulus était généré après le début du

mouvement, le temps que le sujet prenait du point A au point B mais surtout le temps de réaction à partir du stimulus visuel (Annexe 4). Les temps de réaction mis en évidence à partir de l'apparition des signaux visuels, donnés pendant le mouvement, ont été calculés par rapport aux trajectoires des lignes tracées par les sujets et plus particulièrement grâce aux tangentes des courbes. Ces tangentes nous ont permis de déterminer le moment exact d'un changement de direction réalisé par la main du sujet à partir de l'instant où le stimulus visuel apparaissait après le début du mouvement. Chacune des trajectoires a été par la suite contrôlée manuellement par les responsables de l'expérience afin d'être sûr qu'aucune erreur avait été transcrite à partir du code du logiciel. Cela représente une erreur moyenne de 0 à 10% selon les sujets. Il est important de noter que dans certains cas nous n'avons pas retenu les données.

Concernant les données des exercices de réaction (« response »), le même principe a été réalisé. C'est-à-dire que les données étaient immédiatement enregistrées une fois que le block d'exercices était finalisé. Cette fois-ci, les données qui nous intéressaient étaient simplement les temps de réaction par rapport aux différents stimuli visuels. Les temps étaient trouvés par rapport aux courbes d'accélération des sujets. Les différents pics ou points d'accélération étaient encore une fois rapportés au temps à partir de l'apparition du signal visuel. (Figure 9)

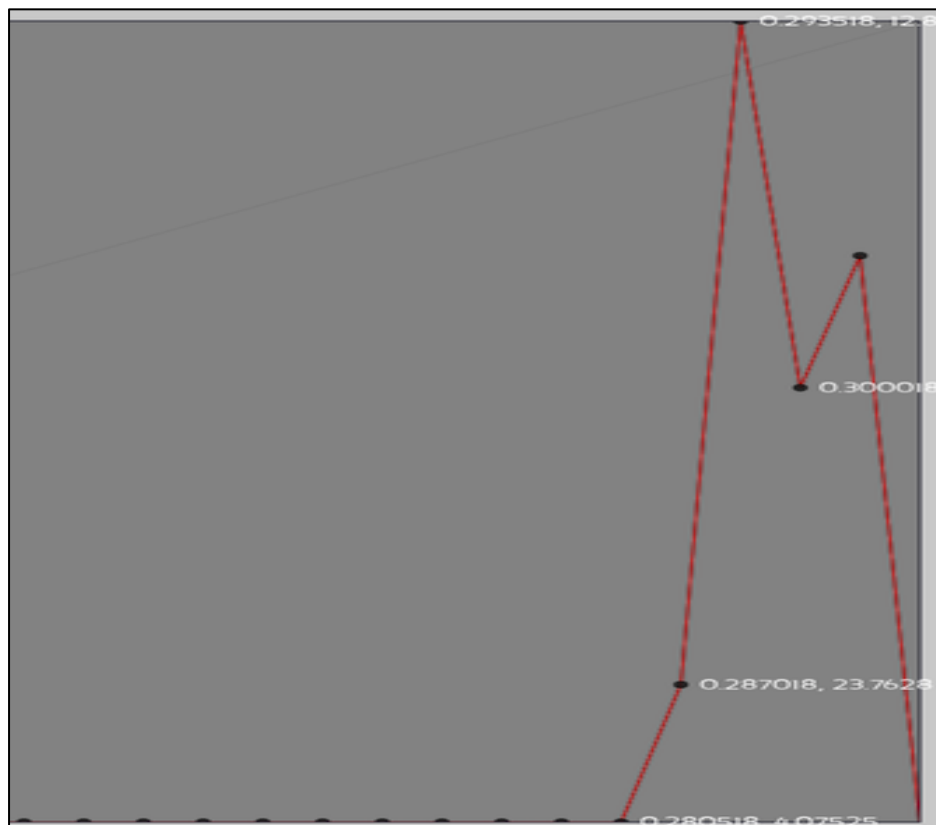


Figure 9: Temps de réaction enregistrés par le programme lors d'une tâche de « response » par rapport aux accélérations faites par la main du sujet à partir de l'apparition du signal.

Par la suite, ces images ont été prises une par une et contrôlées manuellement afin de nous assurer que les temps de réaction inscrits dans le fichier étaient ceux qui nous intéressaient et non pas des mouvements involontaires de la part des sujets. Ce type d'erreur était facilement identifiable car la courbe prise en compte par erreur était souvent plus faible que les suivantes (Annexe 4). Dans ce cas-là, les données étaient réécrites manuellement dans le fichier enregistré pour être utilisées plus tard pour les analyses. Cela représente une erreur moyenne de 0 à 27% selon les sujets.

5. Résultats

5.1 Moyenne des résultats des sujets

Les valeurs obtenues par les sujets aux différentes conditions, dans les deux types de tâches sont affichées dans le tableau 1.

La moyenne des résultats des sujets lors d'une tâche de « reaching » avec une cible comme stimulus visuel (« target ») est de 0.275 secondes \pm 0.035.

Dans ce même type de tâche, la moyenne des sujets lors d'un exercice où ils devaient arriver jusqu'à l'objectif opposé à la croix (« anti ») est de 0.278 secondes \pm 0.023.

La dernière condition où les sujets devaient arriver jusqu'à l'objectif opposé où apparaissait un gardien (« gk ») montre une moyenne de 0.270 secondes \pm 0.030.

Ainsi, le temps d'ajustement lors du changement de direction de la cible dans une tâche de « reaching », est de la condition la plus rapide à la plus lente : la condition du gardien, la condition de la cible et la condition de la croix.

Pour les tâches de réaction aux différents stimuli (« response »), la moyenne des sujets lorsqu'ils ont du réagir du même côté de la cible (« target ») est de 0.289 secondes \pm 0.040.

La moyenne des résultats où les sujets ont du réagir le plus rapidement possible du côté opposé à une croix (« anti ») est de 0.308 \pm 0.043.

Finalement, la moyenne lorsque les sujets ont réagi du côté opposé où le gardien plongeait (« gk ») est de 0.286 secondes \pm 0.042.

Par conséquent, la moyenne des sujets dans chaque condition nous informe que les temps de réaction lors d'une tâche de réaction en position statique sont du plus court au plus long: la condition du gardien, la condition de la cible et finalement la condition de la croix.

Tableau 1: Résultats moyens des sujets

Condition	Cible		Croix		Gardien	
Tâche	"Reaching"	"Response"	"Reaching"	"Response"	"Reaching"	"Response"
Moyenne (s)	0.275	0.289	0.278	0.308	0.270	0.286
\pm SD (s)	0.035	0.040	0.023	0.043	0.030	0.042
Médiane (s)	0.274	0.290	0.277	0.304	0.267	0.288

5.2 Analyses :

5.2.1 Comparaison des moyennes entre les conditions :

Un test Anova a été réalisé afin d'uniquement comparer les temps obtenus entre les trois types de conditions par les sujets. Une différence significative a été obtenue en comparant les trois variables [$F(2, 46) = 8.067$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.04$]. Les tests post-hoc ont montré que dans la condition de la croix (« anti »), les sujets ont été significativement plus lents (moyenne : 293 ms) que dans les deux autres conditions (moyennes de 278 ms et 282 ms pour les conditions du gardien « gk » et de la cible « target ») (Figure 10).

