

Table des matières

1. Résumé.....	3
2. Introduction.....	4
3. Le feedback.....	5
3.1 Définition.....	5
3.2 Focus du feedback.....	5
3.3 Feedbacks intrinsèque et extrinsèque.....	6
3.4 Feedback <i>online</i> et <i>offline</i>	6
3.5 Le feedback vidéo.....	7
3.6 Le feedback vidéo virtuel interactif (FVVI).....	8
3.7 Etudes sur le sujet du FVVI.....	9
3.8 L'apprentissage classique de la passe au football américain.....	11
4. Expérience.....	12
4.1 But du travail.....	12
4.2 Méthode.....	13
4.3 Hypothèses de recherche.....	16
5. Les résultats.....	17
5.1 Résumé des méthodes d'analyse.....	17
5.2 Résultats des comparaisons de mouvement 2.b.....	18
5.3 Résultats du lancer contre cible 2.c.....	24
6. Discussion.....	30
6.1 Points forts et limites du travail.....	30
6.2 Portée de l'étude et perspectives futures.....	32
6.3 Comparaisons des résultats avec d'autres travaux.....	33
7. Conclusion.....	33
8. Bibliographie.....	34
9. Déclaration personnelle.....	36
10. Droits d'auteur.....	36

1. Résumé

Ce travail a pour objet l'apprentissage moteur par feedback vidéo virtuel interactif. Cela signifie que les apprenants (sujets de l'étude) vont apprendre un mouvement, ici la passe au football américain, dans un environnement virtuel. La première étape de l'expérience a été de capturer le mouvement en question réalisé par un expert, *quarterback* du club de football américain de Fribourg, pour former le mouvement de référence.

La seconde étape consiste à proposer aux apprenants différents feedbacks virtuels : tous portent une combinaison avec des marqueurs pour pouvoir être modélisés en 3D sur un écran placé devant eux, comme l'a été le mouvement de référence. Le principe est de suivre du mieux possible le mouvement de référence qui est affiché sur l'écran et qui défile à 5 vitesses différentes : 20%, 40%, 60%, 80% et 100% de la vitesse réelle.

Deux groupes avec des feedbacks différents ont été formés pour ce travail : l'un des groupes ne voit que le mouvement de référence à l'écran, que ce soit pour le feedback direct (Online) ou différé (Offline). Les sujets appartenant au deuxième groupe se voient superposés au mouvement de référence en direct et différé.

Un troisième groupe, le groupe contrôle, fait aussi parti de l'expérience, mais ne reçoit aucun feedback lors de l'entraînement.

Deux types d'analyses des résultats seront ensuite proposés pour montrer si ces derniers sont significatifs ou non et si l'une des méthodes se distingue de l'autre par son efficacité : les résultats du lancer sur une cible et ceux de la différence entre le mouvement de référence et celui des participants de l'étude.

2. Introduction

Un sportif qui s'entraîne est un sportif qui veut progresser. L'entraînement a effectivement pour but principal d'améliorer les caractéristiques motrices et/ou cognitives de l'athlète.

La technologie évoluant, il paraît logique que nous l'utilisions dans le domaine du sport afin d'optimiser le rapport temps d'entraînement/progression et de trouver de nouvelles méthodes pour rendre plus efficace la préparation d'un athlète. La réalité virtuelle est aujourd'hui une méthode que l'on peut utiliser pour progresser : pouvoir comparer virtuellement, et en 3D, son propre mouvement à celui d'un sportif d'élite évoluant dans le même sport que soi-même peut effectivement permettre une nette progression dans l'apprentissage d'un mouvement spécifique.

Le sport choisi pour réaliser cette étude est le football américain ; très connu aux USA, celui-ci n'est que très peu pratiqué en Suisse, et même plus largement en Europe. L'intérêt de ce choix réside dans le fait que la grande majorité des sujets potentiels n'ont jamais touché à un ballon de football américain : tous ont donc, à peu chose près, le même niveau pour la gestuelle du lancer dans ce sport spécifique.

La première partie de ce travail sera théorique. En effet, il semble important de comprendre les particularités du feedback que nous transmettons aux sujets pendant l'entraînement du mouvement. Celui-ci est en fait une association de différents feedbacks dont disposent les apprenants pour améliorer leur performance : feedback direct (online) et différé (offline), ainsi que feedback vidéo simplifié en 3D.

La partie concernant les résultats viendra par la suite pour terminer sur la discussion et la conclusion : les résultats obtenus sont-ils probants ou non ?

3. Le feedback

3.1 Définition

On peut définir le feedback comme suit : « représente l'information concernant la différence entre l'état d'un objectif et la performance »¹. Il sert donc à diminuer les différences entre la prestation de l'apprenant et le mouvement ou le résultat optimal. Le feedback est donc d'une grande importance lors de l'entraînement : c'est effectivement lui qui va permettre à l'apprenant de faire moins d'erreur en ayant la possibilité de se comparer à ce que l'on attend de lui.

3.2 Focus du feedback

Comme nous venons de le voir, le feedback peut avoir comme référence le résultat de l'action de l'apprenant, ou le mouvement de ce dernier – le processus – qui permet d'acquérir la gestuelle adéquate. Tous deux se complètent et ont leurs avantages en fonction du sport de l'apprenant et aux types de mouvements.

Le premier d'entre eux, focalisé sur le résultat, est plus efficace lorsque le résultat est visible par l'apprenant ; ainsi, un joueur de basketball, de football, ...etc. peuvent facilement observer l'aboutissement de leur gestuelle de tir respectivement au panier ou au goal. C'est d'ailleurs la conclusion de l'étude menée par ROTHSTEIN et ARNOLD (1976)².

Le feedback centré sur le processus de l'apprenant serait quant à lui bien plus efficace pour des sports dans lesquels les athlètes ne peuvent appréhender le résultat de leur gestuelle facilement comme, par exemple, la gymnastique. La même étude de ROTHSTEIN et ARNOLD (1976)³ ainsi que celle de Buekers (1995)⁴ nous amènent effectivement à cette conclusion.

¹ Schmidt, R.A., 1993, *Apprentissage moteur et performance*. Paris: Vigot.

² ROTHSTEIN, A.L., & ARNOLD, R.K., 1976, *Bridging the gap: Application of research on videotape feedback and bowling. Motor skills: theory into practice*, 1, 36-61.

³ Ibid.

⁴ Buekers, M.J, 1995, L'apprentissage et l'entraînement des habiletés motrices et sportives. In J. Bertsch, et Le Scanff, C. (Éd.), *Apprentissages moteurs et conditions d'apprentissage* (p. 27-47). Paris: Presses universitaires de France.

Il semble donc que ces deux focus du feedback conviendraient pour notre étude sur l'apprentissage de la passe au football américain : une cible à toucher montrerait à l'apprenant si le résultat : « toucher la cible » a été atteint ou non. Mais la technique de lancer avec tout ce qui est biomécanique du mouvement ne peut être observée que par le feedback du processus : angulation de l'épaule, rotation du bassin, ...etc. Ces deux feedbacks seront donc utilisés lors de notre étude.

3.3 Feedbacks intrinsèque et extrinsèque

La différence de ces deux feedbacks réside dans la manière, pour l'apprenant, de recevoir le feedback. En effet, et comme le montre l'utilisation de ces deux termes spécifiques, le feedback intrinsèque va être reçu par l'apprenant de lui-même ; il s'agit de : « la conscience personnelle de l'influence de ses actions et pensées sur le résultat ou sur le déroulement d'une action »⁵. Ce sont donc majoritairement nos sens qui sont utilisés pour se représenter l'action que nous venons d'accomplir, ce qui diffère avec le deuxième type de feedback.

Celui-ci provient d'informations émises par des auxiliaires extérieurs : entraîneurs, tierce personne, vidéo, ...etc. ; bref, tout ce qui ne provient pas de l'apprenant lui-même, d'où l'appellation « focus extrinsèque ». On peut d'ailleurs parler de feedback « augmenté ». Le feedback virtuel que nous donnons aux apprenants lors de cette étude correspond donc à ce genre de feedback.

3.4 Feedback online et offline

Le feedback peut être reçu par l'apprenant à différent moment de son entraînement : pendant la gestuelle (feedback online ou simultané) et après celle-ci (feedback offline ou différé).

Ces deux temps diffèrent sur ce qu'ils apportent à l'athlète ; le feedback simultané serait bénéfique pour la coordination segmentaire comme le montre l'étude de Swinnen, Lee, Verschueren, Serrien & Bogaerds (1997)⁶.

⁵ Schmidt, R.A. & Lee, T.D., 2005, *Motor control and learning : A behavioral emphasis*. Champaign: Human kinetics Publisher, 302-304.

⁶ Swinnen, S.P., Lee, T.D., Verschueren, S., Serrien, D.J., & Bogaerds, H. Interlimb, 1997, *coordination learning and transfer under different feedback conditions*. *Human Movement Science*, 16, 749-785.

Les études de Austermann Hula, Robin, Ballard, & Schmidt (2008)⁷ et Ranganathan & Newell (2009)⁸, quant à elles, montrent que le feedback différé est utile pour laisser l'apprenant acquérir le mouvement de manière intrinsèque (voir C. Feedbacks intrinsèque et extrinsèque).

Considérant que ces deux temps pour donner les feedbacks à l'apprenant peuvent être bénéfiques pour les sujets de notre étude dans leur apprentissage du mouvement de la passe au football américain, ils seront tous deux utilisés pour cette étude.

3.5 Le feedback vidéo

Comme dit dans l'introduction, l'utilisation de la technologie pour optimiser l'entraînement des apprenants est un aboutissement logique de l'évolution des moyens mis à disposition.

Le feedback vidéo est l'objet d'une foule d'articles et d'études voulant démontrer ses bienfaits sur l'entraînement d'un sportif.

Comme le dit Bernard Baumberger dans son article : « feedback vidéo : quatre questions clés »⁹, cette méthode semble très efficace pour l'apprentissage de mouvements particuliers :

« Les résultats pour les deux mouvements montrent que voir une vidéo de démonstration ou un feed-back de son propre mouvement permet à l'élève d'améliorer sa performance même sans les instructions du maître d'éducation physique. »¹⁰

Il semblerait aussi que le feedback vidéo rendrait obsolète le feedback verbal ; le feedback vidéo suffit à l'apprenant pour constater ses fautes et les corriger de lui-même. Comme le montre Starek and McCullagh (1999)¹¹ dans leur étude, s'observer soi-même pourrait corriger

⁷ Austermann Hula, S.N., Robin, D.A., Ballard, K.J., & Schmidt, R.A., 1997, *Effects of feedback frequency and timing on acquisition retention and transfer of speech skills in acquired apraxia of speech. Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 51, 1088-1113.

⁸ Ranganathan, R., & Newell, K.M., 2009, *Influence of Augmented Feedback on Coordination Strategies. Journal of Motor Behavior*, 41(4), 2008, 317-330.

⁹ Bernard Baumberger, 2013, « feedback vidéo : quatre questions clés », IN *revue de la société pédagogique Hep Vaud*, no19, p. 48-49.

¹⁰ Ibid., p. 48.

¹¹ Starek, J., & McCullagh, P., 1999, *The effect of self-modeling on the performance of beginning swimmers. The sport psychologist*, 13(8), 269-287.

notre mouvement de manière plus bénéfique qu'en observant une autre personne réaliser ce même mouvement, bien que cette dernière méthode ait aussi prouvé une certaine efficacité.

On peut rajouter à cela la conclusion de l'étude de Ahmad Arbabi and Maliheh Sarabandi (2016)¹² qui montre que l'utilisation d'un feedback vidéo de l'apprenant lui-même combiné à celui d'un expert obtient le meilleur résultat qu'un feedback vidéo de l'un ou de l'autre.

