

UNIVERSITÉ DE FRIBOURG, SUISSE  
FACULTÉ DES SCIENCES  
DÉPARTEMENT DE MÉDECINE

En collaboration avec la  
HAUTE ÉCOLE FÉDÉRALE DE SPORTS DE MACOLIN

L'influence de l'âge sur la performance cognitivo-motrice des  
joueurs de football

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

Conseiller: Prof. Dr. Wolfgang TAUBE  
Co-conseiller-ère: Halim HICHEUR

*Steve CHASSOT*  
*Fribourg, Mai, 2016*

# TABLE DES MATIÈRES

<b>RESUME.....</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>3</b>
<b>2. CONTEXTE THEORIQUE .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1. CERVEAU ET PERFORMANCE SPORTIVE .....</b>	<b>4</b>
2.1.1. L'IMPORTANCE DES FONCTIONS COGNITIVES.....	5
2.1.2. LA PERCEPTION VISUELLE .....	6
<b>2.2. EVALUATION DES CAPACITES PERCEPTIVES ET COGNITIVES AU FOOTBALL.....</b>	<b>8</b>
2.2.1. TESTS DE CONCENTRATION MENTALE .....	8
2.2.2. TESTS DE PERCEPTION ET D'ANTICIPATION .....	11
2.2.3. TESTS PSYCHOMOTEURS .....	12
<b>2.3. EVALUATION DES CAPACITES PERCEPTIVES-COGNITIVES DANS LES SPORTS D'EQUIPE .....</b>	<b>16</b>
2.3.1. VISION CENTRALE ET PERIPHERIQUE .....	16
2.3.2. TESTER LA PERCEPTION ET L'ANTICIPATION GRACE A LA REALITE VIRTUELLE .....	17
2.3.3. ENTRAÎNER SES CAPACITES COGNITIVES: 3D NEUROTACKER TECHNOLOGY .....	20
<b>2.4. LE TEMPS DE REACTION .....</b>	<b>22</b>
2.4.1. INFLUENCE DE L'AGE SUR LE TEMPS DE REACTION .....	22
<b>3. PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESE DE TRAVAIL.....</b>	<b>23</b>
<b>4. METHODES .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1. POPULATION TESTEE .....</b>	<b>24</b>
<b>4.2. COGNIFOOT, UN SYSTEME DE MESURE DE LA PCM.....</b>	<b>24</b>
4.2.1. ARCHITECTURE.....	25
4.2.2. AIRE DE JEU .....	25
4.2.3. GRAND ECRAN ET SIMULATION DE L'ENVIRONNEMENT VISUEL .....	25
4.2.4. MESURE EN TEMPS REEL DU MOUVEMENT DU BALLON. ....	26
4.2.5. VALIDATION DES MESURES.....	26
4.2.6. STOCKAGE DES DONNEES.....	27
<b>4.3. TACHE/PROTOCOLE .....</b>	<b>27</b>
<b>4.4. ANALYSES .....</b>	<b>29</b>
<b>5. RESULTATS .....</b>	<b>29</b>
<b>5.1. FREQUENCE CARDIAQUE .....</b>	<b>29</b>
<b>5.2. PRECISION SPATIALE .....</b>	<b>30</b>
<b>5.3. VITESSE DE LA PASSE .....</b>	<b>32</b>
<b>5.4. TEMPS DE REPONSE .....</b>	<b>33</b>
<b>5.5. IMPRESSION DES JOUEURS .....</b>	<b>35</b>
<b>6. DISCUSSION.....</b>	<b>35</b>
<b>REMERCIEMENTS .....</b>	<b>38</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>39</b>
<b>DECLARATION PERSONNELLE.....</b>	<b>42</b>
<b>DROITS D'AUTEUR .....</b>	<b>42</b>

## **Résumé**

La performance cognitivo-motrice (PCM), définie dans ce travail comme la capacité à convertir les informations sensorielles en un choix/geste optimal dans une situation sportive donnée, joue un rôle central dans les sports collectifs et notamment au football. Cependant, nous déplorons au jour d'aujourd'hui un manque de méthodologie et de système permettant de mesurer la PCM. En particulier, l'effet d'un facteur tel que l'âge dans la PCM au football n'a pas encore été documenté. Ce travail a pour objectif de quantifier cet effet de l'âge en étudiant une situation simple de passe courte au football.

Quatre groupes de jeunes footballeurs élités (M12 à M15-M16, N=46) et un groupe de footballeurs adultes (N=10) ont été testés au moyen d'un nouveau système de mesure de la PCM, le système COGNIFOOT (brevet déposé). Chaque joueur devait effectuer une passe aussi précisément et aussi rapidement que possible vers une cible visuelle s'affichant sur un grand écran placé à 5 mètres. Nos résultats suggèrent que l'âge a une influence sur différentes variables de la PCM telles que le temps de réponse ou la précision spatiale en situation de passes courtes chez les jeunes footballeurs élités âgés de 11 à 15 ans. En observant les données enregistrées, il semble que les performances tendent à se stabiliser après 14-15 ans (cf. section 5.). Les conséquences de ces observations sur la compréhension du développement de la PCM chez de jeunes footballeurs élités et leur impact sur l'entraînement et de la détection de futurs talents sont discutées à la fin de ce travail.

## **1. Introduction**

À l'heure actuelle, il existe de nombreux moyens techniques qui nous permettent de mesurer les aptitudes physiques des athlètes. Cependant la tâche s'avère plus difficile lorsqu'il s'agit de quantifier une performance cognitive. Afin de comprendre d'où vient cet intérêt grandissant pour les capacités perceptuelles-cognitives des joueurs de haut niveau, il est nécessaire de remonter quelques décennies en arrière.

Dès le début du XXème siècle, le sport et la psychologie se sont unis dans des recherches communes. L'objectif de la psychologie du sport visait principalement à comprendre et améliorer des traits de personnalité qui pouvaient influencer la performance des athlètes dans différents domaines tels que la motivation, la dynamique de groupe et l'entraînement mental.

On s'est également intéressé à la détection de talents afin de prédire le succès des athlètes. Ces études avaient pour but d'observer la relation entre l'état d'esprit d'un athlète et sa performance sportive mais aucune relation claire n'a pu être démontrée. Différentes analyses ont été effectuées chez les joueurs de sports de balle: des variables telles que le somatotype, la composition corporelle, la taille, la vitesse, l'endurance, les capacités techniques, l'anxiété et l'égo-orientation ont ainsi pu être mesurées. Là aussi, aucune corrélation entre ces variables et le succès des athlètes n'a pu être démontrée (Vestberg, Gustafson, Maurex, Ingvar et Petrovic, 2012).

Aujourd'hui les athlètes sont au top de la performance physique. Ils sont encadrés par des préparateurs professionnels, des spécialistes en diététique et en métabolisme du sport. Cependant, la neuroscience représente une ligne de recherche innovatrice dont le but est de repousser les limites sportives atteintes actuellement. Si le niveau de préparation physique a déjà quasiment atteint son maximum, la préparation cognitive n'en est qu'à son commencement. Or, le cerveau qui est le siège des fonctions cognitives, joue un rôle clé dans la performance sportive. C'est pourquoi les sciences du sport cherchent à développer des nouvelles méthodes d'entraînement afin de soumettre le cerveau à un entraînement cognitif intensif et de l'exercer comme on le fait avec la musculature.

## **2. Contexte théorique**

Afin de comprendre dans quel contexte s'insère notre travail de Master, nous décrirons dans un premier temps quelques notions théoriques pour se diriger ensuite vers différentes méthodes utilisées jusqu'à présent pour examiner les capacités perceptives-cognitives des sportifs.

### **2.1. Cerveau et performance sportive**

L'image du sportif de haut niveau « fort dans ses muscles » et « vide dans sa tête » est assez répandue. Le professeur Jocelyn Faubert, connu pour ses travaux dans le domaine de la neuropsychologie et de la perception visuelle en particulier, conteste ce type de clichés:

*« On imagine souvent que le cerveau des athlètes ne sert pas à grand-chose, c'est vraiment faux car ils orientent leur ressources vers quelque chose, cela ne signifie pas qu'ils sont plus*

*ou moins intelligents mais il y a une forme d'intelligence, de capacité mentale, qui est optimisée pour ce qu'ils font. »<sup>1</sup>*

### **2.1.1. L'importance des fonctions cognitives**

Dans le monde du sport, on a parfois l'idée que la vitesse, la force ou la puissance sont les seuls facteurs qui permettent de gagner des trophées. Les substances dopantes ont encore accentué ces préjugés car elles affectent directement le métabolisme, augmentent la masse musculaire et peuvent même supprimer la sensation de douleur. L'arrivée du domaine cognitif dans le sport de performance est une vraie innovation qui prouve finalement qu'un athlète de classe mondiale ne se caractérise pas uniquement par ses capacités physiologiques. En observant de plus près ce qui se passe au niveau du cerveau, il est possible que l'on puisse par la suite dépasser les limites atteintes jusqu'ici par les meilleurs sportifs.