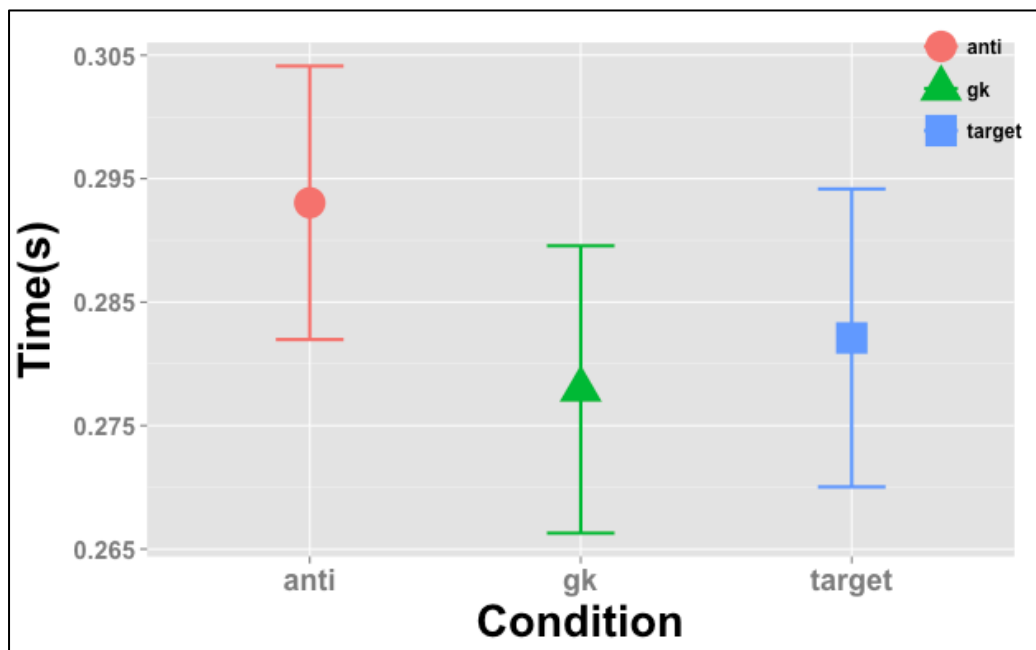


Figure 10: Comparaison des trois types de stimuli visuels : différence significative entre la condition de la croix (« anti ») et les deux autres (« gk » et « target »).

5.2.2 Comparaison des moyennes entre les types d'exercice:

Par la suite, une analyse entre les deux types de tâches a également été réalisée afin de comparer uniquement les deux blocks d'exercices que les sujets devaient réaliser pendant l'expérience. Nous avons trouvé une différence significative entre les variables suite à un test Anova [$F(1, 23) = 13.128$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.10$]. Les tests post-hoc ont indiqué que la moyenne des sujets dans une tâche de « reaching » était significativement plus rapide (moyenne : 274 ms) que celle observée pour un temps de « response » (moyenne : 295 ms) (Figure 11).

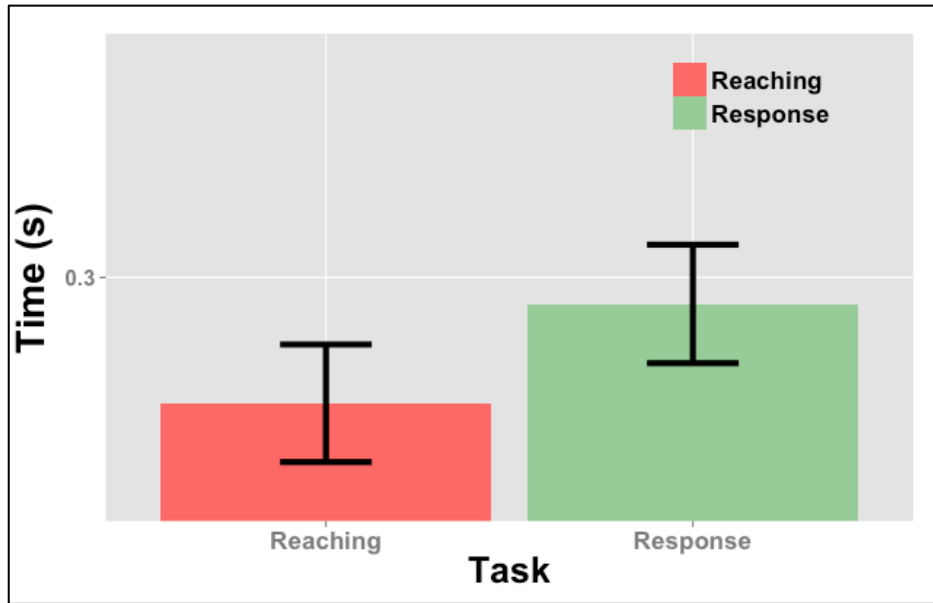


Figure 11: Comparaison entre le type de tâche : moyenne de « reaching » est de 274 ms contre une moyenne de 295 pour les tâches de « response ».

5.2.3 Interaction entre les tâches et les conditions:

L'analyse de l'interaction entre les différentes tâches et conditions était également significative [$F(2, 46) = 5.284, p < 0.01, \eta^2 = 0.01$]. Les tests post-hoc (Annexe 5) nous ont permis de mettre en évidence que les sujets étaient significativement plus lents dans la condition « anti » dans une tâche de « response » (moyenne : 308 ms) que dans toutes les autres conditions qui ne différaient pas les unes des autres. (Figure 12).