3.6 Le feedback vidéo virtuel interactif (FVVI)

Voici ce que cette appellation désigne :

« Nous estimons que le FVVI pourrait se résumer de la sorte : retour d'information (par projection sur un écran) d'une performance réelle d'un sujet sous forme d'un Avatar digitale trois dimensions (3D) [...] qui reproduit cette même performance dans le même laps de temps mais dans une scène virtuelle où nous lui juxtaposons un expert virtuel, ou *ghost*, (modèle de performance digital 3D) qui effectue le mouvement en simultanément [...] ». ¹³

Dans notre étude, le sujet doit suivre les mouvements de l'expert virtuel, aussi appelé « VEM » pour « *virtual expert modeling* », autant que possible pour se familiariser avec la technique du lancer. L'apprenant a différentes manières de recevoir le feedback : online, c'est-à-dire pendant la performance, et offline, après cette dernière (cf. III D.).

On a pu constater que ces deux timings de feedback sont utiles pour le sujet, mais la grande différence réside dans l'attention qu'il leur porte. En effet, le feedback online n'est pas évident à analyser puisque le sujet doit se concentrer non seulement sur ce qu'il voit à l'écran, mais aussi sur le mouvement qu'on lui demande de réaliser, ce qui peut parfois diminuer l'attention du sujet sur le feedback instantané ; d'où l'utilisation de feedback différé, qui lui est donné après la réalisation de la gestuelle et permet donc une focalisation complète de l'apprenant sur sa propre performance passée ; il pourra donc plus facilement repérer et

¹² Ahmad Arbabi and Maliheh Sarabandi, 2016, *EFFECT OF PERFORMANCE FEEDBACK WITH THREE DIFFERENT VIDEO MODELING METHODS ON ACQUISITION AND RETENTION OF BADMINTON LONG SERVICE*, IN *Sport Science 9 Suppl 2: 41-45 Faculty of Physical Education and Sports Science, University of Zabol, Iran.*

¹³ Thomas Devaud, 2016, « Apprentissage du Mawashi-geri par la réalité virtuelle », Travail de Master de l'université de Fribourg non publié.

corriger ce qu'il estime être faux en comparant son mouvement à celui de référence. Il paraît donc nécessaire d'allier feedback online et offline pour garantir un meilleur apprentissage.

3.7 Etudes sur le sujet du FVVI

Plusieurs études qui ont des implications pour la nôtre ont récemment été menées sur l'entraînement virtuel. La première d'entre elles, « *Real-time modulation of visual feedback on human full-body movements in a virtual mirror: development and proof-of-concept. Journal of neuroengineering and rehabilitation* »¹⁴, montre que les sujets peuvent s'identifier facilement à l'avatar virtuel créé et ainsi pouvoir apprendre en fonction des mouvements qu'ils voient sur l'écran. Cette étude est d'autant plus importante pour mon travail qu'un des feedbacks donnés aux sujets de l'étude ne le montre uniquement que le « VEM » ; ce n'est donc qu'à travers leur proprioception qu'ils peuvent s'entraîner en suivant les mouvements du « VEM » et se rendre compte de leurs éventuelles erreurs gestuelles. Cette étude montre donc que les informations transmises par le feedback, via l'avatar ou le « VEM », sont utilisables par l'apprenant pour un entraînement.

L'étude : « Toward "Pseudo-Haptic Avatars": Modifying the Visual Animation of Self-Avatar Can Simulate the Perception of Weight Lifting. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, 20(4), 654-661 »¹⁵ est aussi intéressante pour s'assurer que le feedback que nous transmettons aux sujets est viable. En effet, elle permet de montrer que le sujet est capable non seulement de s'identifier pleinement à l'avatar virtuel projeté sur l'écran, mais aussi à s'adapter à ce qu'ils voient à travers la réalité virtuelle. Les chercheurs qui ont mené cette expérience ont effectivement joué sur les feedback qu'ils transmettaient aux sujets, en biaisant la réalité (espace de l'expérience, exagération des mouvements exécutés, angulation de certaines articulations), pour observer si oui ou non ces derniers seraient affectés dans la

¹⁴ Roosink, M., Robitaille, N., McFadyen, B. J., Hébert, L. J., Jackson, P. L., Bouyer, L. J., & Mercier, C., 2015, *Real-time modulation of visual feedback on human full-body movements in a virtual mirror: development and proof-of-concept. Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 12(1), 1.

¹⁵ Gomez Jauregui, D. A., Argelaguet, F., Olivier, A. H., Marchal, M., Multon, F., & Lecuyer, A. Toward, 2014, "Pseudo-Haptic Avatars": Modifying the Visual Animation of Self-Avatar Can Simulate the Perception of Weight Lifting. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, 20(4), 654-661.

réalité. Les résultats ont été probants et démontrent bien que les sujets sont capables de s'identifier à l'avatar et de s'y adapter, ce qui rend le FVVI efficace.

Une autre étude : « *Training for Physical Tasks in Virtual Environments: Tai Chi* »¹⁶ montre que la surabondance d'informations lors de l'entraînement n'amène au final rien de plus à l'apprenant. Pour cette expériences, les chercheurs ont effectivement donné différents types de feedbacks avec énormément d'indications visuels que le sujet avait du mal à suivre. C'est pour cela que les résultats entre les participants qui ont eu d'importants feedbacks visuels ne sont pas meilleurs que ceux qui en ont eu de plus sélectifs. Cela conforte l'idée du feedback simplifié que nous utilisons dans notre étude : le sujet n'a effectivement à se concentrer que sur son avatar et/ou le « VEM » - cela dépend du groupe dont il fait partie – et rien de plus ; il n'y a pas d'élément extérieur dans la scène virtuelle, mise à pire la cible qu'il doit atteindre.

Pour notre travail, nous utilisons uniquement un feedback visuel. L'étude « *A Virtual Coaching Environment for Improving Golf Swing Technique* »¹⁷ favorise justement ce genre de retour sur la performance des athlètes. En effet, les connaissances sont subjectives et interprétée différemment selon la personne. Il en va de même pour les connaissances motrices ; il faut donc trouver le moyen de transmettre un savoir intuitivement, et c'est justement ce que l'on peut faire grâce au FVVI. L'expérience sur l'apprentissage du swing au golf mettait aussi en scène l'apprenant, via un avatar placé dans une scène virtuelle, avec un « VEM » juste à côté de lui pour montrer le mouvement d'un swing « parfait ». Le sujet peut alors corriger les erreurs qu'il remarque et que le programme lui montre en comparant son mouvement à celui du « VEM ». Cette étude montre donc que l'on peut apprendre et corriger un mouvement grâce au FVVI, ce qui est encourageant pour notre étude.

¹⁶ Chua, P. T., Crivella, R., Daly, B., Hu, N., Schaaf, R., Ventura, D., & Pausch, R., 2003, *Training for physical tasks in virtual environments: Tai Chi*. In *Virtual Reality, Proceedings*. IEEE (pp. 87-94). IEEE.

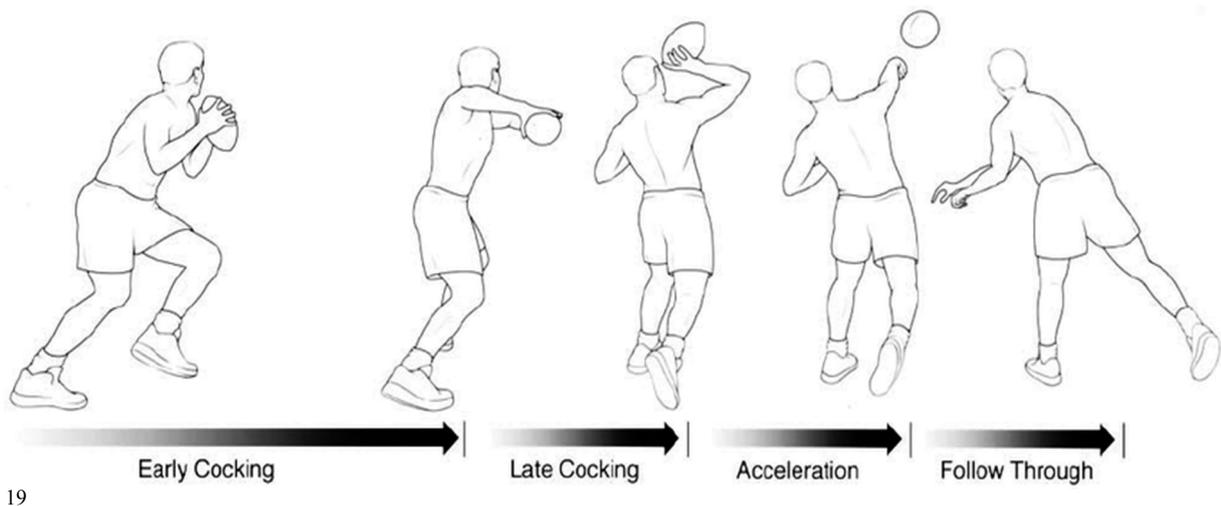
¹⁷ Kelly, P., Healy, A., Moran, K., & O'Connor, N. E., 2010, *A virtual coaching environment for improving golf swing technique*. In *Proceedings of the 2010 ACM workshop on Surreal media and virtual cloning* (pp. 51-56). ACM.



Une étude a été faite sur un logiciel d'apprentissage moteur : « *YouMove* »¹⁸. Il contient différents types de feedback visuels : miroir, mouvement guidé (FVVI), posture guidée (FVVI), démonstration ; ce qui nous intéresse le plus, c'est que l'un des modes d'entraînement fait directement référence à la superposition du sujet avec le « VEM ». Les résultats de cette étude sont clairs et montrent bien que l'apprentissage par l'utilisation de ce logiciel est plus rapide et de meilleure qualité, ainsi que la rétention des mouvements appris, en comparaison d'un feedback vidéo classique.

3.8 L'apprentissage classique de la passe au football américain

Ce dernier se réalise par l'assemblage des quatre phases ci-dessous :



19

- 1) « *Early cocking* » correspond au premier geste d'armement du bras : pied d'appui en arrière, rotation du bassin, visualisation de la cible.
- 2) « *Late cocking* » se réfère au dernier mouvement d'armement du bras : coude remonté au niveau de l'épaule, toujours avec le bassin en tension et visualisation de la cible avec le pied avant qui la suit.

¹⁸ Anderson, F., Grossman, T., Matejka, J., & Fitzmaurice, G. YouMove, 2013, *enhancing movement training with an augmented reality mirror*. In *Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology* (pp. 311-320). ACM.

¹⁹ Bryan T. Kelly,† MD, Sherry I. Backus, PT, Russell F. Warren, MD, and Riley J. Williams, 2002, *Electromyographic Analysis and Phase Definition of the Overhead Football Throw*, in *The American Journal of Sports Medicine* 30(6):837-44.

- 3) « *Acceleration* » coïncide à la phase de tir à proprement parler : le bassin en tension se relâche avec dynamisme, en y ajoutant le mouvement du bras, pour donner de la vitesse à la balle.
- 4) « *Follow Through* » : le mouvement du corps continue même après avoir lâcher le ballon, un peu comme après un tir au panier en basket avec le mouvement de « fouetté » du poignet. Cela permet une bonne rotation de la balle sur elle-même et une meilleure précision du lancer.

Ces quatre phases présentées ci-dessus sont constamment observées chez les *quarterbacks* appartenant à la NFL, la ligue professionnelle de football américain aux Etats-Unis, et forment donc le mouvement final de la passe.

L'apprentissage classique se fait en répétant ce geste des centaines et des centaines de fois, avec le feedback d'un « *coach* », dès le plus jeune âge (le football américain est effectivement commencé très tôt pour ceux qui veulent arriver au top niveau et finir, avec beaucoup de chance, dans la ligue pro). Il est difficile de pouvoir donner ici les résultats d'une telle méthode pour les comparer aux nôtres puisque je n'ai malheureusement trouvé aucune étude y décrivant les résultats.

La méthode que nous allons utiliser pour ce travail pourrait bien être plus efficace puisqu'elle montre à l'apprenant un geste à imiter et lui permet dans le même temps de se comparer à lui ; mais on ne peut rien affirmer et encore faut-il obtenir des résultats probants !