Les fonctions cognitives sont les processus cérébraux qui entrent en jeu lors de la communication, de la perception de l'environnement, de la concentration, de la mémorisation ou de l'emmagasinement des connaissances. Le siège de ces différentes fonctions se trouve dans différentes aires du cerveau (cf. Figure 1). Par exemple, l'aire motrice est responsable de la planification ainsi que de l'exécution des mouvements volontaires, alors que l'aire visuelle permet de traiter et d'interpréter les informations visuelles de notre environnement.

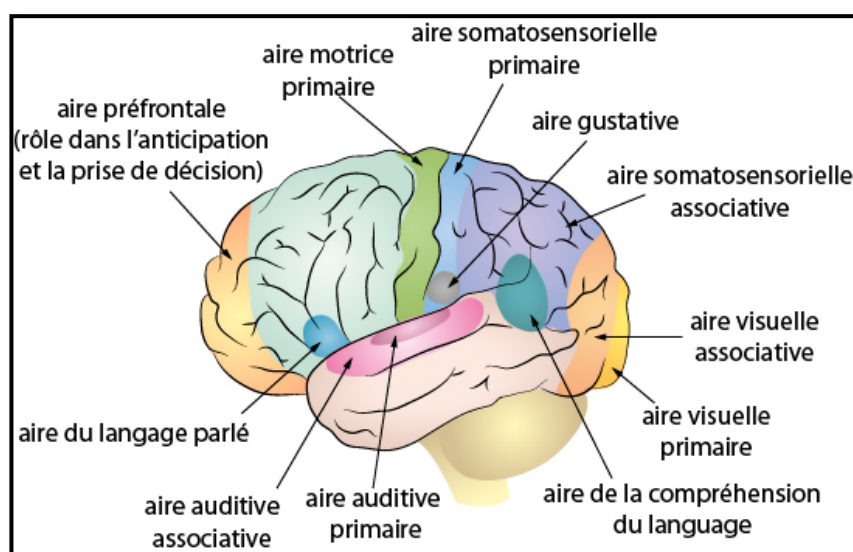


Fig. 1: Les aires corticales.

<sup>1</sup> Reportage effectué par la RTS (émission 36.9° du 6 janvier 2016)

Augmenter les capacités cognitives d'un joueur lui permettrait d'accroître considérablement sa performance globale. Il y a donc un grand potentiel à exploiter dans le monde du sport de compétition. L'entraînement moderne se doit d'être complet. Il est nécessaire de composer les unités d'entraînement en combinant les aspects athlétiques et mentaux de la performance. Le but est d'entraîner le cerveau à réaliser une tâche plus rapidement et ainsi libérer des ressources attentionnelles. De cette façon le joueur peut dédier plus de ressources ailleurs afin d'anticiper un événement futur ou pour traiter plusieurs informations en même temps par exemple.

### **2.1.2. La perception visuelle**

Nous allons dans un premier temps décrire brièvement le processus de détection sensorielle. Chaque modalité sensorielle possède des caractéristiques communes quant à l'encodage de l'information. Dans le cas de la vision, le récepteur sensoriel est la rétine, située au fond de l'œil. Cette dernière est composée de plus de 4 millions de cônes, principalement concentrés dans la partie centrale (la fovéa) et responsables de la vision centrale : cette petite zone est particulièrement importante pour l'acuité visuelle et la vision des couleurs. Elle possède également plus de 100 millions de bâtonnets distribués dans la partie périphérique (cf. Figure 2). Les bâtonnets sont moins sensibles à la luminosité et permettent donc la vision dans un environnement de faible luminosité. Ils sont par ailleurs particulièrement utiles pour la vision du mouvement.

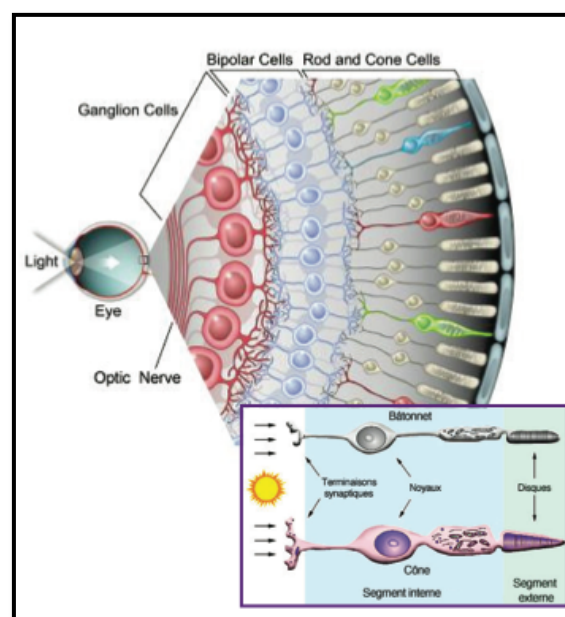


Fig. 2: Répartition des cônes et bâtonnets dans la rétine.

Une scène visuelle est composée de lumière émise par l'environnement. Cette lumière, captée par les photorécepteurs rétiniens, est ensuite transformée en millions de signaux électriques d'abord véhiculés au niveau du nerf optique (mécanisme de transduction). Ces signaux sont ensuite propagés vers la zone occipitale du cerveau vers les aires sensorielles primaires. Les signaux intégrés au niveau des aires primaires sont combinés et envoyés dans deux directions (cf. Figure 3). Ils sont ensuite utilisés pour des fonctions différentes selon le chemin emprunté (Goodale & Milner, 1992). La vision pour le guidage de l'action (distances, vitesse de déplacement, etc.) emprunte la voie dorsale, alors que la vision pour la perception des objets (formes, couleurs, etc.) emprunte la voie ventrale. Les signaux seront ainsi de plus en plus élaborés dans les aires supérieures, permettant l'encodage des différents attributs sensoriels.

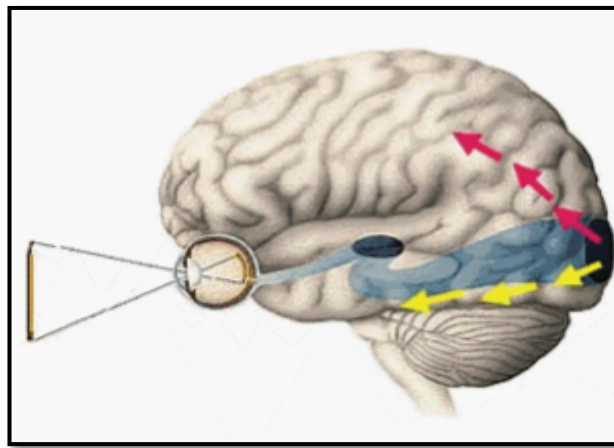


Fig. 3: En jaune la voie centrale, en rouge la voie dorsale.

Lorsque l'on parle de perception, on parle en fait de la mise en relation de deux types de signaux: les signaux sensoriels produits dans les aires supérieures et les signaux internes propres à notre expérience sensorimotrice ou sociale. Tous ces signaux nous permettent d'anticiper les conséquences sensorielles ou sociales de nos actions. Le concept de perception ne se limite donc pas à des seuls capteurs sensoriels qui reçoivent l'information. Selon Berthoz (1997), la perception est l'action de percevoir, c'est une prise de décision qui prépare à l'action. La perception ne peut donc pas être appréhendée sans prendre en compte les mécanismes d'attention, d'apprentissage, de mémoire et de prise de décision.

Le temps de réaction correspond au délai séparant la prise d'information sensorielle de l'initiation du mouvement. Il comprend donc une composante perceptuelle-cognitive et une composante motrice (cf. section 2.4. pour plus de détails sur les différents types de TR).

Dans le sport de haut niveau les capacités visuelles du sportif constituent un point crucial à travailler lors de l'entraînement. En effet, la perception visuelle joue un rôle déterminant dans le sport de performance: cela pourrait être l'élément clé qui différencie un bon joueur d'un joueur exceptionnel. Le un contre un au football illustre bien l'importance de la perception visuelle. Un joueur arrive en face de vous, il peut aller à droite ou à gauche, faire un passement de jambe, etc. Il y a un large éventail de mouvements qu'il faut essayer de percevoir et d'analyser. Le joueur qui minimisera le TR aura plus de chances d'être performant à haut niveau.