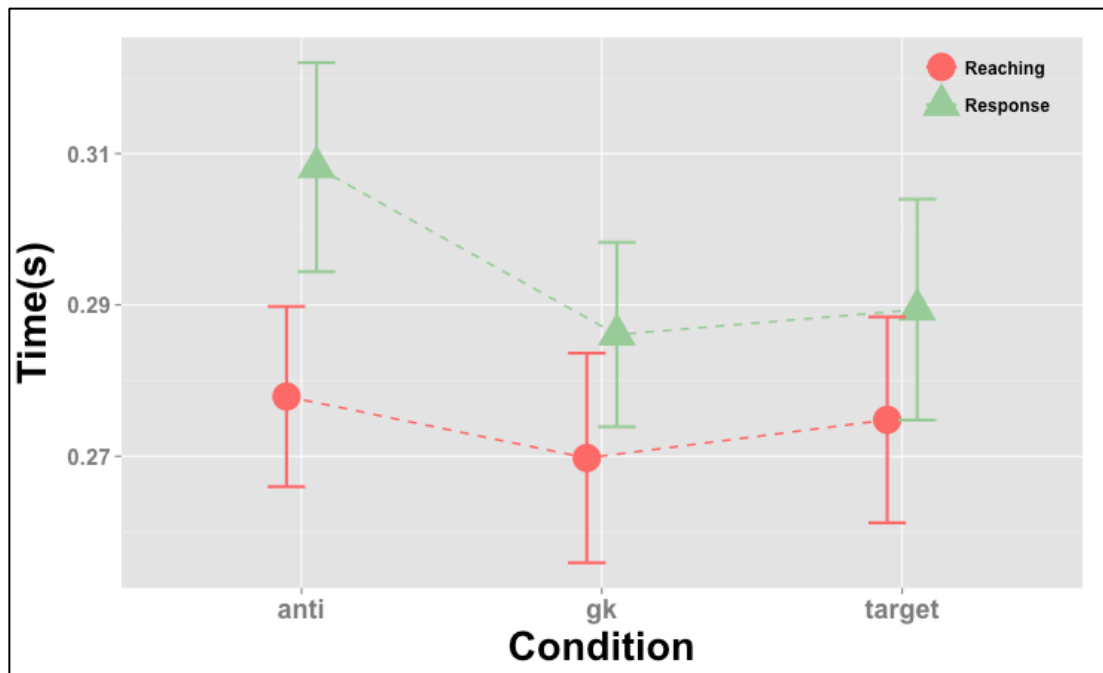


Figure 12: Interaction entre les conditions dans les différents types de tâche. La condition « anti » dans une tâche de « response » se démarque de toutes.

5.2.4 Variabilité du temps entre les deux types d'exercices :

Ayant mis en évidence la condition « anti » dans le block d'exercices de « response », nous avons estimé judicieux de comparer la variabilité entre les temps obtenus dans les deux exercices afin de vérifier que la différence dans cette condition est plus grande dans une tâche de « response » que dans une tâche de « reaching ». Nous avons trouvé une différence de variabilité significative entre les variables [$F(1, 23) = 7.622$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.08$]. L'écart-type moyen des tâches de « reaching » est en effet plus faible (moyenne=30 ms) que celui des tâches de « response » (moyenne=42 ms) (Figure 13)

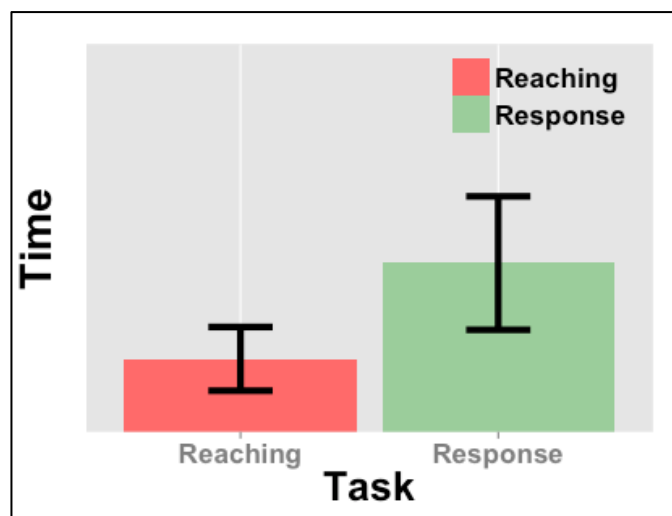


Figure 13: Ecart-type moyen entre le type de tâche : différence de 12 ms

5.2.5 Analyse dissociée

Nous avons également dissocié les résultats de « response » et les données obtenues dans une tâche de « reaching ». C'est-à-dire que nous avons réalisé deux tests Anova indépendants. Nous avons commencé par comparer uniquement les conditions dans une tâche de « response » et avons trouvé une différence significative entre la condition « anti », qui montrait un délai de réaction plus long (moyenne= 293 ms), et les deux autres conditions (moyennes de 278 ms et 282 ms pour les stimuli visuels du gardien et de la cible). [$F(2, 46) = 11.237$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.07$]. N'ayant pris cette fois-ci que les données des tâches d'ajustements pendant l'exécution d'un mouvement, nous n'avons pas trouvé de différence significative entre les conditions. Par conséquent, nous pouvons dire que la condition « anti » ne diffère que lors d'une tâche de « response ». (Figure 14)

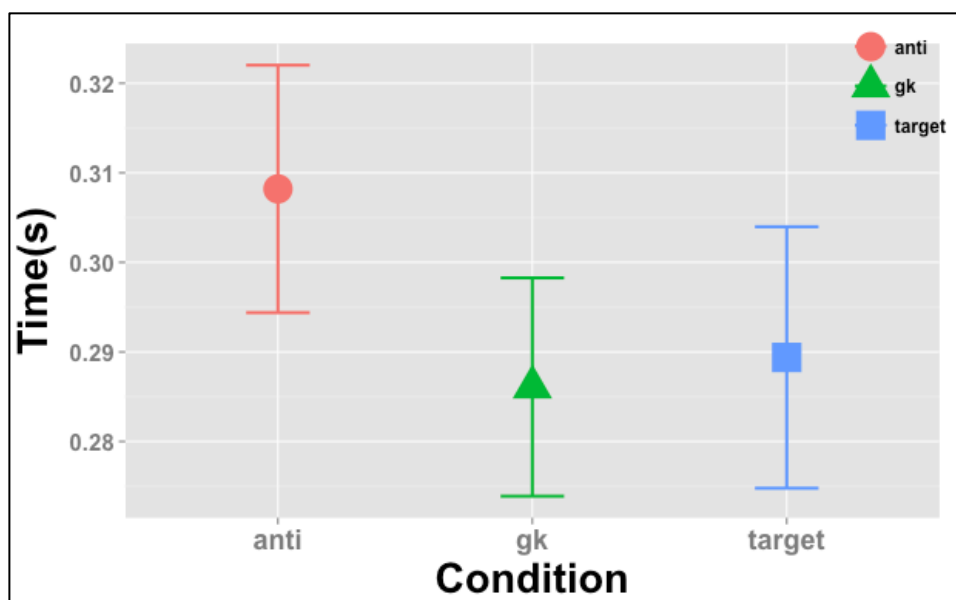


Figure 14 : Résultats des temps de « response » par rapport aux conditions. Une différence significative a été trouvée entre la condition « anti » et les deux autres.

Nous avons également analysé la variabilité des conditions dans les deux types de tâches indépendamment, bien que nous n'ayons trouvé qu'une différence significative des conditions dans les tâches de « response ». Nous n'avons trouvé aucune différence significative concernant la variabilité dans les exercices de « response » (Annexe 5). La variabilité entre les conditions est en effet constante dans ce type de tâche. Ceci nous permet de mettre encore plus en valeur la condition « anti » qui différait des autres conditions dans ce type d'exercice.