4. Expérience

4.1 But du travail

Ce travail a pour but d'identifier le feedback virtuel le plus intéressant pour un apprentissage optimal d'un mouvement encore peu connu en Suisse, en l'occurrence le lancer au football américain. Il est effectivement intéressant de constater que la variabilité de la progression de l'apprentissage moteur dépend bien entendu du sujet lui-même, mais aussi, et c'est ce que l'on cherche à montrer avec cette étude, de la qualité du feedback qui lui est transmis lors de l'entraînement du mouvement en question.

La première question de recherche sera donc la suivante : l'un des deux feedbacks (feedback online et différé de l'expert virtuel uniquement ainsi que feedback online et différé de l'expert

virtuel superposé au sujet) dont ont bénéficié les sujets de l'étude est-il plus efficace que l'autre afin d'apprendre le mouvement de lancer ?

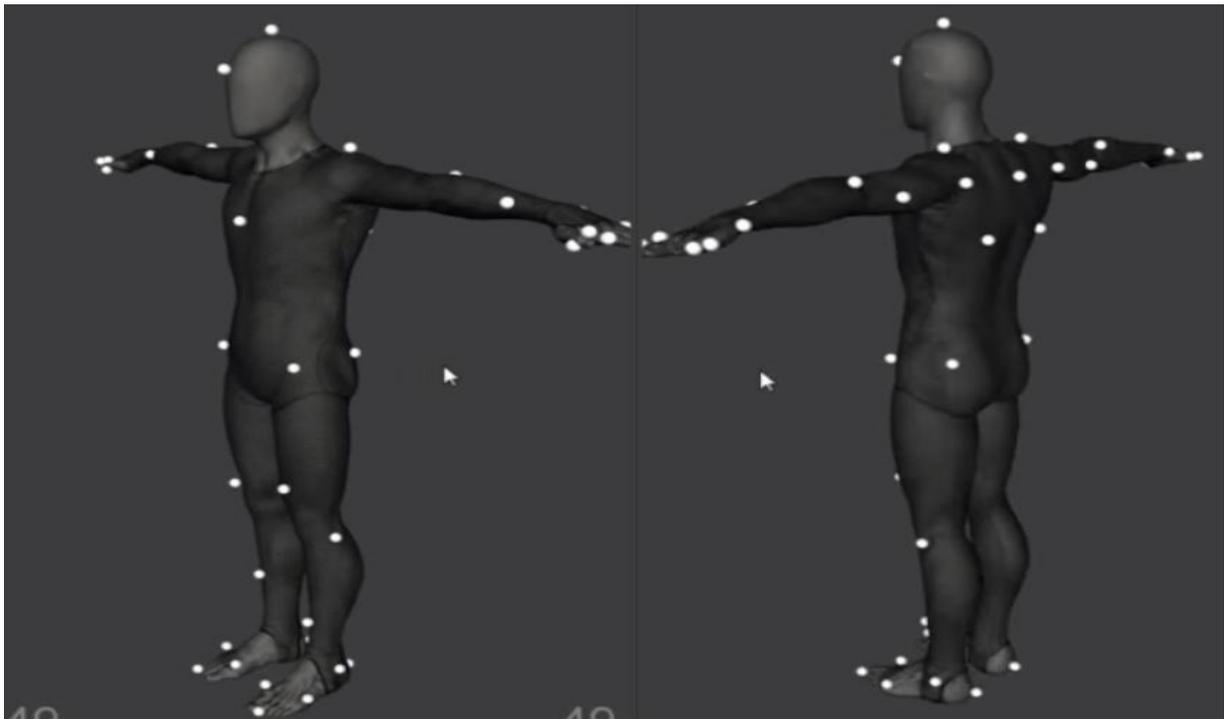
La seconde question de recherche : le résultat du lancer (précision) sera-t-il différent en fonction du feedback utilisé ?

4.2 Méthode

Matériel et équipement

La première étape du travail a été de capturer des séquences de lancers réalisés par un athlète (QB) appartenant à l'équipe de football américain de Fribourg. Ce dernier a effectué des mouvements de lancers que l'on a pu modélisés virtuellement en 3D grâce à la technologie *Optitrack* et au programme informatique *Motive*.

Que ce soit pour ce mouvement de référence ou pour les entrainements des sujets, tous doivent porter une combinaison couverte de marqueurs comme illustré ci-après :



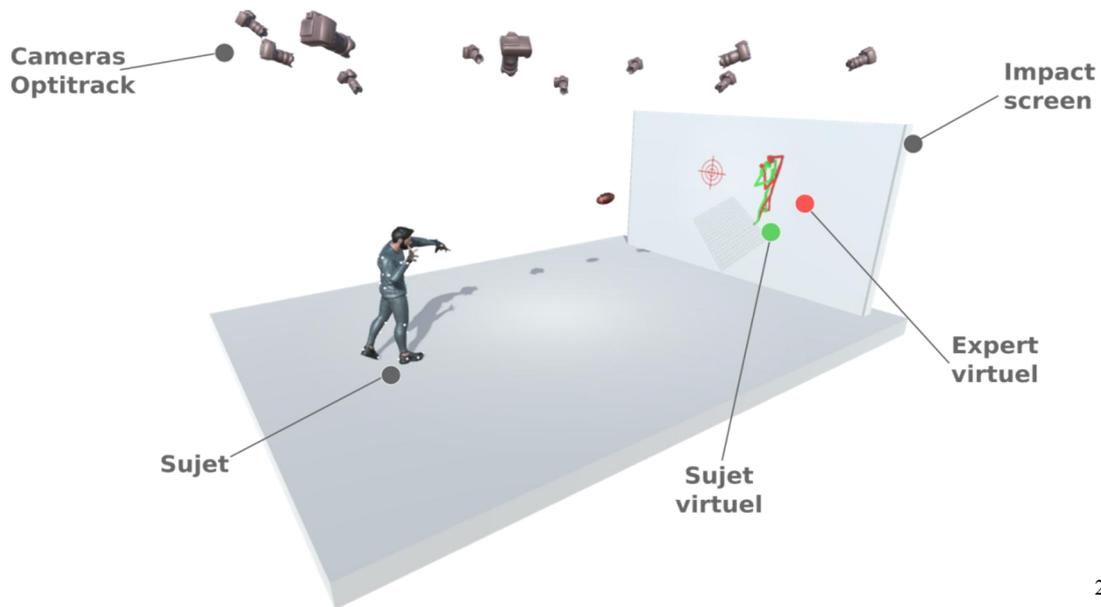
²⁰

Conditions de feedback

La modélisation virtuelle en 3D apparaît comme sur l'image suivante : en vert le sujet modélisé en 3D et en rouge l'expert virtuel.

²⁰ Image prise de google image

Figure 1 : poster récapitulatif de l'expérience



21

Le mouvement de lancer réalisé par le QB forme donc le mouvement de référence (que nous appellerons « VEM » pour « *virtual expert modeling* »), sur lequel doivent se baser les sujets de l'étude pour apprendre et progresser dans ce mouvement spécifique.

Les sujets (11 par groupe) sont tous âgés de 20 à 30 ans, sportifs et exerçant en grande majorité des sports de lancers ou de raquette (mais ne connaissant pas la technique du lancer au football américain) ; tous sont donc sur un même pied d'égalité en ce qui concerne l'apprentissage d'un mouvement qu'ils ne connaissent pas encore et nécessitant majoritairement le haut du corps pour être exécuté correctement.

Les feedbacks proposés aux sujets leur sont transmis via un grand écran (sous forme de grande toile sur laquelle ils peuvent lancer le ballon) qu'on appelle « *impact screen* » placé en face d'eux en deux temps distincts²². Le premier est un feedback en temps réel ; le second est un feedback différé, juste après l'exécution du lancer (*replay* du lancer précédent). Ces deux feedbacks sont donnés à tous les sujets, sauf à ceux faisant partie du groupe contrôle (qui forme le troisième groupe).

²¹ Réalisation de l'image récapitulative de la capture vidéo faite par Thibaut Le Naour, co-conseiller du travail.

²² Cf figure 1.

Voici les deux types de feedback proposés :

Tableau 1 : présentation des différents feedbacks utilisés pour l'expérience

	Feedback général	Feedback simultané	Feedback différé
« VEM » ou « GG »	Ne voit que les mouvements de l'expert virtuel	Uniquement les mouvements de l'expert	Uniquement les mouvements de l'expert
« VEM »+ « SVF » ou « GSGS »	Voit les mouvements de l'expert virtuel superposés aux siens (cf figure 1)	Mouvements de l'expert superposés aux siens	Mouvements de l'expert superposés aux siens

23

Le groupe « contrôle », quant à lui, ne dispose d'aucun feedback mise à part celui de la distance qui sépare le point d'impact du ballon sur « *l'impact screen* » et la cible à atteindre. Il dispose toutes fois, au même titre que les autres groupes de deux sessions de lancer (*online* et *offline*) mais sans feedback.

Déroulement de l'expérience

L'étude est divisée en trois parties :

- Pré-test
- Entraînement
- Post-test

- 1) Chaque sujet, après s'être équipé de la combinaison, reçoit des informations de base sur le geste du lancer au football américain : tenue de balle, les étapes importantes du lancer (ouverture du bassin, armement du bras, rotation du bassin et force du bras pour lancer la balle de manière dynamique et mouvement du poignet à la fin du geste pour donner la rotation au ballon). Ils ont ensuite quatre lancers « à blanc » pour s'habituer à l'équipement et à la balle.

²³ « VEM »+ « SVF » pour « *virutel expert modeling* »+« *self virtual feedback*», «GG» pour «*ghost ghost*» et «GSGS pour «*ghost-sujet-ghost-sujet*».

- 2) S'en suivent 10 lancers **pré-test**. Ils sont enregistrés et vont servir de « *baseline* » pour définir la progression des sujets après l'entraînement. La distance entre l'impact du ballon contre « *l'impact screen* » et la cible que les sujets ont à atteindre est mesurée durant ces 10 lancers.
- 3) L'étape de l'entraînement, elle, n'est pas enregistrée. Les sujets ont 50 lancers d'entraînement pour progresser le plus possible avant les 10 lancers du post-test. Le principe de cet entraînement est de suivre les mouvements de l'expert virtuel autant que possible afin de se rapprocher le plus possible de sa gestuelle. 5 vitesses ont été prévues afin de faciliter une vision plus nette des grandes étapes du geste final ; les sujets doivent s'adapter à la vitesse du « VEM ». Les 5 vitesses sont : 20%, 40%, 60%, 80% et 100% de la vitesse réelle du mouvement (10 lancers par vitesse). Seul le groupe « contrôle » n'a pas de feedback et s'entraîne en lançant la balle 50 fois à vitesse normale.
- 4) La dernière étape est l'enregistrement des lancers **post-test** (au nombre de 10) pour pouvoir les comparer avec ceux du pré-test et ainsi quantifier la progression de chaque sujet. Ils sont également enregistrés pour pouvoir être comparés à ceux du pré-test. La distance entre impact du ballon « *l'impact screen* » et la cible est aussi mesurée pour comparer les données des résultats du lancer post-test à ceux du pré-test.