## **2.2. Evaluation des capacités perceptives et cognitives au football**

Au football comme dans la plupart des sports collectifs, l'athlète est confronté à un environnement complexe qui évolue rapidement. Avant de planifier une action, le joueur doit prendre en compte une grande quantité d'informations telles que la position de ses coéquipiers et de ses adversaires sur le terrain, le mouvement des joueurs et du ballon, sa propre position sur le terrain, la situation actuelle du match ou encore les consignes du coach. En situation de match il est nécessaire pour le joueur d'être capable de traiter tous ces facteurs efficacement et rapidement. Les processus cognitifs jouent donc un rôle primordial dans la prise de décision et l'exécution du mouvement. Ces qualités sont contenues, avec plus ou moins de précision dans leur définition, dans le vocable sportif de « capacités technico-tactiques » et/ou « d'intelligence de jeu ».

La description des tests perceptifs et cognitifs effectués chez des footballeurs sera extraite de la revue d'Ali (2011). D'après Ali, trois approches ont été utilisées afin de comprendre le lien qui existe entre performance sportive et aptitudes cognitives au cours de l'histoire.

### **2.2.1. Tests de concentration mentale**

Les aptitudes physiques et la coordination de base mises à part, le succès dans les sports de balle dépend également de la « lecture de jeu » du sportif, de sa faculté à exécuter le bon geste au bon moment en prenant en compte la physionomie du match, les déplacements des joueurs, ou encore la contrainte de temps qui lui est imposée. Lors des deux dernières décennies, un grand nombre de capacités perceptuelles-cognitives ont été étudiées en sciences du sport. Ces recherches se sont concentrées sur certains domaines comme l'anticipation visuelle, les



patterns de reconnaissance ou encore la prise de décision. En effet, un bon joueur d'équipe peut être caractérisé par plusieurs compétences cognitives. Les experts possèdent un haut niveau d'attention partagée: ils sont capables de distribuer leurs ressources attentionnelles sur plusieurs éléments importants afin de comprendre la scène visuelle de manière globale. La mémoire de travail est également importante: elle permet de stocker et de manipuler des informations pendant de courtes périodes lors de la réalisation d'une activité. Finalement les experts se démarquent aussi par leur capacité de mentalisation. Ils doivent être capables de s'adapter rapidement, de changer de stratégie et d'inhiber des réponses. Beaucoup de ces habilités sont décrites comme « intelligence de jeu ».

Afin d'étudier ces fonctions cognitives générales, des tests de concentration mentale ont été utilisés. Ces tests typiques « crayon et papier » ont été élaborés par des psychologues. Certains chercheurs ont utilisé ces protocoles avec l'objectif d'étudier les capacités cognitives des footballeurs, comme c'est le cas dans l'étude qui suit.

Dans l'étude de Vestberg et al. (2012), l'importance des fonctions exécutives générales a été étudiée en rapport avec la prédiction du succès d'un joueur de football. Plusieurs aspects ont été testés tels que la créativité, la mémoire de travail, le multi-tasking, et l'inhibition. Ils ont choisi 3 tests provenant de la batterie de test D-KEFS (cf. Figure 4). Le Design Fluency test consiste à dessiner divers patterns avec une contrainte de temps. Le sujet doit créer à chaque essai un nouveau pattern différent des précédents. Il examine la capacité à résoudre des problèmes, la créativité et l'inhibition. Le « Trail-making test » (Reitan, 1958) mesure la flexibilité mentale et l'attention visuelle. Il comprend deux parties. Dans la première partie du test, le participant relie en un minimum de temps des chiffres dans l'ordre croissant. Dans la seconde partie, il effectue la même tâche mais en alternant des chiffres et des lettres. Le « Colour-word interference » test mesure l'habileté à inhiber une réponse automatisée. Le sujet doit nommer la couleur dans laquelle est écrit chacun des mots présentés le plus rapidement possible. Les résultats entre les joueurs de haute division (HD), des joueurs de basse division (LD) et un groupe de population standard ont été comparés.

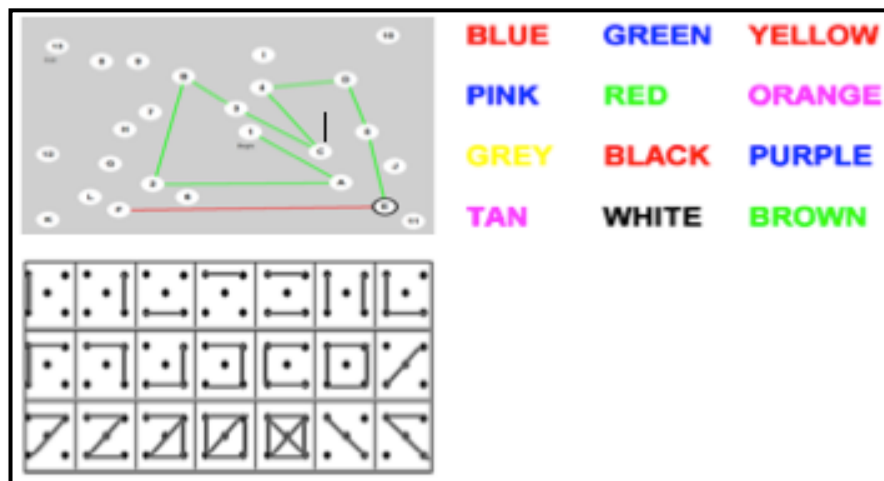


Fig. 4: Trail making test, Colour-word interference test and Design fluency test.

Les résultats obtenus démontrent que les footballeurs de haut niveau possèdent de meilleurs scores aux tests et donc de meilleures fonctions exécutives que les footballeurs de ligues inférieures (cf. Figure 5). De plus, les deux groupes de footballeurs ont de meilleurs résultats que la population standard. On pourrait donc en déduire que les fonctions exécutives jouent un rôle important au football. Il est possible que les joueurs experts développent de meilleures fonctions exécutives même si ces fonctions semblent relativement stables tout au long de la vie.

Bien que ces tests soient relativement simples, peu coûteux et faciles à administrer, leur application au football peut être questionnée. Il se peut qu'ils possèdent un haut degré de validité interne, mais la pauvre validité écologique rend leur usage limité quand il s'agit de mesurer des processus cognitifs complexes spécifiques au football. Grâce à l'avancée technologique, les chercheurs ont pu créer d'autres dispositifs plus spécifiques au football, sans pour autant réussir à véritablement quantifier la performance cognitive des athlètes experts.

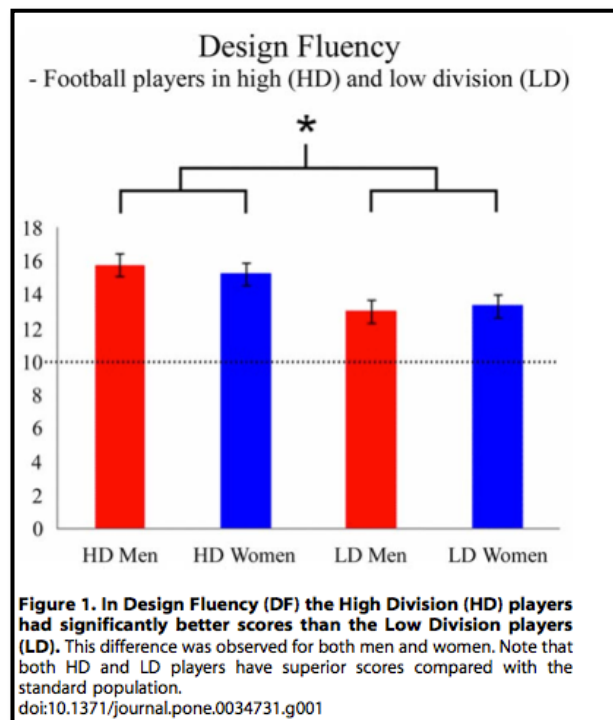


Fig. 5: Résultats du Design Fluency test. (Vestberg et al., 2012)

### 2.2.2. Tests de perception et d'anticipation

La seconde approche se concentre sur un élément essentiel de la performance au football: la perception. Une des tâches critiques pour les athlètes lors d'un match est de percevoir et d'intégrer les informations visuelles les plus utiles provenant de l'environnement.