Par conséquent, la différence significative entre les moyennes des conditions dans ce type de tâche n'est pas due à une différence de la variabilité des conditions. (Figure 15)

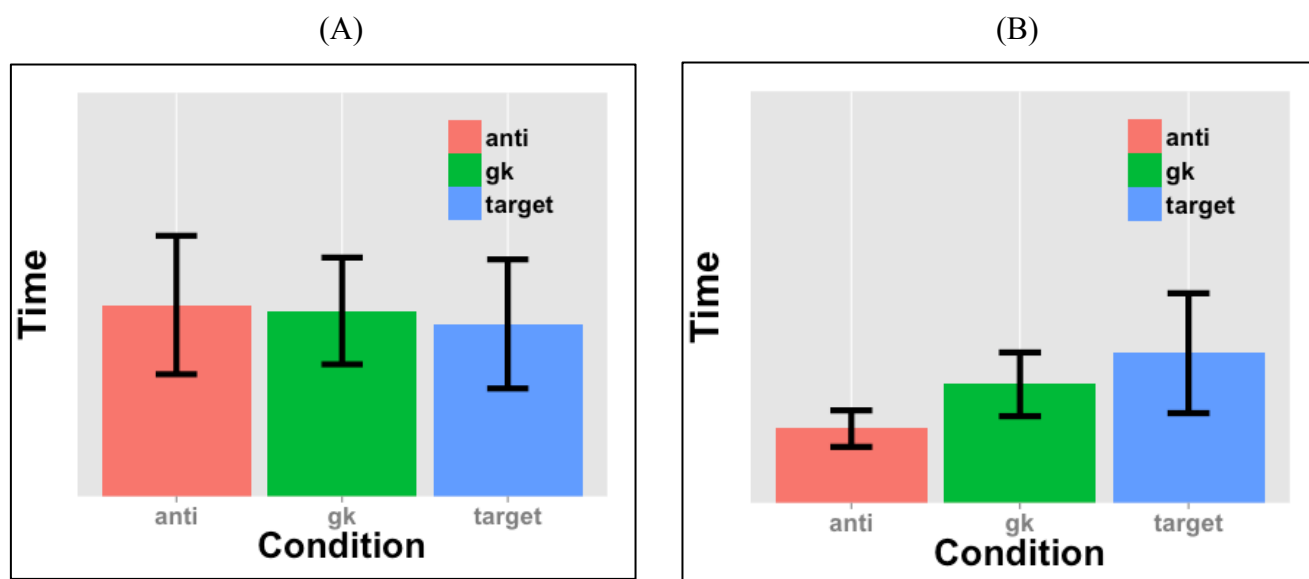


Figure 15: Moyenne de la variabilité entre les conditions dans une tâche de « response » (A) et une tâche de « reaching » (B). La même échelle a été utilisée pour les deux graphiques.

6. Discussion :

Comme nous avons pu le voir dans les résultats, une différence significative a pu être établie dans les résultats obtenus par les sujets entre les types de tâches de « reaching » et « response ». Si l'on se réfère à la première étude de Day et Lyon (2000) que nous avons évoquée dans l'introduction, s'intitulant « Voluntary modification of automatic arm movements evoked by motion of a visual target », les auteurs n'avaient pas trouvé de différence entre les deux types d'exercices qui ressemblaient fortement aux nôtres. La différence que nous avons trouvée est certainement due à la méthodologie employée car l'étude mentionnée testait bien les sujets dans une tâche de réaction à deux choix mais ils rajoutaient un changement de position de la cible, alors que la nôtre ne le faisait pas. Nous le pensons d'autant plus que Reisenbach commentait dans la discussion de son article de 2009 « Seeing the hand while reaching speeds up on-line responses to a sudden change in target position », que les résultats obtenus dans leur test contrôle montraient une différence entre les délais dans une tâche d'ajustement en ligne et une tâche de réaction à choix par rapport à un même stimulus. En effet, les temps de « réponse » étaient presque deux fois plus lents que les ajustements faits pendant l'exécution d'un exercice de « reaching ». D'après ces références et les résultats obtenus dans nos analyses, nous pouvons confirmer notre hypothèse de travail qui énonçait que les temps d'un ajustement pendant l'exécution d'un mouvement « reaching » et le temps de réaction de choix par rapport à un stimulus simple « response » est différent.

Nous pensons judicieux de revenir également au thème des structures impliquées lors des différentes tâches. Comme nous l'avons dit ci-haut, Day et Lyon (2000) n'ont pas trouvé de différence de temps entre les tâches mais ils avaient trouvé une différence dans les temps de latence lors d'une tâche de réaction quand le signal visuel passait de gauche à droite et de droite à gauche. Dans leur discussion, ils expliquaient que cela était dû au transfert d'information entre les deux hémisphères du cerveau. Comme tous les sujets qu'ils ont testés étaient droitiers, le délai était plus long lorsque le signal visuel passait à gauche. Après ces affirmations, Day a confirmé son hypothèse à l'aide de Brown dans l'article de 2001 « Evidence for subcortical involvement in the visual control of human reaching ». Effectivement, ils ont testé un patient atteint d'une malformation du corps calleux permettant l'échange d'informations entre les hémisphères. Ce dernier a montré des temps de réaction beaucoup plus longs que les sujets sains. Néanmoins, les auteurs n'ont pas pu trouver de

différence significative entre ce sujet malade et les autres personnes dans une tâche de « reaching ». En effet, les ajustements en ligne étaient réalisés de la même manière par les sujets. Cela veut donc dire que les corrections pendant l'exécution d'un mouvement sont contrôlées par des systèmes sous corticaux et par conséquent spécifiques à ce type de tâche. Ces affirmations se confirment avec les analyses que nous avons effectuées comparant les tâches et les conditions. Nous avons en effet trouvé une différence significative dans la condition « anti » uniquement dans un exercice de « response ». Ceci s'est confirmé lorsque nous avons comparé les écarts type des deux exercices, qui était plus grand pour les tâches de « response » que pour les tâches de « reaching ». Finalement nous avons effectué des analyses dissociées en séparant les résultats des sujets en groupes par rapport à la tâche motrice effectuée. Dans ce cas en particulier, nous avons uniquement trouvé une différence significative entre les conditions dans les exercices de réaction. Ainsi, nous avons pu mettre en évidence la condition « anti » dans le block de « response » uniquement. Cette condition était plus lente que les deux autres mais cette caractéristique n'était pas présente pour les tâches de « reaching ». Nous pouvons en conclure que les deux types d'exercices sont pris en charge par des systèmes de traitement d'informations différents. Ainsi, nous ne pouvons confirmer que partiellement l'autre l'hypothèse de travail, qui énonçait que le temps de délai dans les tâches de « reaching » et « response » était relatif au type de stimulus perçu. En effet, une différence significative entre des stimuli n'a été trouvée que pour le deuxième type de tâche (« response »).