4.3 Hypothèse de recherche

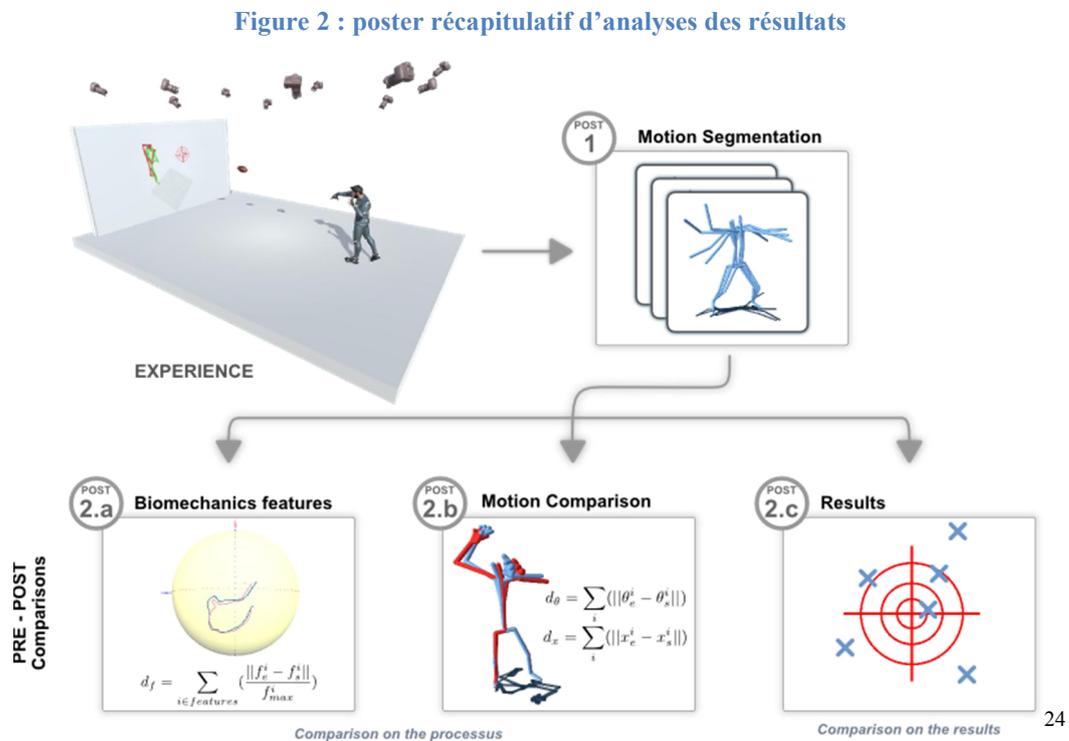
Les sujets utilisant un feedback virtuel interactif (groupes de recherche) auront une meilleure progression au niveau de la gestuelle vis-à-vis du groupe « contrôle ».

L'apprentissage du mouvement du lancer au football américain sera plus facile et se rapprochera plus du lancer de référence avec l'utilisation du feedback « VEM » + « SVF » ; les sujets peuvent effectivement corriger leurs erreurs en fonction de ce qu'ils voient à l'écran, que ce soit pour le feedback direct ou différé.

Le résultat des lancers (précision) pourrait être meilleur dans le groupe « VEM » + « SVF » que « VEM » uniquement, car les sujets seront moins focalisés sur la position de leur membre, le feedback leur donnant effectivement ce renseignement, contrairement au groupe « VEM » qui devra d'avantage se concentrer sur leurs mouvements pour atteindre la gestuelle demandée ; et dans la même logique, le groupe contrôle ne se focalisant presque uniquement que sur la cible, leurs lancers devraient être plus précis après entraînement.

5. Les résultats

5.1 Résumé des méthodes d'analyse



Cette illustration désigne les différents processus d'analyse des résultats obtenus dans le cadre de notre étude :

- 1) La première phase a été de découper les captures que nous avons effectuées des pré et post-tests. En effet, c'est uniquement le mouvement du lancer qui nous intéresse ; tout ce qui se passe entre deux ne nous intéresse pas (préparation du sujet à la gestuelle, récupération du ballon une fois lancé, ...etc.).
- 2) S'en suivent les différentes analyses des résultats obtenus : la figure 2.a correspond à l'analyse biomécanique du mouvement ; cela veut dire que nous avons sélectionné une série d'articulation propre à la gestuelle du lancer au football américain. Les différentes méthodes de feedback utilisées sur les sujets doivent donc avoir eu un impact sur l'utilisation de ces mêmes articulations grâce au mouvement de référence. Cette analyse montrerait donc si oui ou non il y a eu une amélioration au niveau du mouvement de certaines articulations ; nous en reparlerons dans la discussion.

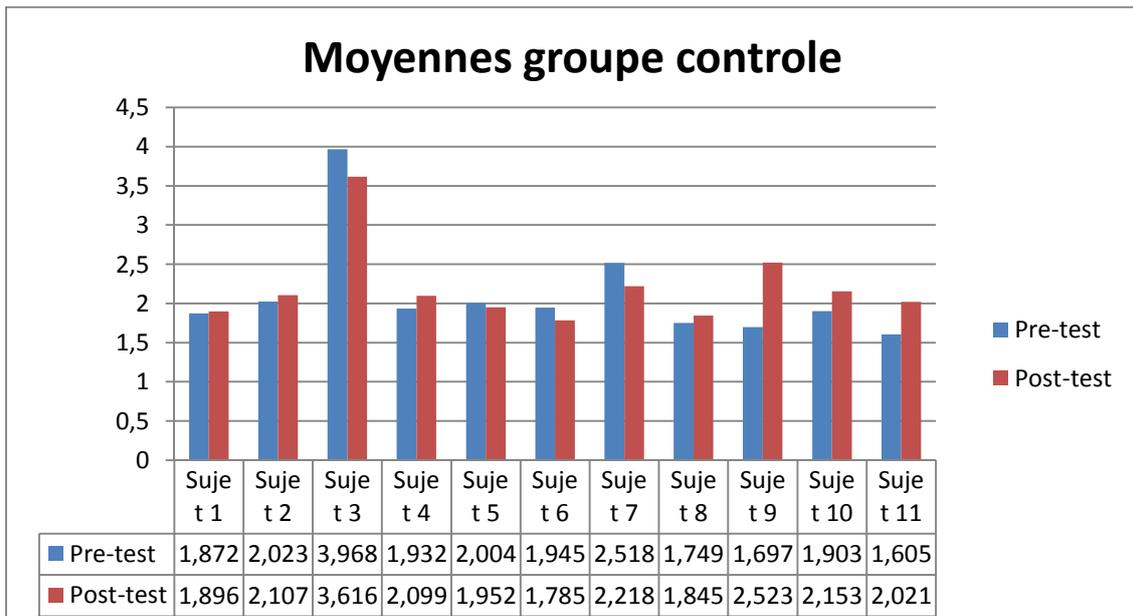
²⁴ Réalisation de l'image récapitulative de la capture vidéo faite par Thibaut Le Naour, co-conseiller du travail.

- 3) La figure 2.b représente l'analyse géométrique du mouvement ; c'est-à-dire la correction qu'ont réalisée les sujets en fonction de leur propre assimilation du mouvement grâce au feedback virtuel reçu. Il s'agit donc d'une comparaison entre chaque sujet et le mouvement de référence capturé avant leur test. La distance entre les membres/articulations sur l'ensemble du mouvement du sujet sont comparés à ceux de l'expert (colonne vertébrale, nuque, épaule gauche, bras gauche, avant-bras gauche, main gauche, épaule droite, bras droit, avant-bras droit, main droite, hanche gauche, jambe gauche, pied gauche, hanche droite, jambe droite et pied droit) ; la méthode de feedback utilisée qui obtient la plus petite différence avec la gestuelle de l'expert est celle qui aura été la plus efficace pour l'entraînement.
- 4) Pour finir, la figure 2.c désigne les résultats obtenus en matière de précision de lancer. En effet, et comme déjà dit dans la partie méthodologique, les sujets devaient non seulement se concentrer sur la gestuelle, mais aussi sur une cible à atteindre lors du pré et du post-test. Le point d'impact de chaque tir sur « *l'impact screen* » a donc été mesuré par rapport à une cible placée sur ce dernier.

5.2 Résultats des comparaisons de mouvement 2.b

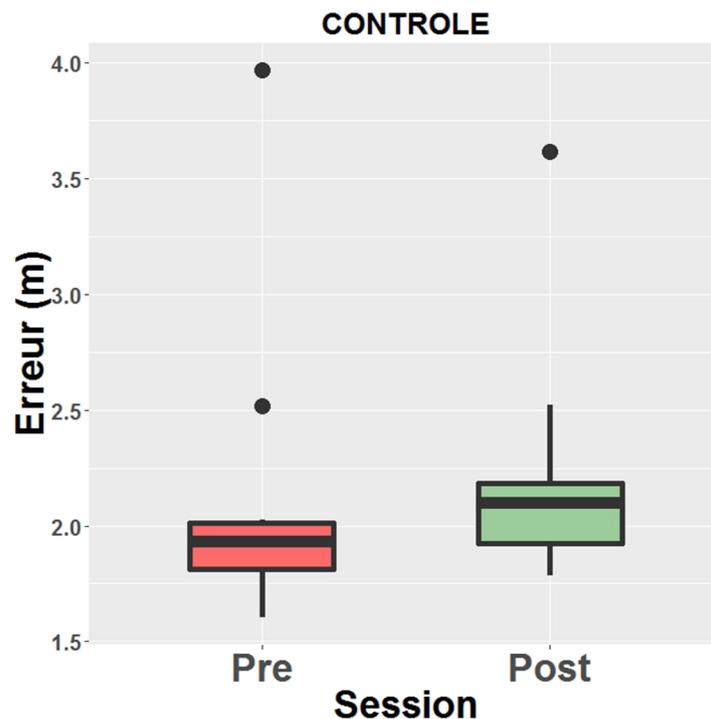
Nous allons pouvoir observer les résultats de la gestuelle de chaque participant et leur amélioration entre le pré et le post-test. En effet, pour chaque sujet des trois groupes, c'est-à-dire le groupe contrôle, le groupe « VEM » et le groupe « VEM » + « SVF », un graphique va reprendre la somme de la différence, en mètres, de la position des membres et articulations entre le sujet lui-même et l'expert que ce soit pour le pré ou le post-test. Si l'entraînement a eu un effet positif, la colonne du post-test doit être plus petite que celle du pré-test, l'axe verticale représentant la distance au mouvement de référence en mètres.

Tableau 2 : présentation des moyennes du groupe contrôle



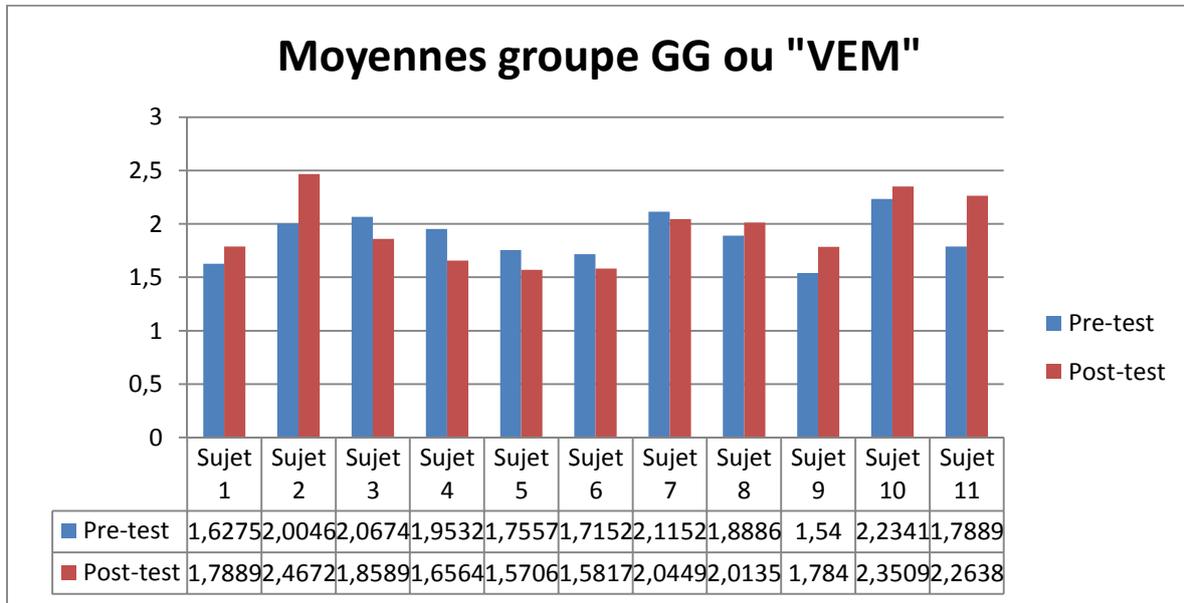
On peut constater sur le graphique ci-dessus que le groupe contrôle, qui n'a eu pour entraînement que 50 lancers sur cible sans feedback, n'a pas beaucoup progressé, voire a régressé pour bon nombre des participants (la colonne rouge représentant le post-test est effectivement souvent plus haute que la bleue du pré-test). La significativité de ces résultats est relativement faible puisque le test t relatif donne une valeur p-value = 0.3883, bien au-delà des 0.05 requis (la p-value ne doit pas dépasser cette dernière valeur pour que la significativité soit prouvée).