La plupart des études menées avec des tests de perception et d'anticipation possèdent le même principe de base: le participant observe un certain type d'actions ou de mouvements projetés sur un écran et doit réagir au stimulus en utilisant sa mémoire ou un mouvement prédéterminé. Les tests de perception et d'anticipation permettent aux chercheurs d'examiner divers processus de prise de décision lors de phases de jeu offensives ou défensives.

Les recherches en science du sport ont démontré que les sportifs d'élite se distinguent principalement au niveau de la prise de décision. La qualité et la vitesse des choix sont des caractéristiques qui peuvent distinguer un athlète expert, d'un joueur expérimenté ou d'un novice. La prise de décision et l'anticipation sont des habiletés liées qui offrent au sportif la possibilité de sélectionner la meilleure option en un minimum de temps.

Pour illustrer l'un de ces nombreux tests prenons comme exemple l'expérience de McMorris et Graydon (1996). Ces auteurs utilisent des diapositives avec des séquences de jeu réelles projetées sur un écran (cf. Figure 6). Le participant doit alors choisir quelle est la meilleure option pour le joueur en possession du ballon: tirer, passer ou continuer balle au pied. Les réponses correctes sont approuvées par des entraîneurs expérimentés. On analyse ensuite le temps de réponse et l'exactitude de celles-ci pour chaque sujet. Les résultats démontrent que les joueurs plus expérimentés présentent de meilleures habilités décisionnelles que les novices.



Fig. 6: Le participant fait face à la situation de jeu et doit prendre une décision tactique. (McMorris et Graydon, 1996)

Ces tests peuvent être critiqués car trop statiques, trop éloignés des phases de jeu réelles et parce qu'ils isolent un seul aspect des habilités cognitives. Un autre point à prendre en compte serait la subjectivité des entraîneurs qui décident si la réponse est correcte ou non. Dans tous les cas, ces tests permettent aux scientifiques d'examiner le niveau de perception des athlètes de plus près et de déceler les différences dans les processus cognitifs des novices et des experts.

### **2.2.3. Tests psychomoteurs**

Un grand joueur de football se doit donc de posséder de hauts niveaux de perception et d'anticipation. Cependant toutes ces aptitudes ne lui serviraient à rien si elles n'aboutissaient

pas une réponse motrice appropriée. C'est pourquoi la dernière approche se base sur des tests psychomoteurs, qui combinent des aspects perceptifs-cognitifs et une réponse motrice spécifique au football. Par conséquent, ces tests sont bien plus complets et possèdent une meilleure validité écologique que les tests simplement perceptifs ou cognitifs.

L'étude menée par Helsen et Starkes (1999) illustre parfaitement l'approche psychomotrice. Le sujet se trouve en face d'un écran et doit prendre une décision tactique selon l'image qui s'affiche devant lui (cf. Figure 7). Au contraire du test purement perceptif, le joueur doit cette fois-ci donner une réponse motrice et non pas verbale. Il doit donc exécuter une passe à un joueur libre, un tir ou un drible autour du gardien ou d'un joueur adverse. Le participant est équipé d'un système eye-tracker qui permet de savoir à tout moment vers quel élément il porte son regard. En plus de la vitesse de décision et de la précision de la prise de décision tactique, l'attention est centrée sur le type d'information visuelle utilisée et sur la façon de traiter l'information.

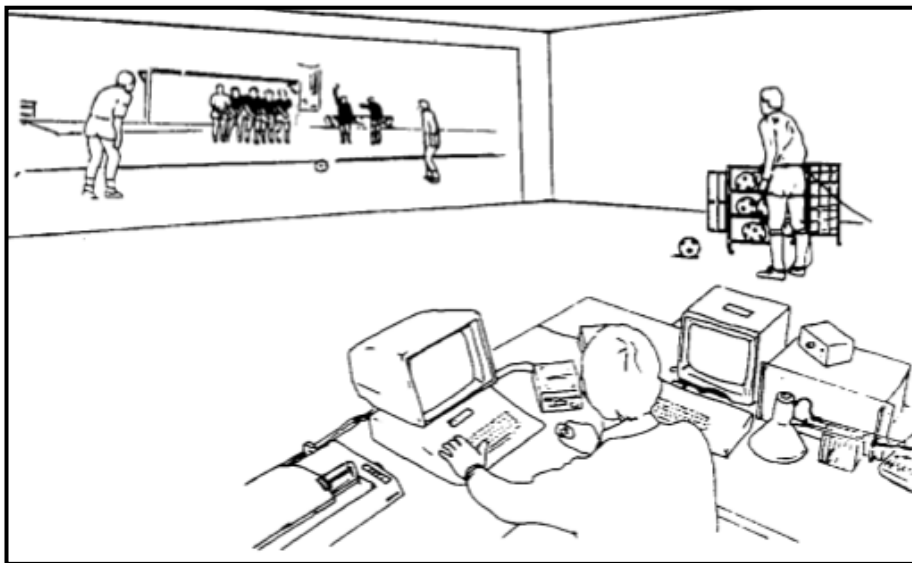


Fig. 7: Tâche de simulation - Film 16 mm (Helsen et Pauwels, 1993).

Dans les sports collectifs, les joueurs doivent gérer une contrainte de temps tout en prenant des décisions rapides et précises. Dans ces conditions, les experts semblent se concentrer plus sur des signaux anticipatoires provenant des joueurs sur le terrain que les novices.

Table 5. Mean values and standard errors (in parentheses) of response times (ms) and response accuracy (%) for both groups in solving game situations, presented by means of 16 mm film

Group	Response times (ms)					Response accuracy (%)
	Initiation time	Movement time	Ball-contact time	Ballflight time	Total response time	
Expert	760 (38.92)	927 (23.68)	1689 (29.44)	694 (22.13)	2363 (41.12)	92 (0.29)
Intermediate	921 (51.17)	934 (30.58)	1851 (39.12)	755 (33.19)	2604 (46.85)	82 (0.57)

Fig. 8: Valeurs moyennes et erreurs standards (entre parenthèse) des temps de réponses (ms) et de la précision des réponse (%) pour les deux groupes lors de la tâche de décision présentée lors de la vidéo.  
(Helsen et Starkes, 1999)

Les résultats ont montré que les athlètes expérimentés étaient capables d'extraire rapidement une information pertinente de la séquence vidéo, ce qui n'était pas le cas pour les sujets intermédiaires (cf. Figure 8). En effet, les experts en football concentrent principalement leur attention sur les défenseurs, et sur les espaces libres. Les joueurs intermédiaires regardent d'abord le ballon, puis les attaquants et le but (cf. Figure 9). Chaque sujet, expert comme intermédiaire, devait effectuer une réponse motrice à un moment concret signalé par l'expérimentateur, ce qui peut biaiser les résultats. Il est donc possible que dans une situation de match réel les experts puissent donner une réponse encore plus tôt dans le jeu et avec moins d'information. Ils pourraient être capables d'utiliser d'autres signaux visuels présents antérieurement pour prendre une décision bien plus rapide.

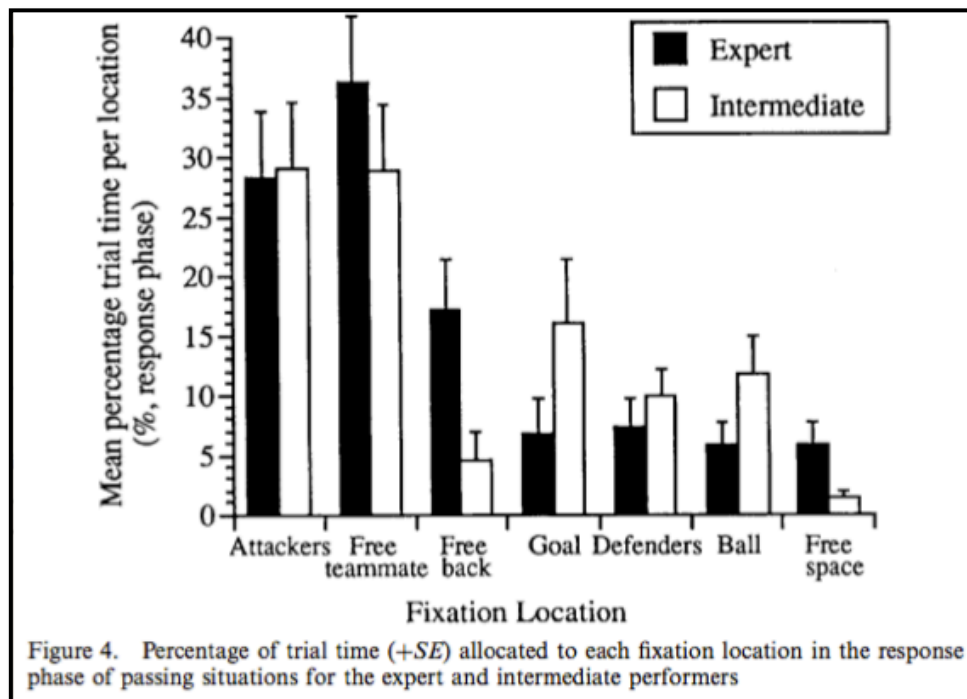


Fig. 9: Temps moyen de fixations du regard pour un essai en (%). (Helsen et Starkes, 1999)