Un autre point important à relever par rapport aux résultats obtenus est la différence entre la condition visuelle du gardien (« gk ») et la condition de la croix (« anti »). Comme nous venons de le remarquer plus haut, la seule condition qui diffère des autres est celle de la croix mais pourquoi est-ce que ces deux stimuli ne sont pas similaires ? Non seulement ils ne sont pas égaux par rapport au temps de réaction, mais les sujets réagissaient plus rapidement au signal visuel du gardien qu'aux signaux de la croix et de la cible, autant dans les tâches de corrections pendant la réalisation d'un mouvement que lors d'une réaction de choix simple (« response »). Si l'on prend pourtant une tâche de « response », les deux signaux visuels demandent le même type de réponse motrice : aller du côté opposée au stimulus. Ces résultats pourraient s'expliquer par une entraînabilité de réaction, de réponse à un type de stimulus mais également à la qualité du signal visuel perçu. En nous concentrant sur notre sujet de travail, qui est le tir de penalty, il serait d'autant plus intéressant car cela voudrait dire qu'un joueur de football pourrait diminuer le délai nécessaire entre le choix de la direction et le

contact avec le ballon tout en gardant une bonne précision. C'est-à-dire que même si le gardien plonge tardivement d'un côté, en supposant que le joueur puisse entraîner cette capacité à ajuster un mouvement en cours, le tireur aura assez de temps pour changer la direction de son tir et placer le ballon du côté opposé au gardien. Comme susmentionné, la raison de cette différence entre les deux stimuli qui demandent d'aller du côté opposé au signal pourrait également être due à la qualité du stimulus. Il est important de souligner que des chercheurs ont testé le type de signal visuel en changeant la visibilité de la cible (Izawa & Schadmehr, 2008) et les résultats ont montré que la précision variait en fonction de l'incertitude de la cible. En considérant toutes ces informations, nous pouvons donc également confirmer la deuxième hypothèse de ce travail qui annonçait que le temps nécessaires aux deux tâches motrices dépend du type de stimulus perçu.

Ayant trouvé des résultats confirmant nos deux hypothèses de travail, nous encourageons à appliquer ce type d'expérience dans une tâche plus complexe et plus particulièrement dans celle du tir de penalty. Non seulement il serait intéressant de faire des tests pour confirmer les résultats obtenus par rapport aux différents types de signaux visuels mais il serait judicieux de vérifier l'effet d'un entraînement dans l'exercice de tirs au but et contrôler si les joueurs sont capables de diminuer le temps nécessaire aux adaptations pendant la réalisation du mouvement. De plus, nous sommes conscients que les exercices effectués dans notre expérience ont été faits à la main sur un écran tactile en position assise. Les gestes effectués étaient également considérés comme simples. Finalement, il faut également souligner le fait qu'après le changement de direction perçu, le sujet pouvait ajuster son mouvement jusqu'à l'arrivée de l'objectif alors que dans un tir de penalty, les ajustements sont impossibles après la fin du contact du pied avec le ballon. De ce fait, il nous paraît d'autant plus nécessaire d'appliquer de tests similaires aux nôtres dans une situation plus spécifique au football. Non seulement pour tester l'entraînabilité des temps d'ajustement, mais également pour tester si les différentes conditions utilisées dans notre expérience présentent des résultats similaires dans un mouvement complexe.

7. Bibliographie:

- Barrett, N.C & Glencross, D. J. (1989) Response amendments Turing manual aiming movements to double-step targets, *Acta Psychologica*, 70, 205-217.
- Castiello, U., Paulignan, Y., Jeannerod M. (1991). Temporal dissociation of motor responses and subjective awareness. A study in normal subjects. *Brain*, 114, 2639–2655.
- Connolly, J., Goodale, A., Desouza, J., Menon, R., Vilis, T. (2000). A Comparison of frontoparietal FMRI activation during anti-saccades and anti-pointing. *Journal of Neurophysiology*, 84, 1645–1655.
- Day, B. L., Lyon, P. (2000). Voluntary modification of automatic arm movements evoked by motion of a visual target. *Experimental Brain Research*, 130, 159-168.
- Day, B. L., Brown, I.N. (2001). Evidence for subcortical involvement in the visual control of human reaching. *Brain*, 124, 1832-1840.
- Desmurget, M., Rossetti, Y., Prablanc, C., Stelmach, G. E., Jeannerod, M. (1995). Representation of hand position prior to movement and Motor variability. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 73, 262-272.
- Desmurget, M., Epstein, C. M., Turner, R. S., Prablanc, C., Alexander, G. E., Grafton, S. T. (1999). Role of the posterior parietal cortex in updating reaching movements to a visual target. *Nature Neuroscience*, 2, 563–567.
- Desmurget, M., Grafton, S. (2000). Forward modeling allows feedback control for fast reaching movements. *Trends in cognitive sciences*, 4, 423-431.
- Elliot, D., Proteau, L. (1992). *Vision and motor control*, Chapter 2: Intermittent versus continuous control of manual aiming movements (pp. 33-48). Amsterdam: Elsevier.
- Izawa, J., Schadmehr, R. (2008). On-line processing of uncertain information on visuomotor control. *The journal of neuroscience*, 28 (44), 11360- 11368.
- Johnson, H., Van Beers, R. J., Haggard, P. (2002). Action and awareness in pointing tasks. *Experimental Brain Research*, 146(4), 451-459.
- Latash, M. L. (2008). *Neurophysiological Basis of Movement*. (2nd ed.) Human Kinetics Publishers.

- Morya, E., Ranvaud, R., Pinheiro, W. M (2003). Dynamics of visual feedback in a laboratory simulation of a penalty kick, *Journal of Sports Sciences*, 21, 87-95.
- Prablanc, C., Pelisson, D., Goodale, M. A. (1986). Visual control of reaching movements without the vision of the limb. I. Role of retinal feedback of target position in guiding the hand. *Experimental Brain Research*, 62, 293-302.
- Prablanc, C., Martin, O. (1992). Automatic control during hand reaching at undetected two-dimensional target displacements, *Journal of Neurophysiology*, 67(2), 455-469.
- Prablanc, C., Desmurget, M., Gréa, H. (2003). Neural control of on-line guidance of hand reaching movements, *Progress in Brain Research*, 142, 155-170.
- Reichenbach, A., Thielscher, A., Peer, A., Bühlhoff, H.H., Bresciani, JP. (2009). Seeing the hand while reaching speeds up on-line responses to a sudden change in target position. *The Journal of Physiology*, 587, 4605-4616.
- Sarlegna, F. R., Mutha, P. K. (2015). The influence of visual target information on the online control of movements. *Vision Research*, 110, B, 144-154.
- Savelsbergh, G. J., Van der Kamp, J., Williams, A. M., Ward, P. (2002). Visual search, anticipation and expertise in soccer goalkeepers. *Journal of Sports sciences*, 20, 279-287.
- Stein, J.F. (1986) Role of the cerebellum in the visual guidance of movement. *Nature*, 323, 217-221.
- Van der Kamp, J. (2006). A field simulation study of the effectiveness of penalty kick strategies in soccer: Late alterations of kick direction increase errors and reduce accuracy. *Journal of Sports Sciences*, 24(5), 467-477.
- Werner, K. (1988). Penalty-kick strategies for shooters and goalkeepers, *Science and Football*, 489-492.
- Wood, G., Wilson, M. R. (2010). Gaze behaviour and shooting strategies in football penalty kicks: Implications of a keeper-dependent approach. *International Journal of Sport Psychology*, 41, 293-312.