Tableau 3 : boxplot résultats groupe contrôle



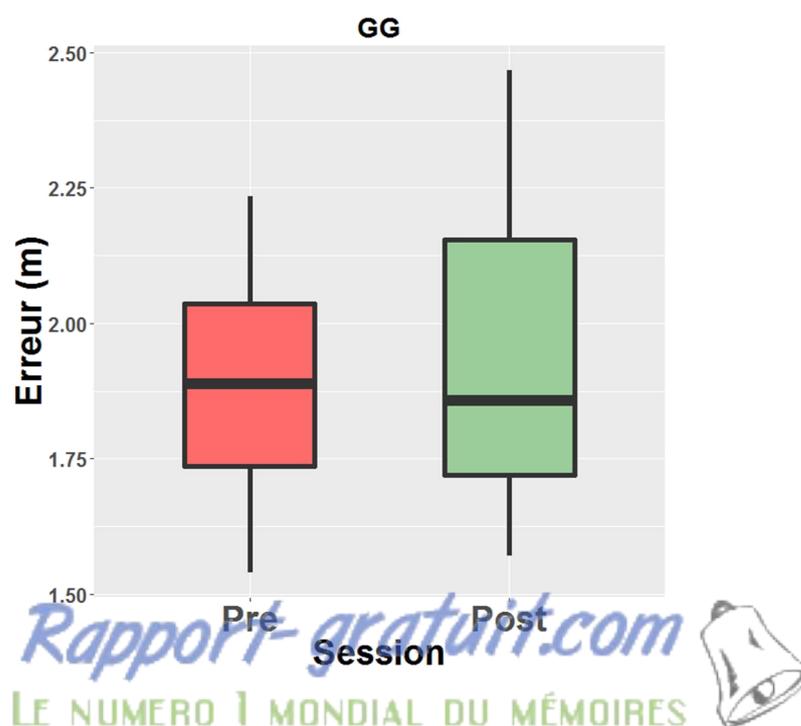
On peut facilement voir sur ce boxplot que les résultats du post-test sont moins bons que ceux du pré-test. La médiane est la moyenne générale sont effectivement plus élevées, ce qui prouve une régression des sujets du groupe contrôle.

Tableau 4 : présentation des moyennes du groupe "VEM"



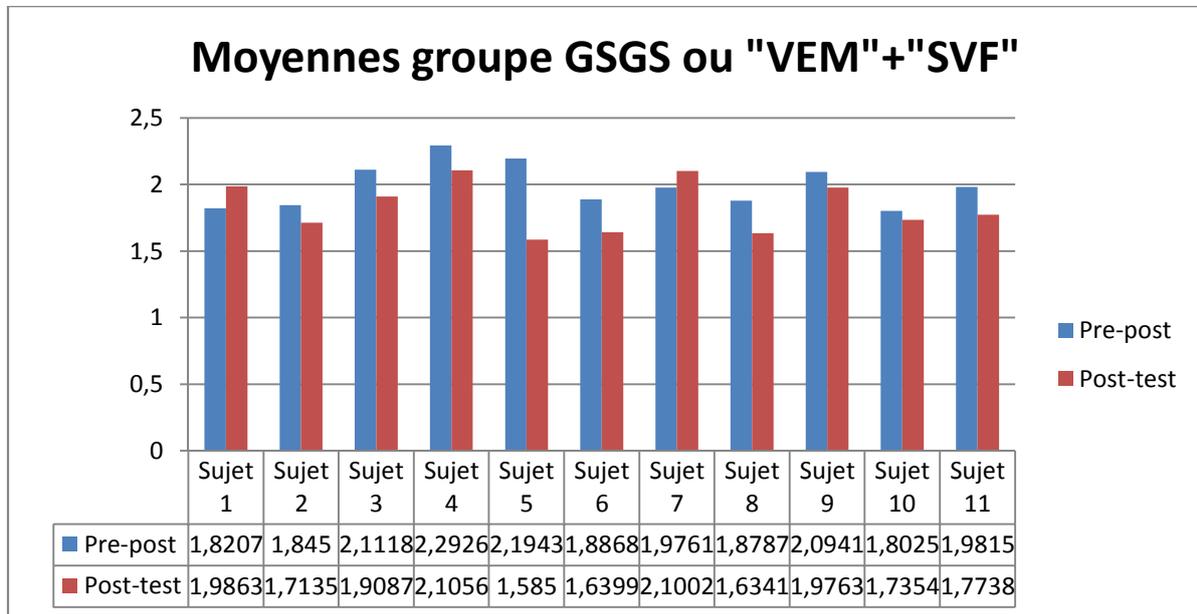
Les résultats du groupe « VEM » sont relativement mitigés. En effet, un bon nombre des sujets ont régressés. D'ailleurs, le test t montre, ici aussi, que ces résultats sont encore moins significatifs que les derniers avec une p-value = 0.4495. Ces derniers sont tout de mêmes meilleurs que ceux du groupe contrôle.

Tableau 5 : boxplot résultats groupe "VEM"



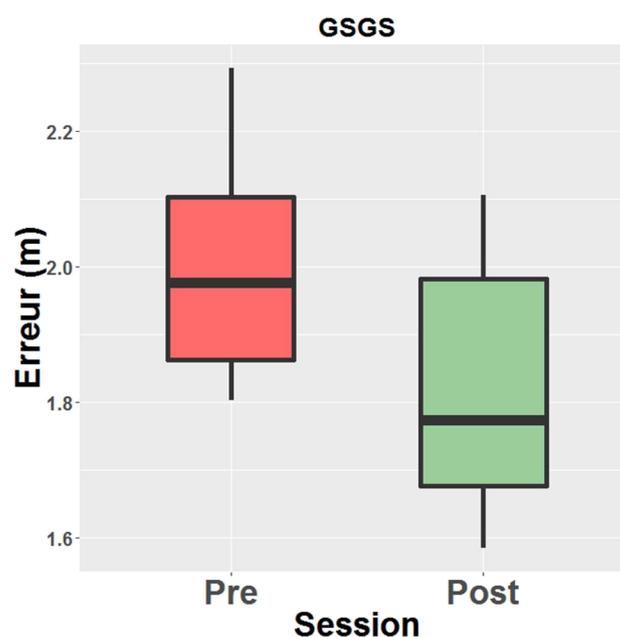
On peut voir ici que la médiane a légèrement diminué mais il n'y a pas de nette amélioration pour le groupe « GG » ou « VEM ».

Tableau 6 : présentation des moyennes du groupe "VEM"+"SVF"



Le groupe « VEM »+ « SVF » est le seul à avoir obtenu des résultats plus probants. En effet, on peut voir qu'une grande majorité des sujets ayant utilisé cette méthode de feedback a progressé. On peut ajouter que les deux sujets qui ont régressé n'ont pas perdu grand-chose comparé au pré-test. La p-value donnée par le test $t = 0.02935$; cela montre donc que les résultats de ce groupe sont significatifs, contrairement aux deux autres.

Tableau 7 : Boxplot résultats groupe "VEM"+"SVF"

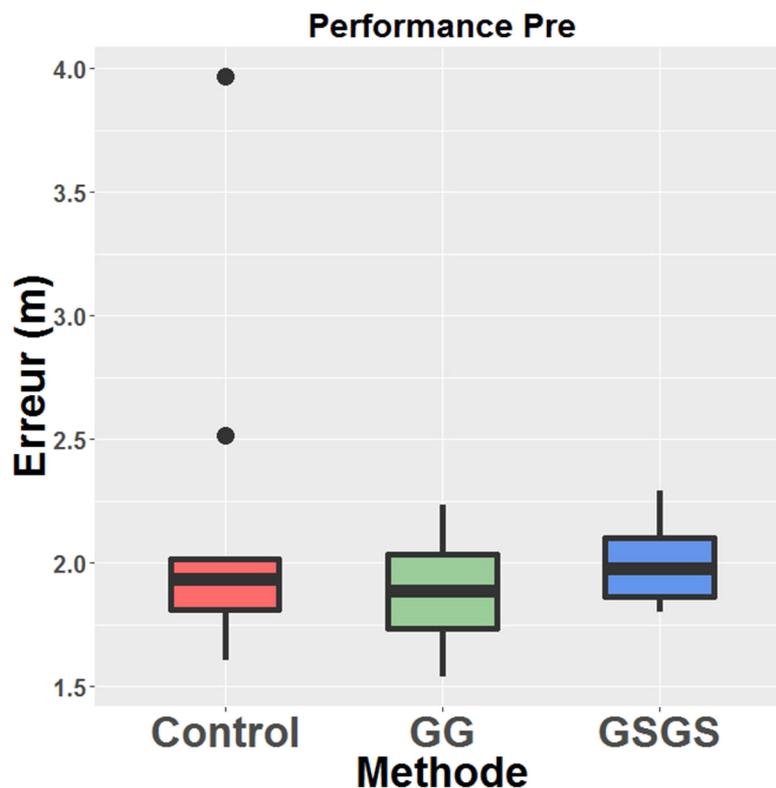


Les résultats de ce dernier groupe (« VEM »+ « SVF » ou « GSGS ») sont les meilleurs obtenus des trois méthodes utilisées. On peut effectivement constater une baisse générale consécutive de l'erreur commise lors de la gestuelle.

Passons maintenant à la comparaison des trois méthodes de feedback utilisées.

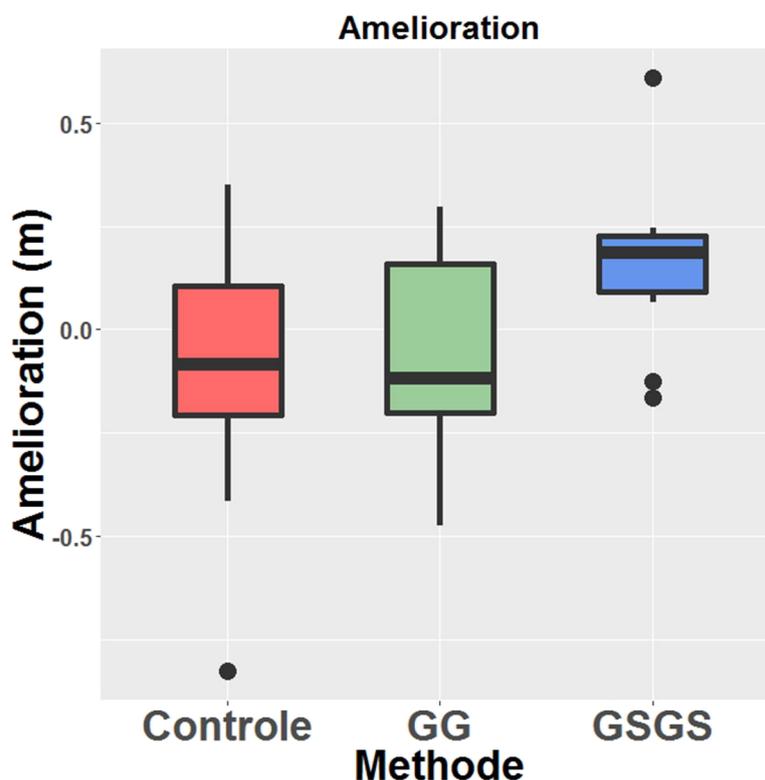
Il est important avant toute chose de s'assurer que les améliorations éventuelles ne sont pas dues à un niveau différent entre les sujets des différentes méthodes.