Ces recherches démontrent que la performance de haut niveau est due à la combinaison de processus distincts: la composante perceptuelle, la composante cognitive et la composante motrice. En d'autres termes l'athlète sélectionne et interprète des signaux provenant de son environnement (capacité perceptive), puis traite l'information pour prendre une décision rapide (capacité cognitive), ce qui lui permet finalement de réaliser un mouvement correct et fluide (capacité motrice). Les joueurs de niveaux inférieurs n'arrivent pas à égaler les performances des joueurs élités car ils ne sont pas capables de combiner ces trois aspects de la performance. Cela serait le cas, par exemple, d'un joueur avec de bonnes compétences motrices, doué techniquement balle au pied; mais qui serait incapable de réaliser le bon geste au bon moment lors d'un match car ses capacités cognitives spécifiques au football sont limitées. (Helsen et Starkes, 1999)

En résumé, ces tests psychomoteurs permettent aux scientifiques d'étudier les interactions complexes entre le système nerveux central et les aptitudes motrices, qui sont les éléments clés de la performance technique dans les sports de balle tels que le football. Plusieurs chercheurs (Starkes, 1987; Abernethy et al., 1994; Starkes et al., 1995) ont montré que plus la tâche est spécifique et plus la mesure de l'habileté cognitive est liée au jeu réel, plus la prédiction de la performance est meilleure. C'est pourquoi il est important de créer des tests

qui correspondent au maximum aux conditions de jeu lorsque l'on veut mesurer une performance cognitive (Helsen et Starkes, 1999).

### **2.3. Evaluation des capacités perceptives-cognitives dans les sports d'équipe**

Les études qui suivent n'ont pas été appliquées au football. Cependant, même si chaque sport a ses spécificités, les aspects cognitifs qui entrent en jeu dans les sports d'équipe sont comparables. Afin de compléter cette bibliographie, voici quelques exemples d'expériences réalisées sur les capacités perceptives-cognitives appliquées aux sports collectifs.

#### **2.3.1. Vision centrale et périphérique**

Le but de cette étude de Ryu, Abernethy, Mann, Poolton et Gorman (2013) est d'étudier le rôle de la vision centrale et périphérique lors de la prise de décision des joueurs experts. Un dispositif d'occlusion est utilisé pour présenter sélectivement des informations vers les zones centrales ou périphériques du champ de vision lorsque les participants effectuent une tâche de prise de décision. Un groupe de basketteurs expérimentés et un groupe de basketteurs moins expérimentés ont observé des clips vidéo de séquences de jeu au basketball dans trois conditions différentes: Image entière, vision centrale uniquement et vision périphérique uniquement (cf. Figure 10). Lors de chaque clip vidéo le joueur devait choisir la meilleure option pour le porteur du ballon: faire une passe ou dribbler avec la balle jusqu'au panier. Les joueurs expérimentés ont montré des résultats significativement meilleurs et des temps de réponse plus courts en comparaison avec les joueurs moins expérimentés, et ceci pour les trois conditions.

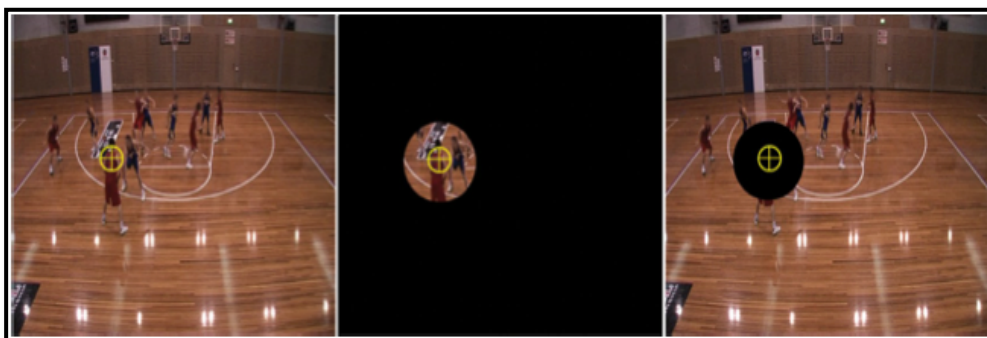


Fig. 10: Les 3 conditions présentées aux sujets. (Ryu et al., 2013)



Ces résultats démontrent une supériorité lors de l'extraction de l'information autant pour la vision périphérique que pour la vision centrale (cf. Figure 11). Le comportement du regard des joueurs expérimentés était moins influencé par les manipulations des occlusions, ce qui suggère qu'ils utilisent les informations disponibles de façon plus efficace pour maintenir un comportement normal du regard. Cela prouve que les experts possèdent des capacités perceptuelles supérieures aux joueurs intermédiaires. Les athlètes avec de meilleures capacités cognitives spécifiques à leur sport sont meilleurs pour anticiper les mouvements des adversaires, et possèdent une meilleure attention périphérique que les novices dans les sports d'équipe.

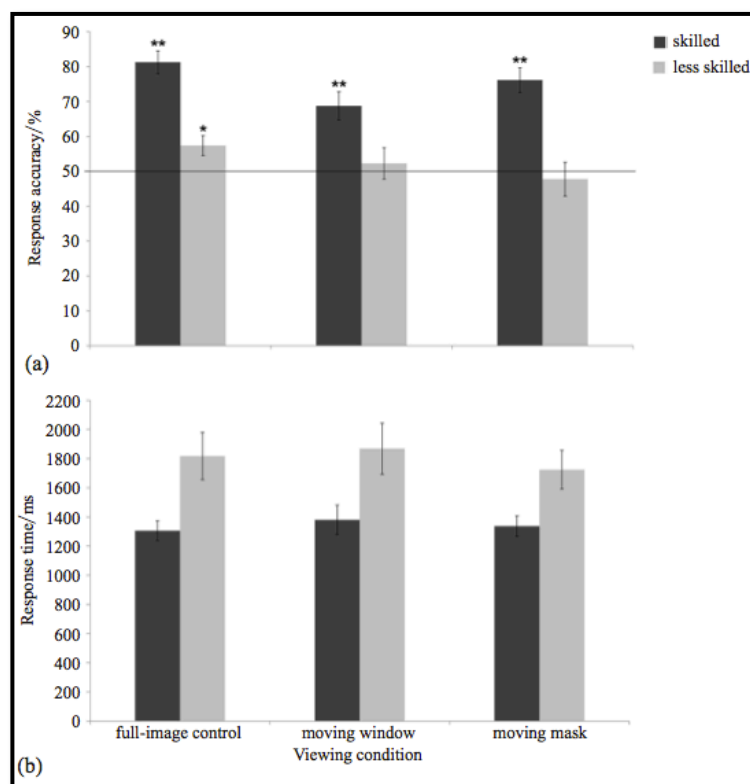


Fig. 11: Résultats du temps de réponse (ms) et de la précision des réponses (%).(Ryu et al., 2013)

### **2.3.2. Tester la perception et l'anticipation grâce à la réalité virtuelle**

La réalité virtuelle se révèle très utile pour améliorer les relations entre perception et action. Elle possède divers avantages par rapport à la vidéo en 2D. Premièrement, dans un environnement virtuel (cf. Figure 12), le sujet et le joueur simulé peuvent interagir virtuellement. De plus, l'expérimentateur peut à tout moment décider quelle information sera envoyée au participant. Deuxièmement, la réalité virtuelle donne la possibilité aux

examineurs de contrôler les facteurs qui peuvent modifier le jugement de l'athlète, en assurant sa reproductibilité pour chaque essai. Troisièmement, en enregistrant les mouvements du sujet en temps réel, les chercheurs peuvent mettre à jour le point de vue du joueur dans l'environnement, ce qui lui donne l'impression d'évoluer dans un espace réel. Finalement, le dispositif de réalité virtuelle est stéréoscopique, ce qui offre au sportif une information quant à la profondeur. Ce point crucial fait gravement défaut au dispositif vidéo en 2D. Grâce à tous ces avantages, le comportement et la perspective du sportif correspondent de très près à la réalité.