8. Remerciements:

A l'issue de ce travail, je souhaite remercier sincèrement toutes les personnes qui ont contribué à cette recherche. Tout d'abord j'adresse un grand merci au Professeur Jean-Pierre Bresciani, qui a accepté que je prenne part à son groupe de recherche et qui m'a également aidé à adapter le thème des ajustements en ligne dans une situation de football. Je souhaite également remercier très fortement Monsieur Thibaut Le Naour d'avoir accepté de co-diriger ce mémoire mais également d'avoir permis de réaliser les expériences faites dans les phases de tests en mettant en place toute la méthodologie des exercices ainsi que la récolte des données. Ainsi, je tiens à leur exprimer ma gratitude pour leur disponibilité tout au long de ma thèse mais également de m'avoir conseillé, autant pour des questions d'organisation que pour la mise en valeur des résultats obtenus.

De plus, je profite de cette section pour exprimer ma reconnaissance envers les personnes ayant accepté de participer aux tests mis en place pour cette recherche. Sans leur adhésion à l'expérience, il n'aurait pas été possible de mettre en évidence les différents points concernant les ajustements réalisés pendant l'exécution d'un mouvement ni de proposer de futures recherches dans un environnement plus spécifique au tir de penalty au football.

9. Déclaration personnelle:

« Je, soussigné certifie avoir réalisé le présent travail de façon autonome, sans aide illicite quelconque. Tout élément emprunté littéralement ou mutatis mutandis à des publication ou à des sources inconnues, a été rendu reconnaissable comme tel. »

Lieu, date :

Signature :

10. Droits d’auteur:

« Je, soussigné reconnais que le présent travail est une partie constituante de la formation en Sciences du mouvement et du Sport à l’Université de Fribourg. Je m’engage donc à céder entièrement les droits d’auteur – y compris les droits de publication et autres droits liés à des fins commerciales ou bénévoles – à l’Université de Fribourg.

La cession à tiers des droits d’auteur par l’Université est soumise à l’accord du soussigné uniquement.

Cet accord ne peut faire l’objet d’aucune rétribution financière. »

Lieu, date :

Signature :

11. Annexes:

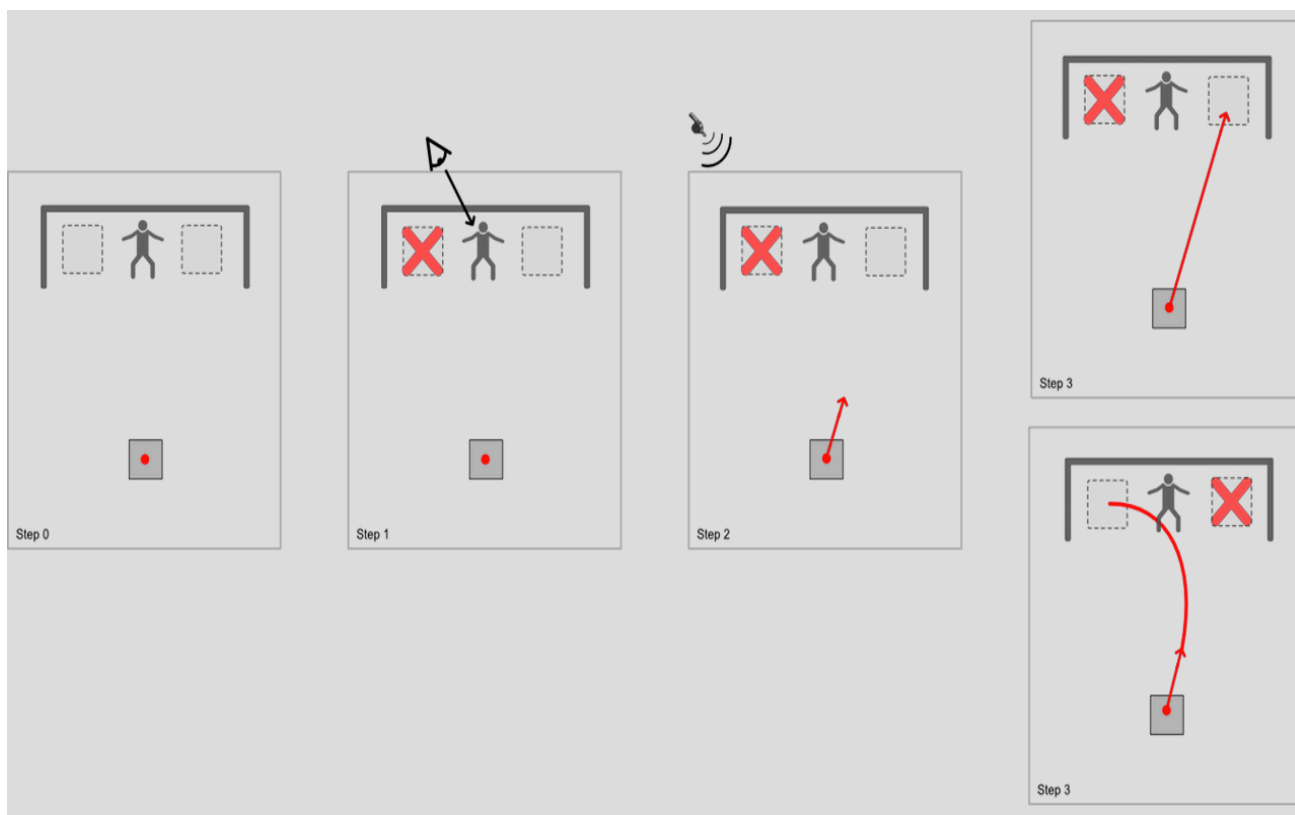
11.1 Annexe 1 : Données des sujets

N° du sujet	Main	Âge	Premier block effectué	Ordre conditions	Moyenne temps "Reaching" (s)	Moyenne temps "Response" (s)
1	Droitier	26	Reaching	0; 1; 2	0.334	0.285
2	Droitier	26	Reaching	0; 2; 1	0.269	0.277
3	Droitier	24	Reaching	1; 0; 2	0.270	0.253
4	Droitier	29	Reaching	1; 2; 0	0.298	0.366
5	Droitier	23	Reaching	2; 0; 1	0.268	0.290
6	Droitier	25	Reaching	2; 1; 0	0.243	0.287
7	Droitier	26	Response	0; 1; 2	0.274	0.306
8	Droitier	22	Response	0; 2; 1	0.298	0.322
9	Droitier	25	Response	1; 0; 2	0.221	0.250
10	Droitier	23	Response	1; 2; 0	0.300	0.299
11	Droitier	25	Response	2; 0; 1	0.253	0.242
12	Droitier	23	Response	2; 1; 0	0.328	0.314
13	Droitier	29	Reaching	0; 1; 2	0.268	0.307
14	Droitier	24	Reaching	0; 2; 1	0.251	0.269
15	Droitier	24	Reaching	1; 0; 2	0.263	0.284
16	Droitier	23	Reaching	1; 2; 0	0.255	0.292
17	Droitier	22	Reaching	2; 0; 1	0.251	0.291
18	Droitier	22	Reaching	2; 1; 0	0.243	0.298
19	Droitier	24	Response	0; 1; 2	0.262	0.281
20	Droitier	24	Response	0; 2; 1	0.329	0.343
21	Droitier	25	Response	1; 0; 2	0.263	0.281
22	Droitier	22	Response	1; 2; 0	0.271	0.312
23	Droitier	23	Response	2; 0; 1	0.293	0.284
24	Droitier	24	Response	2; 1; 0	0.271	0.336

Les moyennes de chaque sujet dans les deux tâches motrices sans prendre en compte la différence des temps entre les stimuli visuels. Dans la colonne de l'ordre des conditions, le « 0 » est la condition de la cible (« target »), le « 1 » la condition de la croix (« anti ») et le « 2 » la condition du gardien (« gk »).