Tableau 8 : Boxplot comparaison entre les groupes pré-test



On peut observer que les médianes sont toutes relativement proches, ce qui montre que le niveau des sujets est à peu près égal. L'analyse statistique nous apporte la même conclusion avec une p-value bien supérieure à 0.05 : p-value = 0.3384. Les améliorations potentielles que nous pourrions observer dans le post-test ne seront donc pas imputables à des différences initiales de performance.

Tableau 9 : Boxplot comparaison entre les groupes post-test



Ce graphique nous permet de constater que le groupe ayant le plus progressé est celui du « VEM »+ « SVF » ou « GSGS » : la médiane étant au-delà de la ligne 0 (qui correspond à une stagnation de l'apprenant). Cela vérifie donc notre hypothèse de départ qui plaçait ce groupe sur la première place du podium pour ce qui est des résultats de la gestuelle.

Les deux autres groupes sont quant à eux à peu de chose près arrivés aux mêmes résultats : une légère régression avec la médiane passant en dessous de la barre du 0.

Les résultats les plus mitigés se situent dans le groupe « VEM » ou « GG ». On peut non seulement voir une médiane qui descend en dessous de la ligne du 0, mais aussi une grande variance dans les résultats avec une majorité d'entre eux qui tendent à régresser.

Le test de significativité par l'ANOVA montre que la différence de performance des sujets entre les méthodes n'est pas significative : malgré cela, on peut observer que la méthode « VEM »+ « SVF » ou « GSGS » est la plus efficace, suivie de la méthode « VEM » ou « GG » et enfin du contrôle.

Les données étant réparties normalement, nous pouvons utiliser les résultats que nous donne l'ANOVA : p-value = 0.0823

Amélioration (nombre positif) et régression (nombre négatif) en cm entre pré et post-test :

Contrôle	« VEM »	« VEM »+ « SVF »
-0.09079	-0.06276	0.15683

Comparaison de significativité entre les 3 méthodes :

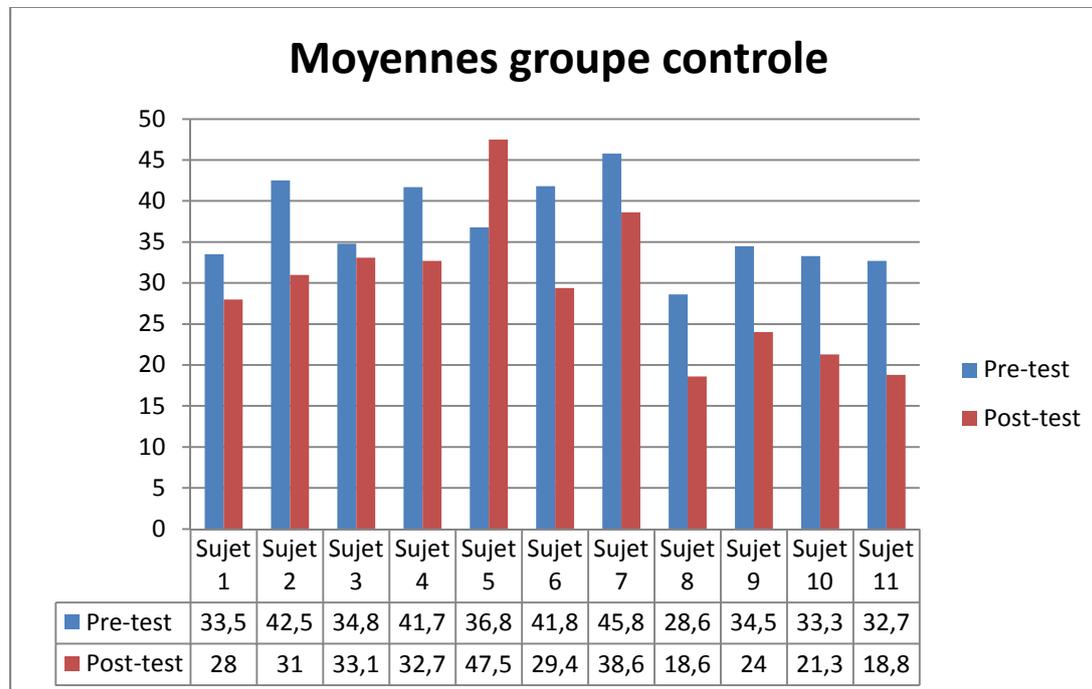
	CONTROLE	VEM
VEM	1.0	-
VEM+SVF	0.12	0.21

On peut constater qu'aucun des résultats n'est significatif entre les trois groupes même si le groupe « VEM »+ « SVF » se démarque des deux autres.

5.3 Résultats du lancer contre cible 2.c

Nous allons pouvoir observer les résultats de la précision de chaque participant et leur amélioration entre le pré et le post-test. En effet, pour chaque sujet des trois groupes, c'est-à-dire le groupe contrôle, le groupe « VEM » et le groupe « VEM » + « SVF », un graphique va reprendre la moyenne des lancers pré-test en les comparant à la moyenne des lancers post-test. Si l'entraînement a eu un effet positif, la colonne du post-test doit être plus petite que celle du pré-test, l'axe verticale représentant la distance à la cible en centimètre.

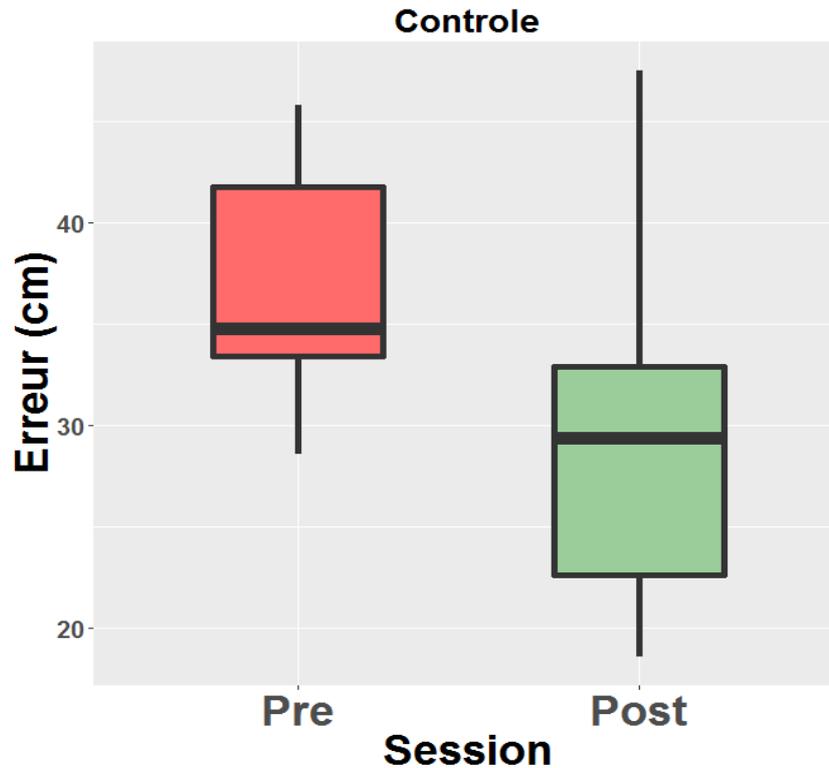
Tableau 10 : présentation des moyennes groupe contrôle



On peut aisément constater sur ce graphique, mis à part le sujet 5 dont la précision a régressé lors du post-test, que tous les sujets ont progressé. La question que l'on peut se poser est : ces résultats sont-ils significatifs ? L'analyse statistique montre qu'ils le sont. En effet, grâce au test t appliqué sur les résultats obtenus, on obtient une p-value beaucoup plus petite que 0.05 :

ici, $p\text{-value} = 0.004982$. Les résultats sont donc significatifs et on peut affirmer sans trop prendre de risque que l'amélioration de la précision par l'entraînement du groupe contrôle n'est pas due au hasard.

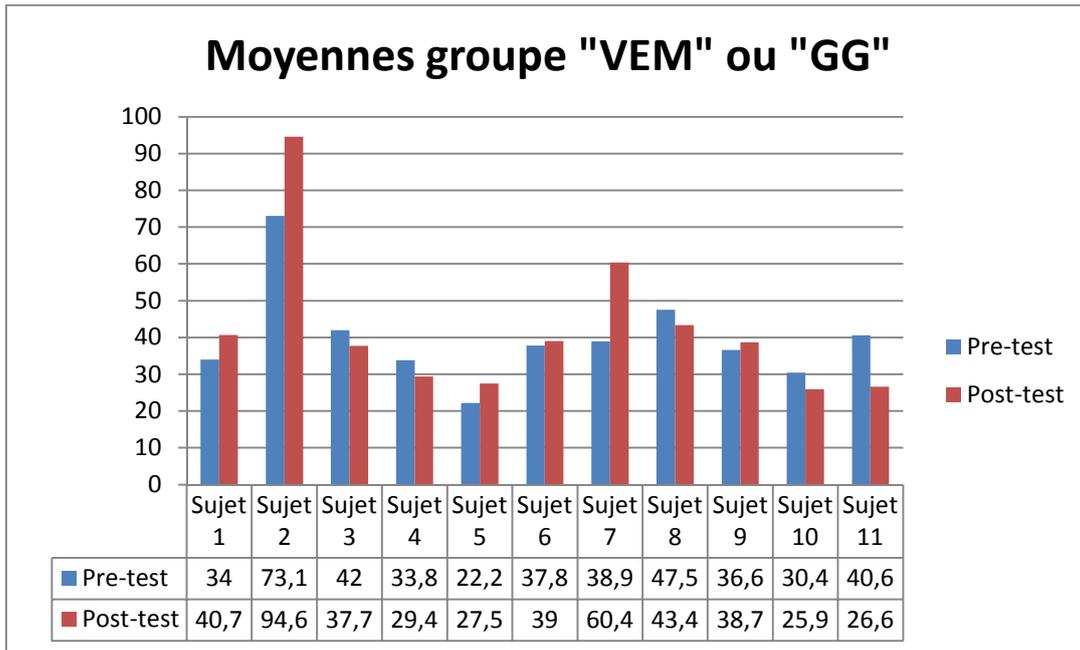
Tableau 11 : Boxplot résultats groupe contrôle



Cette boîte à moustache résume différemment les résultats du dernier graphique ; en effet, la baisse de la médiane des résultats (trait noir au milieu de la boîte colorée) prouve une diminution générale de l'erreur commise lors du lancer et donc une meilleure précision. Le seul « point noir » de ce graphique est la moustache représentant les résultats du post-test : le sujet 5²⁵ fait augmenter considérablement l'erreur maximale commise entre les 11 sujets.