Fig. 12: Exemple d'un environnement virtuel. L'environnement a été augmenté pour intensifier l'immersion du joueur. (Bideau et al., 2010)

Dans l'étude de Bideau, Kulpa, Vignais, Brault et Multon (2010), l'objectif principal était d'évaluer les capacités d'anticipation et sa possible relation avec le niveau de performance. La faculté d'anticiper les mouvements des adversaires permet de différencier les athlètes experts des novices dans de nombreux sports avec des contraintes de temps. De cette expérience, la performance est définie par la capacité du gardien de handball à intercepter le ballon lorsqu'il fait face à différentes trajectoires de balle (cf. Figure 13). Les résultats d'un gardien expérimenté et d'un deuxième sujet moins expérimenté ont été comparés.

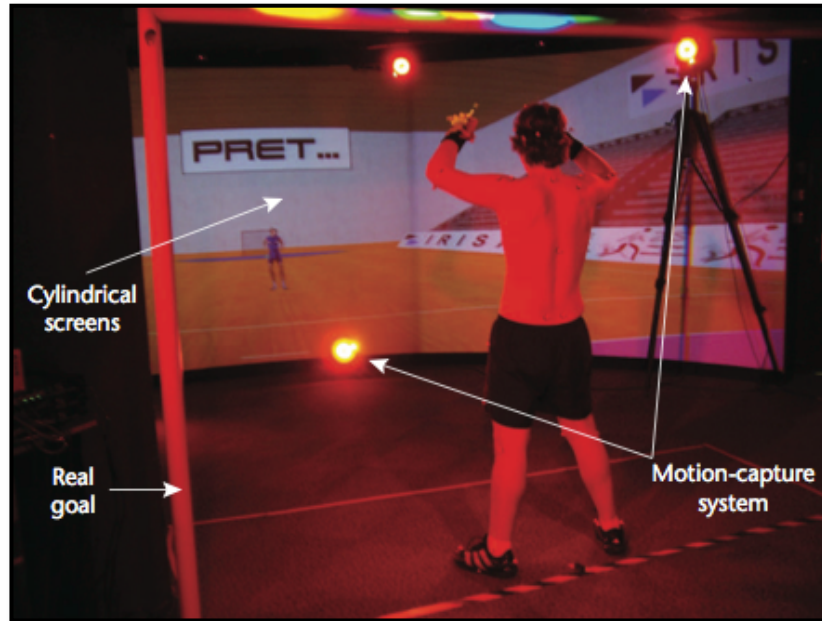


Fig. 13: Un vrai gardien de handball face à un lanceur virtuel. Le dispositif accroît l'immersion et enregistre les actions motrices du gardien en réponse au stimulus virtuel. (Bideau et al., 2010)

Les résultats montrent que le temps de réponse et le pourcentage de mouvements réussis diffèrent entre les deux sujets. Les auteurs ont donc poussé l'étude plus loin pour savoir si l'information visuelle utilisée pour intercepter la balle provenait de la posture corporelle de l'adversaire, de la trajectoire de la balle ou des deux. En utilisant la réalité virtuelle il est possible d'isoler chaque facteur. On a donc présenté au sujets trois conditions différentes: uniquement le mouvement du lanceur (L), uniquement la trajectoire du ballon (B), ou les deux à la fois (LB). Les résultats (B: 70%, LB: 77%, and L: 21%) montrent que dans les deux cas où le ballon est impliqué, le pourcentage de bonnes réponses est plus élevé. On peut en conclure que la trajectoire de la balle est un facteur déterminant pour cette tâche d'anticipation. De plus, le mouvement du lanceur semble augmenter la performance générale.

Grâce à cette technologie, les entraîneurs seraient capables de visualiser et ressentir les mêmes séquences que leurs joueurs. Ils seraient donc plus aptes à les guider en expérimentant l'action ensemble et pourraient donner des feedbacks en temps réel. En combinant l'animation et la simulation on pourrait également créer des scénarios d'entraînement. Il serait donc possible pour un gardien de football de vivre l'expérience d'un coup-franc tiré par Cristiano Ronaldo et d'y répondre en temps réel. La réalité virtuelle a donc un bel avenir devant elle et peut offrir aux athlètes une marge de progression supplémentaire au niveau perceptif-cognitif.

### **2.3.3. Entraîner ses capacités cognitives: 3D NeuroTracker Technology**

Dans les différents articles et études citées précédemment, les tests avaient principalement pour but d'analyser des capacités perceptuelles-cognitives. L'article écrit par Beauchamp & Faubert (2011) présente une nouvelle méthode qui n'a pas pour but d'étudier la performance cognitive mais de l'entraîner.

Le NeuroTracker Technology a vu le jour grâce à l'association des sciences du sport, de la réalité virtuelle et de la neuropsychologie. Il représente une véritable innovation, et une approche de l'entraînement perceptuel et cognitif validée scientifiquement.

Cette technologie d'entraînement permet d'améliorer la performance lors de tâches « MOT » (multiple object tracking) à travers l'entraînement perceptuel-cognitif. Le MOT est une technique expérimentale qui permet d'étudier comment notre système visuel traque plusieurs objets simultanément. Il permet d'améliorer principalement ses capacités d'attention partagée et sa vision périphérique. Il entraîne les athlètes à suivre les mouvements complexes de plusieurs objets tout en distribuant ses ressources attentionnelles sur le champ visuel. Les résultats de cet entraînement ont mis en évidence l'amélioration de différents facteurs. La première amélioration est la diminution du temps de réponse nécessaire pour percevoir des signaux visuels lors d'une séquence de jeu. Grâce au NeuroTracker, les athlètes ont également des temps de prise de décision plus courts lors de la compétition. Finalement, les sportifs ont plus de temps disponible pour choisir la meilleure option et pour effectuer une réponse motrice adéquate. Cette méthode d'entraînement cognitif est utilisée par plusieurs équipes professionnelles de football, de hockey et de rugby. Ces équipes ont intégré ce système dans leur planning d'entraînement annuel et selon les entraîneurs les premiers résultats sont très encourageants. (Beauchamp & Faubert, 2011)

L'entraînement en soi est assez simple, le sujet doit suivre 4 cibles en mouvements qui se croisent et se mélangent avec 4 autres cibles en mouvement dans l'espace virtuel en 3D (cf. Figure 14). Si à la fin du temps imparti l'identification des cibles est correcte, la vitesse de déplacement augmente à l'essai suivant et ainsi de suite. Au contraire, le système s'adapte en diminuant la vitesse si il y a une erreur.

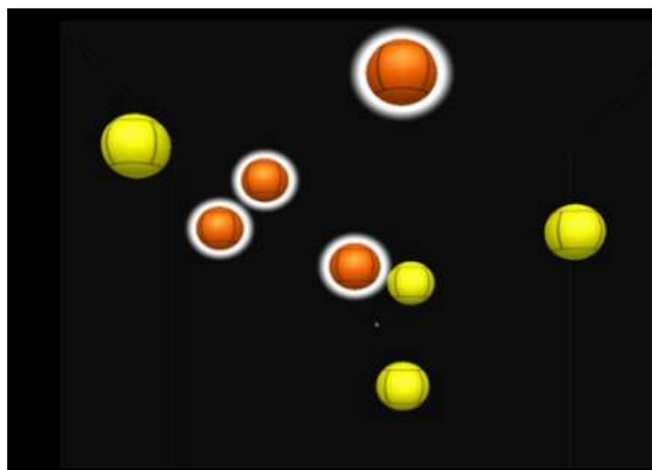


Fig. 14: CogniSens NeuroTracker Core Training. (Beauchamp & Faubert, 2011)

Bien que cela paraisse simple, c'est un processus cognitif complexe qui met les ressources mentales des athlètes à l'épreuve. Les recherches en lien avec le MOT suggèrent que les mécanismes d'attention partagée sont nécessaires pour traiter de telles informations. (Cavanagh & Alvarez, 2005). On considère qu'il est nécessaire de pouvoir suivre différents objets dans un environnement sportif, et principalement dans les sports d'équipes, afin d'anticiper des événements et de prendre de bonnes décisions (Williams, Hodges, North & Barton, 2006). Ces aptitudes sont également importantes dans les sports de combat où les sportifs doivent sélectionner des informations visuelles provenant des mouvements de son adversaire afin de se protéger et attaquer au bon moment. (Mouton & Oberle, 2007).