11.2 Annexe 2 : Expérience

Récapitulatif précédent chaque condition



Ces images étaient affichées à l'écran avant chaque début d'exercice. Elles illustrent chaque étape de la condition en question. Dans cet exemple il s'agit du block de « reaching » dans la condition « anti ».

11.3 Annexe 3 : Résultats bruts des sujets par rapport aux conditions

« Reaching »

Condition	"Reaching"								
	Cible			Croix			Gardien		
	Moyenne (s)	±SD (s)	Médiane (s)	Moyenne (s)	±SD (s)	Médiane (s)	Moyenne (s)	±SD (s)	Médiane (s)
Sujet 1	0.322	0.038	0.310	0.353	0.033	0.343	0.326	0.033	0.317
Sujet 2	0.275	0.033	0.262	0.277	0.012	0.276	0.256	0.023	0.253
Sujet 3	0.287	0.019	0.286	0.256	0.038	0.255	0.267	0.033	0.255
Sujet 4	0.285	0.039	0.276	0.316	0.032	0.318	0.293	0.056	0.288
Sujet 5	0.287	0.026	0.281	0.267	0.021	0.265	0.250	0.035	0.250
Sujet 6	0.245	0.018	0.241	0.263	0.020	0.264	0.222	0.019	0.223
Sujet 7	0.296	0.035	0.304	0.261	0.020	0.258	0.264	0.023	0.268
Sujet 8	0.280	0.028	0.278	0.309	0.026	0.304	0.306	0.025	0.313
Sujet 9	0.235	0.025	0.232	0.225	0.035	0.233	0.204	0.037	0.203
Sujet 10	0.312	0.107	0.310	0.273	0.013	0.268	0.317	0.039	0.306
Sujet 11	0.234	0.074	0.245	0.271	0.016	0.273	0.254	0.037	0.253
Sujet 12	0.355	0.022	0.356	0.324	0.023	0.321	0.307	0.036	0.304
Sujet 13	0.260	0.018	0.258	0.268	0.026	0.264	0.276	0.019	0.276
Sujet 14	0.245	0.012	0.245	0.263	0.015	0.257	0.245	0.027	0.247
Sujet 15	0.246	0.033	0.248	0.282	0.022	0.278	0.262	0.014	0.264
Sujet 16	0.246	0.076	0.256	0.269	0.013	0.268	0.251	0.020	0.248
Sujet 17	0.250	0.023	0.251	0.264	0.015	0.263	0.239	0.014	0.241
Sujet 18	0.243	0.078	0.264	0.256	0.023	0.258	0.231	0.038	0.232
Sujet 19	0.251	0.023	0.247	0.258	0.025	0.255	0.278	0.021	0.278
Sujet 20	0.335	0.024	0.341	0.325	0.022	0.322	0.329	0.033	0.316
Sujet 21	0.261	0.018	0.257	0.266	0.014	0.268	0.262	0.034	0.252
Sujet 22	0.282	0.045	0.266	0.259	0.022	0.262	0.273	0.032	0.268
Sujet 23	0.287	0.020	0.288	0.286	0.032	0.292	0.306	0.067	0.285
Sujet 24	0.275	0.017	0.275	0.279	0.026	0.280	0.260	0.011	0.262
Moyenne	0.275	0.035	0.274	0.278	0.023	0.277	0.270	0.030	0.267

« Response »

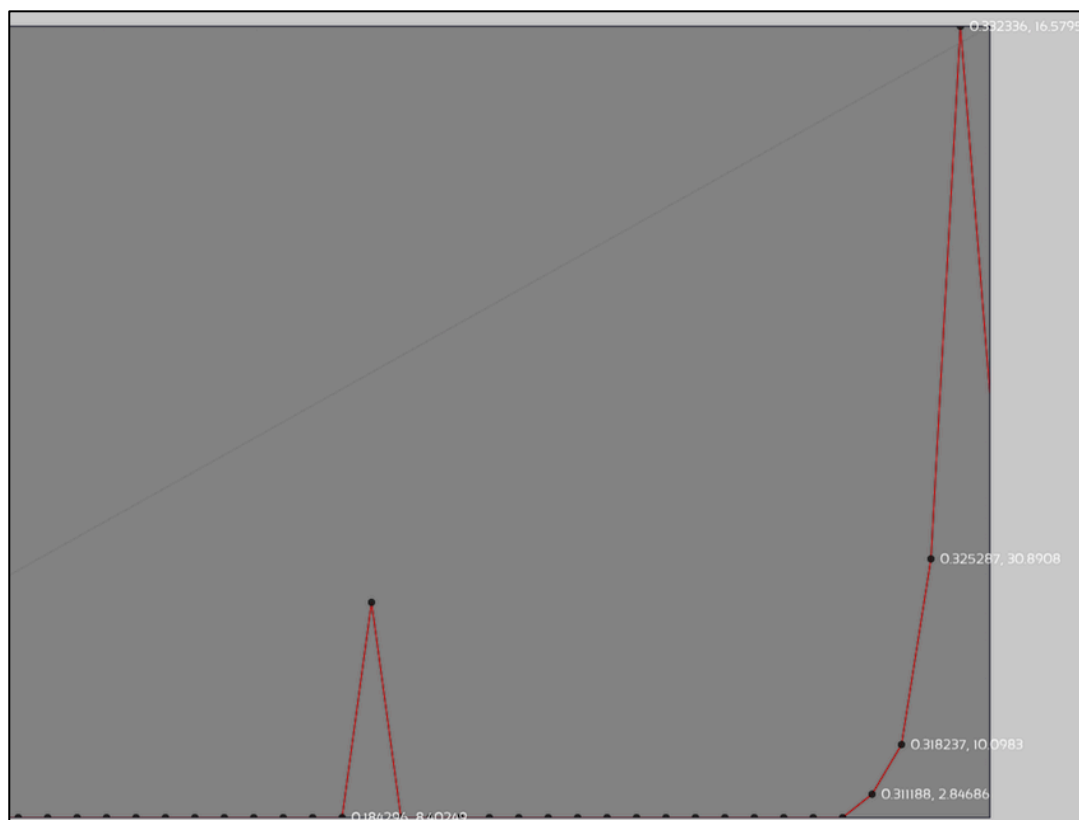
Condition	"Response"								
	Cible			Croix			Gardien		
	Moyenne (s)	±SD (s)	Médiane (s)	Moyenne (s)	±SD (s)	Médiane (s)	Moyenne (s)	±SD (s)	Médiane (s)
Sujet 1	0.277	0.023	0.278	0.297	0.014	0.301	0.281	0.025	0.286
Sujet 2	0.272	0.027	0.279	0.290	0.047	0.281	0.268	0.095	0.285
Sujet 3	0.264	0.033	0.272	0.253	0.029	0.247	0.244	0.034	0.243
Sujet 4	0.400	0.084	0.407	0.402	0.118	0.390	0.297	0.050	0.302
Sujet 5	0.276	0.029	0.266	0.300	0.036	0.302	0.292	0.049	0.312
Sujet 6	0.290	0.056	0.281	0.309	0.022	0.309	0.263	0.028	0.262
Sujet 7	0.311	0.043	0.297	0.320	0.034	0.309	0.286	0.026	0.289
Sujet 8	0.306	0.023	0.304	0.324	0.034	0.320	0.335	0.041	0.342
Sujet 9	0.244	0.021	0.245	0.252	0.023	0.254	0.253	0.028	0.253
Sujet 10	0.290	0.026	0.285	0.296	0.099	0.309	0.311	0.040	0.309
Sujet 11	0.234	0.018	0.239	0.256	0.034	0.252	0.237	0.027	0.235
Sujet 12	0.314	0.108	0.332	0.335	0.112	0.344	0.292	0.097	0.319
Sujet 13	0.292	0.097	0.316	0.330	0.069	0.309	0.300	0.025	0.299
Sujet 14	0.268	0.025	0.259	0.288	0.019	0.288	0.252	0.082	0.270
Sujet 15	0.269	0.025	0.270	0.305	0.034	0.295	0.277	0.040	0.271
Sujet 16	0.275	0.026	0.270	0.312	0.033	0.298	0.291	0.032	0.282
Sujet 17	0.276	0.021	0.271	0.336	0.019	0.336	0.262	0.028	0.267
Sujet 18	0.292	0.045	0.294	0.306	0.024	0.309	0.297	0.023	0.298
Sujet 19	0.264	0.086	0.274	0.306	0.042	0.300	0.273	0.052	0.262
Sujet 20	0.335	0.032	0.331	0.336	0.026	0.330	0.358	0.032	0.354
Sujet 21	0.283	0.027	0.280	0.291	0.045	0.267	0.269	0.021	0.270
Sujet 22	0.322	0.044	0.324	0.307	0.036	0.309	0.305	0.063	0.300
Sujet 23	0.263	0.020	0.260	0.293	0.054	0.291	0.297	0.048	0.301
Sujet 24	0.328	0.021	0.330	0.354	0.033	0.353	0.325	0.027	0.320
Moyenne	0.289	0.040	0.290	0.308	0.043	0.304	0.286	0.042	0.289