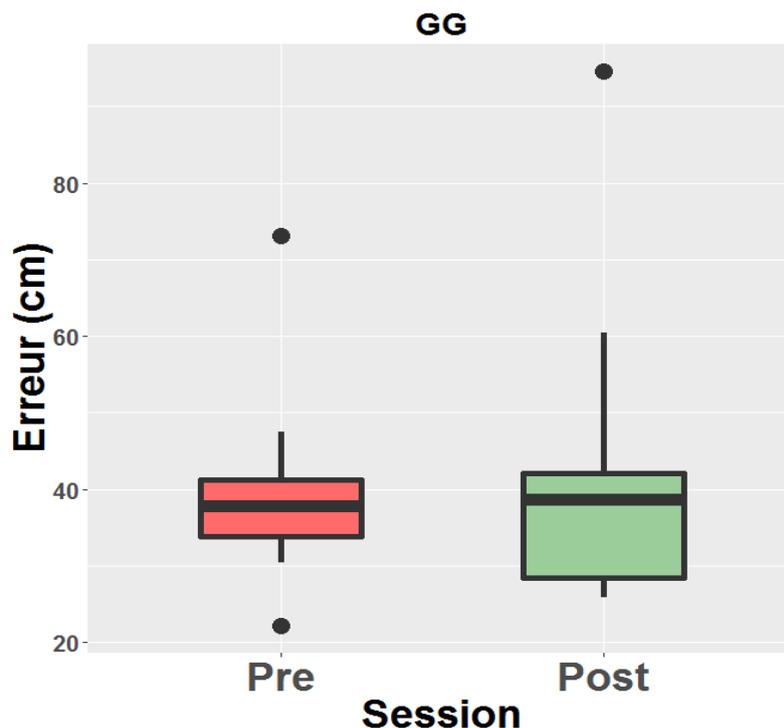
²⁵ Cf dernier graphique

Tableau 12 : présentation des moyennes du groupe "VEM"



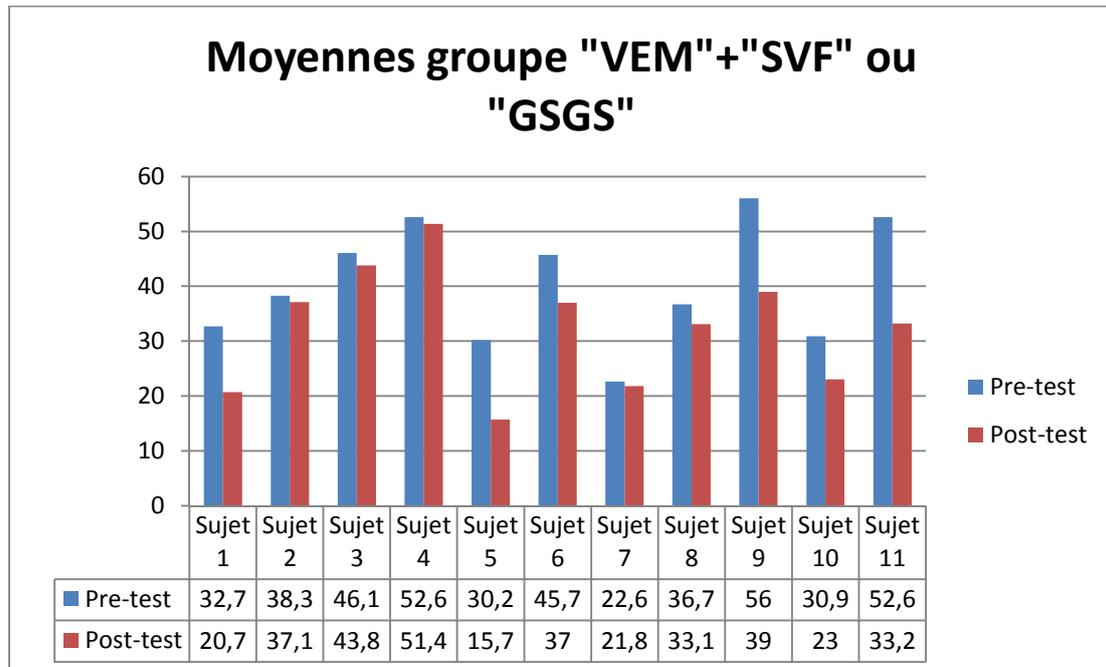
La méthode « VEM » est la seule à ne pas donner de résultats probants pour l'amélioration de la précision des lancers entre le pré et le post-test. Le graphique nous montre déjà une différence bien plus mitigée entre les deux phases que le groupe précédent : les progrès, lorsqu'il y en a, sont relativement faibles et les régressions sont plus fréquentes et plus importantes. De plus, le test t appliqué à ces résultats montre qu'ils ne sont pas significatifs : $p\text{-value} = 0.4759$, ce qui est bien au-delà du 0.05 attendu.

Tableau 13 : Boxplot résultats groupe "VEM"



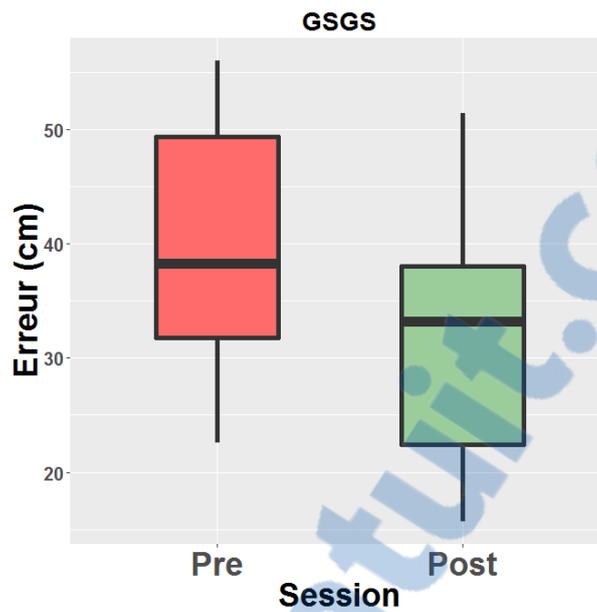
Les médianes elles aussi nous permettent de faire la même observation : elles ne bougent pas, voire augmentent, ce qui prouve une légère augmentation de l'erreur générale commise lors des lancers post-test. On peut aussi noter une plus grande dispersion des résultats, le sujet 2 étant dans les extrêmes que ce soit pour le pré ou le post-test.

Tableau 14 : présentation des moyennes de groupe "VEM"+"SVF"



Les sujets ayant eu comme feedback « VEM »+ « SVF » ont bien plus progressés. On peut observer sur le graphique ci-dessus que tous les participants ont eu une amélioration entre les 10 lancers pré-test et les 10 lancers post-test. L'analyse du test t montre que les résultats obtenus sont significatifs, p-value = 0.002895.

Tableau 15 : Boxplot résultats groupe "VEM"+"SVF"

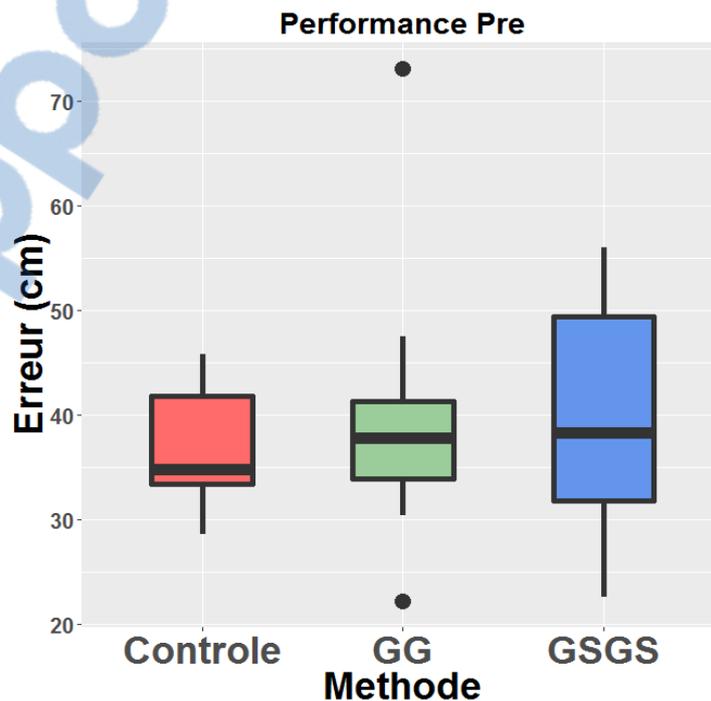


Ce graphique nous montre une diminution générale de l'erreur commise entre le pré et le post-test : la médiane diminue, ainsi que la moyenne des résultats. Il y a donc bien eu augmentation de la précision pour le groupe « VEM »+ « SVF » ou « GSGS ».

Comparons maintenant les trois méthodes les unes avec les autres.

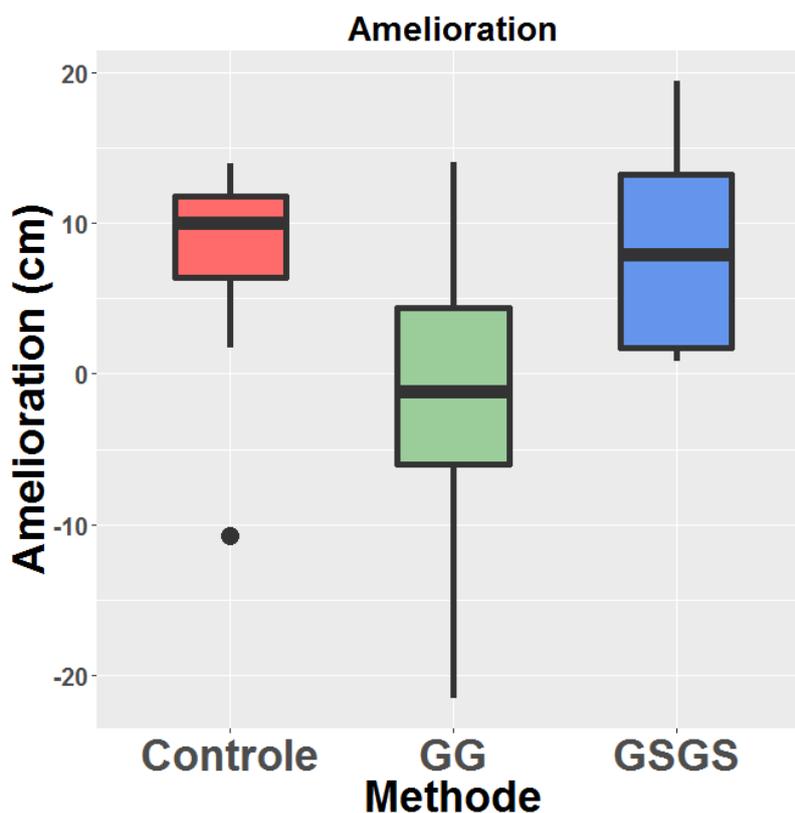
Il est important avant toute chose de s'assurer que les améliorations éventuelles ne sont pas dues à un niveau différent entre les sujets des différentes méthodes.

Tableau 16 : Boxplot comparaison des résultats entre les groupes au pré-test



On peut voir grâce au graphique ci-dessus que les médianes sont effectivement toutes au même niveau. De plus, le test de significativité est supérieur à 0.05 : P-value = 0.5765. Les améliorations que nous pourrions observer au post-test ne seront donc pas dues à la différence de niveau entre les sujets de l'étude.

Tableau 17 : Boxplot comparaison des résultats entre les groupes post-test



Ce dernier graphique montre les différences (et donc l'amélioration) entre le post et le pré-test. On peut y retrouver les mêmes constatations que celles des graphiques qui précèdent. Le groupe « GG » ou « VEM » a été le moins efficace, avec une médiane en dessous de la ligne du 0, ce qui montre une légère diminution de la précision des lancers. On note aussi une grande dispersion dans les résultats obtenus grâce aux moustaches qui s'étendent sur presque 35 cm de différence entre la meilleure et la moins bonne moyenne des sujets appartenant à ce groupe.

Les deux autres groupes, par contre, ont tous deux progressés significativement avec une relativement faible dispersion, ce qui montre une amélioration générale de la précision des lancers.

Cependant, l'analyse statistique de ces résultats (test de kruskal puisque données non paramétriques) révèle que la différence d'amélioration entre les méthodes n'est pas significative pour toutes les comparaisons malgré l'écart. On peut simplement constater que

seule la différence d'amélioration entre le groupe contrôle et le groupe GG (ou « VEM ») est significative :

	<i>obs.dif</i>	<i>critical.dif</i>	<i>difference</i>
Controle-GG	10.090909	9.870632	TRUE
Controle-GSGS	1.090909	9.870632	FALSE
GG-GSGS	9.000000	9.870632	FALSE

6. Discussion

6.1 Points forts et limites du travail

Le feedback virtuel est une méthode encore très peu utilisée ; certains sujets ayant participé à cette étude nous en ont d'ailleurs donné un retour positif. En effet, apprendre de cette manière est nouveau et permet de comparer nos propres mouvements à ceux des meilleurs dans le domaine. Quel tennisman, par exemple, n'a jamais rêvé de comparer son revers à celui de Roger Federer ?! Ou pour notre propre sujet d'étude, quel quarter back n'a jamais voulu mesurer son lancer à celui de Tom Brady !? C'est une des possibilités qu'offre le feedback virtuel interactif.