Les sportifs peuvent être facilement submergés par des demandes simultanées, telles que la pression du temps, la prise de décision, etc. L'accumulation de ces demandes cognitives peut provoquer des interférences et limiter la performance. L'entraînement avec le NeuroTracker 3D permet de distribuer ses ressources attentionnelles de façon plus efficace pour gérer diverses tâches cognitives simultanément. Par conséquent, les athlètes deviennent plus confiants, sont plus rapides dans la prise de décision, améliorent leur attention périphérique et sont plus performants en situation de pression.

Le plus grand avantage du NeuroTracker est son efficacité sur l'entraînement perceptif-cognitif. Une heure passée à suivre des cibles en mouvement produit en moyenne une amélioration de 50% du score. Les résultats ont été confirmés sur la population de base et sur les joueurs élités sur le terrain. On sait désormais grâce à la neuroscience que l'entraînement mental est tout à fait entraînable au même titre que la vitesse, la force ou l'endurance. Une

vraie méthodologie d'entraînement peut donc y être appliqué. Il est possible de le combiner à l'entraînement physique de type circuit training car le dispositif peut facilement être installé dans une salle de gym.

Le NeuroTracker peut également être utilisé en phase de réhabilitation après une commotion: comme ce n'est pas une tâche physique, l'athlète peut continuer de s'entraîner intensivement. Le joueur reviendra donc avec des habilités augmentées et une meilleure confiance en soi dans cette période critique du processus de réhabilitation.

## **2.4. Le temps de réaction**

D'après Ripoll (2004), la vitesse de traitement de l'information est mesurée par diverses opérations effectuées entre l'apparition d'un événement (stimulus) et le déclenchement de la réponse. La durée du temps de réaction (TR) est proportionnelle à la quantité d'information à traiter.

Il existe deux types de temps de réaction. On dit d'un temps de réaction qu'il est simple (TRS) lorsque la situation ne comprend qu'un seul stimulus, une seule réponse et une incertitude temporelle concernant seulement l'apparition du stimulus (départ de course). On dit d'un temps de réaction qu'il est complexe (TRC) lorsque plusieurs stimuli sont associés à plusieurs réponses en présence ou non d'une incertitude temporelle (les situations de sports collectifs privilégient les situations de TRC).

Toujours selon Ripoll (2004), la vitesse de la réponse dépend principalement de deux facteurs: la faculté de prédire les événements auxquels le sportif doit faire face et la complexité de la réponse motrice à effectuer. L'objectif de l'entraînement est donc de diminuer le TR. Pour ce faire il est important d'une part de répéter les exercices, de multiplier les liens entre les stimuli et les réponses, et d'autre part d'apprendre à l'athlète à ignorer les stimuli qui ne sont pas pertinents exécuter la tâche motrice.

### **2.4.1. Influence de l'âge sur le temps de réaction**

Plusieurs études montrent que le temps de réaction diminue depuis l'enfance jusqu'à 20-25 ans, augmente ensuite lentement jusqu'à 50-60 ans, puis augmente encore de façon plus

significative jusqu'à 70 ans et plus (Welford, 1977; Jevan and Yan, 2001; Luchies et al., 2002; Rose et al., 2002; Der and Deary, 2006). Luchies et al. (2002) ont également signalé que l'effet de l'âge sur le TR était plus marqué lors de tâches complexes. Welford (1980) pose une hypothèse intéressante sur le ralentissement du temps de réaction avec l'âge. Selon lui l'augmentation du TR ne serait pas qu'un simple « facteur mécanique ». lié à la vitesse de conduction nerveuse. Il est probable que les personnes plus âgées contrôlent leurs réponses de façon plus minutieuse (Botwinick, 1966). De plus, lorsque les personnes âgées sont perturbées par une distraction, elles ont plus tendance à focaliser leur attention sur un stimulus au détriment d'un autre stimulus (Redfern et al., 2002). Finalement, Myerson et al. (2007) ont démontré que les adultes plus âgés étaient autant capables d'assimiler les informations que les plus jeunes mais ils prenaient plus de temps à réagir.

### **3. Problématique et hypothèse de travail**

Les carences des études concernant l'évaluation de la performance cognitivo-motrice (PCM) en football ont été soulignées dans la première partie de ce rapport. En effet, faute de mesures objectives et de méthodologie appropriée, la mesure de temps de réponse/réaction (par exemple) dans une situation de jeu proche de la réalité n'est pas possible. Par conséquent, l'effet d'un facteur tel que l'âge sur le TR au football n'a pas encore été documenté.

Dans notre étude, nous emploierons le terme « performance cognitivo-motrice » (PCM) pour parler de l'ensemble des qualités perceptivo-cognitives et motrices mises en jeu dans une situation donnée. Plus précisément, la PCM est définie ici comme la capacité à convertir les informations sensorielles en un choix/geste optimal dans une situation sportive donnée. La notion d'optimalité intègre aussi bien des variables temporelles (liées au temps de réaction/réponse) que spatiales (précision du geste). Dans ce cadre, nous avons calculé le temps de réponse plutôt que le temps de réaction : ce temps de réponse peut correspondre au temps de réaction complexe (cf. section 2.4.). En effet, un haut niveau de PCM nécessite non seulement d'effectuer des choix rapides mais également de les exécuter (au niveau du geste) rapidement. Le temps de réponse contient ces deux aspects et est donc un bon indicateur de la composante temporelle de la PCM.

Ce travail a pour objectif de quantifier l'effet de l'âge en étudiant une situation simple de passe courte au football. L'intérêt de ce travail est triple :

- Au niveau méthodologique/technologique : il s'agit de l'utilisation d'un nouveau système développé pour mesurer la PCM en situation proche d'une situation réelle.
- Au niveau théorique : la mesure d'un potentiel effet de l'âge sur la PCM peut être documentée pour la première fois.
- Au niveau sportif : l'intérêt du système utilisé pour la détection des talents au football pourrait être permise dès lors que la mesure objective de la PCM est réalisée.

## **4. Méthodes**

### **4.1. Population testée**

L'étude comprend 56 joueurs, dont 46 sont âgés de 11 à 15 ans (moyenne 13.23; écart-type 1.39), faisant parti du team AFF, club formateur des jeunes joueurs élites du canton de Fribourg. Les 46 joueurs ont été répartis en 4 catégories (M12: N=14; moyenne 11.56; écart-type 0.31 / M13: N=7; moyenne 12.59; écart-type 0.22 / M14: N=10; moyenne 13.79; écart-type 0.71 / M15+M16: N=15; moyenne 14.71; écart-type 0.43). Ces jeunes joueurs élites s'entraînent au minimum 4 fois par semaine et possèdent une expérience footballistique de 6 à 10 ans selon leur âge. Les 10 autres participants sont des joueurs adultes expérimentés, âgés de 18 à 36 ans, jouant au football 1 à 2 fois par semaine (moyenne 27.57; écart-type 5.92). Une première série de 12 joueurs du team AFF a passé le test durant l'été 2015 alors que le reste des participants ont passé le test durant l'hiver 2015-2016. Enfin, deux joueurs M15 ont passé les tests en été et en hiver, avec des résultats similaires durant les deux sessions.

### **4.2. COGNIFOOT, un système de mesure de la PCM**

Le système COGNIFOOT est un système d'évaluation et d'entraînement de la PCM en football. Il a été développé par le Dr Halim Hicheur (brevet déposé auprès de l'Institut Suisse de la Propriété Intellectuelle le 19 février 2016, sous la référence CH00215/16). Dans le cadre de ce travail (cf. clause de collaboration et de confidentialité joint en annexe), un premier prototype de ce système a été mis à disposition de l'unité des Sciences du Sport et du Mouvement de l'université de Fribourg.



Etant donné que le système est toujours en cours de développement, les détails techniques concernant ce système ne seront pas décrits. En revanche, l'architecture globale du système utilisé ainsi qu'un protocole de validation des mesures effectuées est détaillé comme suit.

#### **4.2.1. Architecture**

Le système COGNIFOOT v1 que nous avons utilisé représente un module du système COGNIFOOT final. Ce premier prototype de COGNIFOOT a été installé dans une salle aménagée au sein de la société Realsport (partenaire du projet) à Rossens. Dans cette version v1, le joueur est positionné sur une aire de jeu et doit frapper un ballon posé devant lui vers une cible visuelle affichée sur un grand écran. Il consiste en plusieurs modules décrits ci-dessous.