11.4 Annexe 4 : Enregistrement des données

Données brutes dans le block « reaching » enregistrées dans un fichier Txt.

name	block	intentionOrder	stimulusTime	reactionTimeFromStimulus	reachingTime
Sub.1	target	lr	0.441956	0.250977	0.842957
Sub.1	target	lr	0.507019	0.264893	0.937012
Sub.1	target	lr	0.419983	0.232971	0.807983
Sub.1	target	rl	0.398987	0.254272	0.871948
Sub.1	target	rl	0.427002	0.292969	0.914001
Sub.1	target	rl	0.407043	0.25647	0.829041
Sub.1	target	lr	0.390991	0.216187	1.151
Sub.1	target	lr	0.419006	0.210938	0.791992
Sub.1	target	rl	0.425964	0.264954	0.870972
Sub.1	target	lr	0.564026	0.25	1.01599
Sub.1	target	rl	0.384033	0.244141	0.843018
Sub.1	target	lr	0.406006	0.234009	0.843018
Sub.1	target	rl	0.421021	0.28125	0.950989
Sub.1	anti	lr	0.556	0.276306	1.015
Sub.1	anti	lr	0.421005	0.27124	0.835999
Sub.1	anti	lr	0.348999	0.2621	0.785995
Sub.1	anti	lr	0.362	0.241257	0.742004
Sub.1	anti	rl	0.390991	0.264679	0.850006
Sub.1	anti	rl	0.412994	0.27713	0.901001
Sub.1	anti	rl	0.398987	0.259186	0.82901
Sub.1	anti	rl	0.378021	0.258179	0.809021
Sub.1	anti	lr	0.348999	0.293945	0.807983
Sub.1	anti	rl	0.399017	0.241974	0.844025
Sub.1	anti	rl	0.447998	0.267792	0.893005
Sub.1	anti	lr	0.388	0.260193	0.815002
Sub.1	gk	lr	0.434021	0.214844	0.850006
Sub.1	gk	lr	0.377014	0.23938	0.987
Sub.1	gk	lr	0.411987	0.226563	0.834961
Sub.1	gk	lr	0.411011	0.245422	0.820007
Sub.1	gk	lr	0.424988	0.242432	0.85498
Sub.1	gk	rl	0.497009	0.263489	0.971008
Sub.1	gk	rl	0.562988	0.236877	0.971985
Sub.1	gk	rl	0.397034	0.250854	0.827026
Sub.1	gk	rl	0.503967	0.256531	0.948975
Sub.1	gk	rl	0.519958	0.242004	0.920959
Sub.1	gk	lr	0.475952	0.233276	0.877991
Sub.1	gk	rl	0.705017	0.221436	1.10004

Exemple d'erreur lors de l'enregistrement des données du block « response »



Dans cet exemple le temps de la première accélération n'a pas été pris en compte car elle était trop petite et une plus grande accélération pouvait être observé plus tard.

11.5 Annexe 5 : Analyses statistiques

Test Anova

```

Error: Subject:Condition
      Df  Sum Sq  Mean Sq F value   Pr(>F)
Condition  2 0.005855 0.0029273    8.067 0.000993
Residuals 46 0.016692 0.0003629

Condition ***
Residuals
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Error: Subject:Response
      Df  Sum Sq  Mean Sq F value   Pr(>F)
Response  1 0.01497 0.014973   13.13 0.00143 **
Residuals 23 0.02623 0.001141

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Error: Subject:Condition:Response
      Df  Sum Sq  Mean Sq F value
Condition:Response  2 0.001787 0.0008936    5.284
Residuals          46 0.007780 0.0001691
      Pr(>F)
Condition:Response 0.0086 **
Residuals
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Test post-hoc : « Bonferroni »

	ANTI_REACHING	GK_REACHING	TARGET_REACHING	ANTI_RESPONSE	GK_RESPONSE
GK_REACHING	0.85279	-	-	-	-
TARGET_REACHING	1.00000	1.00000	-	-	-
ANTI_RESPONSE	0.00132	0.00077	0.00419	-	-
GK_RESPONSE	1.00000	0.13331	1.00000	0.01101	-
TARGET_RESPONSE	1.00000	0.24644	0.75930	0.00025	1.00000

Analyse dissociée :

Analyse de la variabilité :

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Condition	2	0.00014	0.0000680	0.102	0.903
Residuals	69	0.04585	0.0006645		

Aucune différence significative concernant la variabilité dans le groupe « response »

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Condition	2	0.001999	0.0009993	3.737	0.0288 *
Residuals	69	0.018452	0.0002674		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Différence significative concernant la variabilité dans le groupe « reaching »