L'un des avantages de notre étude est sans aucun doute le choix du geste. En effet, d'autres travaux, comme celui de Thomas Dévaud : « l'apprentissage du *mawashi-geri* par la réalité virtuelle »²⁶, se sont attaqués à des mouvements peut-être trop complexes pour le commun des mortels ; le *mawashi-geri* est un coup de pied circulaire utilisé dans certains arts-martiaux et il est caractérisé par des contraintes sensori-motrices importantes : souplesse, équilibre ou encore gainage. L'avantage du lancer réside dans le fait que ce type de mouvement est acquis, pour une grande partie de sportifs, dès la jeunesse ; cela permet donc une base pratique sur laquelle nous avons pu nous reposer pour ne pas partir de zéro.

De plus, 33 sujets ont participé à cette étude, ce qui permet aux résultats obtenus d'être relativement représentatif de la réalité. Les critères de sélection étant : âge entre 18 et 30 ans et ayant une activité physique appartenant à la catégorie des sports de lancer (handball, volley,

²⁶ Étude non publiée, Thomas Dévaud, « l'apprentissage du *mawashi-geri* par la réalité virtuelle », université de Fribourg, 2016.

y compris tennis et badminton pour les mouvements de l'épaule étant relativement similaires, ...etc.), l'université regorgeait de sujets de choix pour notre études et nous n'avons pas eu de difficulté à trouver 11 participants pour chaque groupe de l'expérience.

Un des points méthodologiques que nous pourrions améliorer est l'utilisation de la vidéo comme outils de transmission du feedback. En effet, avoir un tel feedback oblige le sujet à s'adapter au mouvement de référence, qui apparaît devant lui sur « *l'impact screen* », alors que l'inverse, c'est-à-dire le mouvement de référence qui s'adapte à la gestuelle du sujet rendrait ce dernier totalement autonome sur son apprentissage. Il pourrait effectivement juger sa prestation que ce soit sur le mouvement dans sa globalité, ou sur des postures clés qui le composent (le « VEM » pouvant transmettre un feedback dynamique lorsque le sujet bouge ou statique lorsque le sujet décide de s'arrêter dans une position spécifique à la gestuelle).

De plus, l'utilisation de tels moyens pour donner un feedback sur l'entraînement d'un sportif est quelque chose qui est, de nos jours, très couteux : le programme informatique, le matériel et son installation (caméras, ordinateurs, combinaisons, capteurs, ...etc.), ou encore la salle de capture. Cela nécessite du temps, que ce soit de la part du sportif lui-même ou de son entraîneur ainsi que des connaissances de base pour employer ce type de système.

On peut encore ajouter que le fait de porter une combinaison (avec gants) peut gêner le lanceur dans son mouvement : le ballon peut effectivement glisser à cause des gants et causer certaines approximations au moment de lancer le ballon au même au milieu de la gestuelle, le sujet devant garder le ballon dans la main jusqu'au moment du tir.

Pour finir, je voulais évoquer un évènement qui s'est reproduit plusieurs fois avec des athlètes de haut niveau dans le sport respectif, et plus particulièrement les tennismen et tenniswomen ; en effet, pour certains d'entre eux/elles, il était difficile de corriger le mouvement du coude vers le bas, à l'instar du geste du service au tennis, et cela malgré le feedback. Il est donc intéressant de constater que les habitudes motrices sont difficiles à corriger, même avec un modèle à suivre : un entraînement plus long pourrait sans aucun doute venir à bout de ce problème.

6.2 Portée de l'étude et perspectives futures

La technologie évoluant sans cesse, il serait peu probable que de tels moyens restent sur le banc de touche en ce qui concerne son emploi pour les entraînements d'athlètes de haut niveau pour qui un simple détail peut modifier sa performance. Comme mentionné au point 6.1, ce matériel reste très coûteux et n'est donc pas beaucoup utilisé. Le programme demande en outre des compétences spécifiques en traitement du signal (discipline des mathématiques et de l'informatique).

Nous avons vu dans la figure 2 (cf point 5.1) que d'autres méthodes d'analyse des résultats peuvent être utilisées dans une étude comme celle-ci. Le point 2.a de la figure 2 représente effectivement l'analyse biomécanique du mouvement du sujet en le comparant à celui de l'expert. Il s'agirait donc de sélectionner les articulations les plus importantes dans le mouvement étudié et de soumettre les résultats obtenus à ce type d'analyse. A titre d'exemple, nous aurions pu choisir, pour le lancer au football américain, la rotation du bassin, les mouvements de l'épaule porteuse de la balle ou encore ceux du coude du même bras ; il est donc intéressant de pouvoir sélectionner les informations cinématiques importantes pour le mouvement choisi, afin d'éviter d'obtenir des résultats qui s'avèrent en partie inutiles et donc de devoir les trier. Denis Bruttin, un collègue sportif qui lui aussi achève son travail de master cette année 2017, et portant sur le même sujet que moi mais avec d'autres méthodes de feedback, va appliquer cette analyse à ses résultats ; à voir si ces derniers seront significatifs, ce qui serait bénéfique pour l'avancée de cette technologie encore peu connue.

Une autre méthode d'analyse que l'on pourrait utiliser correspond au temps de la dynamique du mouvement ; en effet, comme mentionné au point 5.1, un mouvement plus rapide peut entraîner une perte de précision par exemple, mais reproduit aussi un mouvement plus juste, plus proche de la réalité. Il s'agit peut-être là d'une nouvelle limite de notre travail... Il est vrai que la précision mesurée dans l'analyse des résultats (cf 5.3) dépend aussi de la vitesse de réalisation du mouvement que nous n'avons pas prise en compte dans ce travail. Bien que nous nous soyons assurés que la gestuelle soit accomplie avec une certaine dynamique, les différences de celle-ci entre les sujets peuvent sans aucun doute faire varier leur précision de tir sur « *l'impact screen* ».

D'autres études sur l'efficacité de l'utilisation d'un tel matériel sont nécessaires pour pallier aux limites de celle-ci. Mais je pense que cette technologie a un avenir et qu'elle peut effectivement se révéler ludique et efficace pour l'apprentissage de certaines gestuelles.

6.3 Comparaisons des résultats avec d'autres travaux

Très peu d'études présentant les mêmes caractéristiques que les nôtres ont été réalisées. Nous avons pu apprécier l'évolution des travaux sur le feedback virtuel interactif grâce, notamment, au point 3.7 présentant les études qui ont déjà été faites sur le sujet.

Certaines d'entre elles proposaient un feedback à la première personne et n'ont pas eu de résultats réellement significatifs (comme Yang, U., & Kim, G. J. (2002)) sur les arts martiaux. Une autre utilisait un « VEM » qui n'était pas superposé aux participants mais placé à côté d'eux en montrant les articulations exploitées qui s'éloignaient trop du modèle de référence.

Nos propres résultats n'ont pas été significatifs mais dégagent tout de même une tendance positive à l'emploi de ce matériel dans l'apprentissage d'un nouveau mouvement. En effet, les résultats obtenus pour ce qui est de la cinématique du mouvement, indépendamment de la méthode suivie par les sujets (« VEM » ou « VEM »+ « SVF »), montrent un bénéfice général en comparaison avec le groupe contrôle : les participants ont effectivement progressé avec les feedbacks virtuels ; le groupe « VEM »+ « SVF » ayant les progressions les plus importantes pour ce qui est de la cinématique du mouvement et de bonnes améliorations en terme de précision.

7. Conclusion

Le défi de ce travail a été d'essayer de montrer l'efficacité d'une technologie encore peu connue dans le milieu du sport. Donner un feedback uniquement virtuel, sans retour oral, à un sujet qui non seulement ne connaît pas le mouvement à apprendre mais qui en plus évolue dans un milieu étranger n'est pas chose aisée. Néanmoins, dans les résultats de l'analyse comparant les trois méthodes de feedback virtuel, la courte période d'entraînement entre le pré et le post-test a montré que, de manière générale, un mouvement de référence réalisé par un expert superposé à l'apprenant permet de plus nettes améliorations que les deux autres méthodes que nous avons testées.

D'autres études futures ne manqueront pas, j'en suis sûr, de prouver les vertus de l'utilisation d'une telle technologie en s'appuyant, pourquoi pas, sur ce modeste travail scientifique basé sur l'apprentissage du lancer au football américain par feedback virtuel interactif.

8. Bibliographie

Schmidt, R.A., 1993, *Apprentissage moteur et performance*. Paris: Vigot.

ROTHSTEIN, A.L., & ARNOLD, R.K., 1976, *bridging the gap: Application of research on videotape feedback and bowling. Motor skills: theory into practice*, 1.

Buekers, M.J., 1995, L'apprentissage et l'entraînement des habiletés motrices et sportives. In J. Bertsch, et Le Scanff, C. (Éd.), *Apprentissages moteurs et conditions d'apprentissage* (p. 27-47). Paris: Presses universitaires de France.

Schmidt, R.A. & Lee, T.D., 2005, *Motor control and learning : A behavioral emphasis. Champaign: Human kinetics Publisher*, 302-304

Swinnen, S.P. Lee, T.D., Verschueren, S., Serrien, D.J., & Bogaerds, H. Interlimb, 1997, *coordination learning and transfer under different feedback conditions. Human Movement Science*, 16, 749-785.

Austermann Hula, S.N., Robin, D.A., Ballard, K.J., & Schmidt, R.A., 1997, *Effects of feedback frequency and timing on acquisition retention and transfer of speech skills in acquired apraxia of speech. Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 51, 1088-1113.

Ranganathan, R., & Newell, K.M., 2009, *Influence of Augmented Feedback on coordination Strategies. Journal of Motor Behavior*, 41(4), 2008, 317-330.

Bernard Baumberger, 2013, « feedback vidéo : quatre questions clés », IN *revue de la société pédagogique Hep Vaud*, no19.

Starek, J., & McCullagh, P., 1999, *the effect of self-modeling on the performance of beginning swimmers. The sport psychologist*, 13(8), 269-287.

- Ahmad Arbabi and Maliheh Sarabandi, 2016, *EFFECT OF PERFORMANCE FEEDBACK WITH THREE DIFFERENT VIDEO MODELING METHODS ON ACQUISITION AND RETENTION OF BADMINTON LONG SERVICE*, IN *Sport Science* 9 Suppl 2: 41-45 *Faculty of Physical Education and Sports Science, University of Zabol, Iran.*
- Roosink, M., Robitaille, N., McFadyen, B. J., Hébert, L. J., Jackson, P. L., Bouyer, L. J., & Mercier, 2015, C. *Real-time modulation of visual feedback on human full-body movements in a virtual mirror: development and proof-of-concept. Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 12(1), 1.
- Gomez Jauregui, D. A., Argelaguet, F., Olivier, A. H., Marchal, M., Multon, F., & Lecuyer, A. Toward, 2014, " Pseudo-Haptic Avatars": *Modifying the Visual Animation of Self-Avatar Can Simulate the Perception of Weight Lifting. Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, 20(4), 654-661.
- Chua, P. T., Crivella, R., Daly, B., Hu, N., Schaaf, R., Ventura, D., & Pausch, R., 2003, *Training for physical tasks in virtual environments: Tai Chi. In Virtual Reality, proceedings. IEEE* (pp. 87-94). IEEE.
- Kelly, P., Healy, A., Moran, K., & O'Connor, N. E., 2010, *A virtual coaching environment for improving golf swing technique. In Proceedings of the 2010 ACM workshop on Surreal media and virtual cloning* (pp. 51-56). ACM.
- Anderson, F., Grossman, T., Matejka, J., & Fitzmaurice, G. YouMove, 2013, *enhancing movement training with an augmented reality mirror. In Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology* (pp. 311-320). ACM.
- Bryan T. Kelly,† MD, Sherry I. Backus, PT, Russell F. Warren, MD, and Riley J. Williams, 2002, *Electromyographic Analysis and Phase Definition of the Overhead Football Throw*, in *The American Journal of Sports Medicine* 30(6):837-44.
- Étude non publiée, Thomas Dévaud, 2016, « l'apprentissage du mawashi-geri par la réalité virtuelle », université de Fribourg.

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 publications 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 :