#### **4.2.2. Aire de jeu**

Le joueur est positionné sur une aire de jeu (gazon synthétique) de 8 mètres de longueur x 5 mètres de largeur. Il fait face à un grand écran (4 mètres de largeur x 3 mètres de hauteur) placé à 5,5 mètres de lui. Un ballon est placé devant le joueur à 5 mètres de l'écran.

#### **4.2.3. Grand écran et simulation de l'environnement visuel**

Un stimulus visuel a été projeté sur le grand écran via un projecteur (BenQ MH740, FullHD, luminosité : 4000ANSI, 3D) générant une image HQ connecté à l'ordinateur principal via le port HDMI. L'écran utilisé a consisté en une bâche dont la matière absorbe les chocs (provoqués par l'impact du ballon par exemple) d'un solide dont la vitesse peut atteindre jusqu'à 250 km/h (Realsport ®).

La durée et toutes les propriétés de l'environnement visuel sont contrôlées par l'expérimentateur via une interface informatique dédiée. Dans notre étude, nous avons utilisé des objets statiques de différentes couleurs s'affichant pendant des durées allant de 200 à 500 millisecondes (cf. section 4.3. pour plus de détails concernant le protocole).

#### **4.2.4. Mesure en temps réel du mouvement du ballon.**

Huit caméras de capture de mouvement (Optitrack, NaturalPoint © Oregon, USA) permettant de détecter le mouvement de marqueurs réfléchissants la lumière infra-rouge ont été placées au-dessus de l'aire de jeu de sorte à ce que le ballon ne puisse les toucher. Ces marqueurs ont été fixés sur ballon de manière aléatoire et la position 3D de l'objet « ballon » a été détectée à une fréquence de 360 mesures par seconde, permettant ainsi la reconstruction de la trajectoire du ballon depuis la frappe du ballon jusqu'à l'impact du ballon sur l'écran. Ces données ont été transmises en temps réel vers l'interface logicielle contrôlant également l'environnement visuel si bien que les processus de simulation/mesure sont totalement synchronisés.

#### **4.2.5. Validation des mesures**

##### *Mesure du temps de réponse*

Une caméra haute-vitesse (CASIO Elixir enregistrant à une fréquence de 600 images par seconde) a été utilisée pour filmer 9 tirs. Celle-ci a été placée de sorte à filmer à la fois le ballon depuis sa position de départ et les cibles apparaissant sur l'écran géant. Le système COGNIFOOT v1 a également été activé durant ces séquences de 9 tirs.

Dans le premier cas, la mesure du temps de réponse (défini comme le délai entre l'instant d'apparition physique de la cible sur le film de la caméra et l'instant où le ballon a commencé à quitter le pied du joueur) a été effectué en comptant le nombre d'images qui a ensuite été converti en unité de temps (secondes). Dans le second cas, ce délai a été calculé de manière automatique par le programme COGNIFOOT comme le délai entre l'instant (machine) de lancement de la commande d'affichage de la cible et l'instant détecté (via le système de capture de mouvement) de premier mouvement du ballon.

Le coefficient de corrélation entre ces deux mesures est de 0.987, garantissant ainsi que la mesure du temps de réponse est fiable.

### Mesure de la distance entre la position du ballon à l'impact et la cible

Une procédure de calibration de l'écran via le système OPTITRACK a permis de convertir la position du ballon depuis une unité métrique vers une unité en pixels et vice-versa. La mesure de la position du ballon à l'impact contient donc une erreur donnée par le constructeur des caméras (0.1 mm par marqueur placé sur le ballon) ajoutée à une erreur liée à l'homogénéité de l'image du projecteur. Les tests réalisés ont permis de montrer que quelle que soit la position de la cible sur l'écran, l'erreur dans l'estimation de la position du ballon à l'impact, à une distance de projecteur-écran de 6,32 mètres, ne dépassait jamais 2 centimètres. La position de la cible a elle été convertie en unité métrique via le même processus de calibration et la distance ballon-cible a été enregistrée en temps réel à la fois en mètres et en pixels.

#### **4.2.6. Stockage des données**

L'ensemble des données (e.g. trajectoire en 3D du ballon, propriétés de la cible, temps de réponse, vitesse du ballon) a été enregistrée en temps réel par essai dans un seul fichier sous forme de structure au format matlab (.mat). Ce fichier a ensuite été utilisé pour nos analyses conduites à l'aide du logiciel Matlab (Mathworks ©).

### **4.3. Tâche/Protocole**

Des explications ont été données aux participants au préalable concernant le dispositif mis en place. Les sujets ont également reçu les consignes nécessaires pour la réalisation de la tâche.

Dans cette étude nous avons mesuré la réactivité et la précision des joueurs de football en situation de passes courtes (cf. Figure 15). Pour ce faire, le joueur devait viser le plus rapidement et précisément possible une cible blanche affichée sur l'écran. La cible apparaissait aléatoirement à une position différente pour chaque essai (droite, gauche, centre, à ras de terre, à 50cm de hauteur, à 1m de hauteur).

Un signal sonore a été utilisé avant chaque essai, puis la cible blanche était affichée pendant des durées allant de 200 à 500ms. De plus, lors de certains essais, un ou plusieurs distracteurs (cibles jaunes) apparaissaient en même temps que la cible blanche de façon aléatoire.



Fig. 15: Test Cognifoot

Les sujets ont d'abord passé un pré-test afin de s'habituer au protocole ainsi qu'au ballon. Le pré-test consiste à effectuer une série de 16 passes dans les conditions citées précédemment. Après chaque essai un feedback (cible violette) est affiché à l'endroit où le ballon a touché l'écran. Par la suite les participants devaient effectuer le test réel qui comprend 6 séries de 18 passes avec des pauses de 30 secondes entre chaque série. Lors du test réel les joueurs ne recevaient plus de feedback. Un total de 108 passes a donc été réalisé par chaque joueur, ce chiffre ayant été choisi en lien avec le nombre maximal de contacts avec le ballon lors d'un match de football de haut niveau (le cas de Sergio Busquets au FC Barcelone notamment).

Les phases d'explication, de pré-test et de test ainsi que la mesure de la fréquence cardiaque a représenté un temps compris entre 35 et 45 minutes en général. Celui-ci pouvait être plus long en cas de problème technique ou de pauses plus longues entre les différentes étapes citées ci-dessus.

La fréquence cardiaque des sujets a été mesurée avant et après le test afin d'évaluer la potentielle demande physiologique du test.

#### **4.4. Analyses**

Les variables suivantes ont été calculées en temps réel et stockées pour chaque joueur : temps de réponse, distance entre la cible et le ballon (erreur spatiale de la passe) à l'impact et vitesse de la frappe/passe.

L'influence de l'âge sur ces paramètres a été effectuée au moyen de deux outils statistiques différents. Nous avons d'abord effectué une régression linéaire afin d'analyser la corrélation entre l'âge et chacune des 3 variables précédemment citées. Dans un deuxième temps, des groupes ont été établis (M12, M13, M14, M15+M16, adultes), en vue d'effectuer des tests statistiques. Ces tests ont été réalisés à l'aide du logiciel Statistica (v8.0 Statsoft ©). Des tests ANOVA avec mesures répétées ont été réalisés pour comparer les moyennes pour chaque groupe d'âge et pour chacune des variables mesurées.

### **5. Résultats**

#### **5.1. Fréquence cardiaque**

Afin d'évaluer une potentielle demande physiologique du test nous avons mesuré la fréquence cardiaque (FC) de chaque sujet avant et après le test.

Après avoir passé le test, la FC varie entre 0% et 30% de la FC au repos chez la grande majorité des jeunes joueurs élités comme pour les joueurs expérimentés adultes (cf. Figure 16). Ces résultats indiquent que la FC n'a que légèrement augmentée chez la quasi-totalité des sujets. Cette expérience qui vise à évaluer les capacités cognitives des joueurs de football ne présente donc pas de demande physiologique significative.

Même chez les 4 joueurs (3 jeunes et 1 adulte) présentant une variation de plus de 40 % de la FC de repos, on atteint un maximum de 68 % d'augmentation de la FC de repos, soit un passage de 60 battements par minute (bpm, FC de repos arbitrairement choisie) à 101 bpm au maximal. A titre de comparaison, la zone 1 d'entraînement (échauffement-récupération) chez un adulte de 30 ans (par exemple) se situe à 50-60% de la FC max. Elle génère donc une augmentation de 108% de la FC de repos, soit un passage de 60 bpm à 125 bpm.

Par ailleurs, aucun effet de l'âge n'a pu être observé sur l'évolution de la FC avant et après le test.

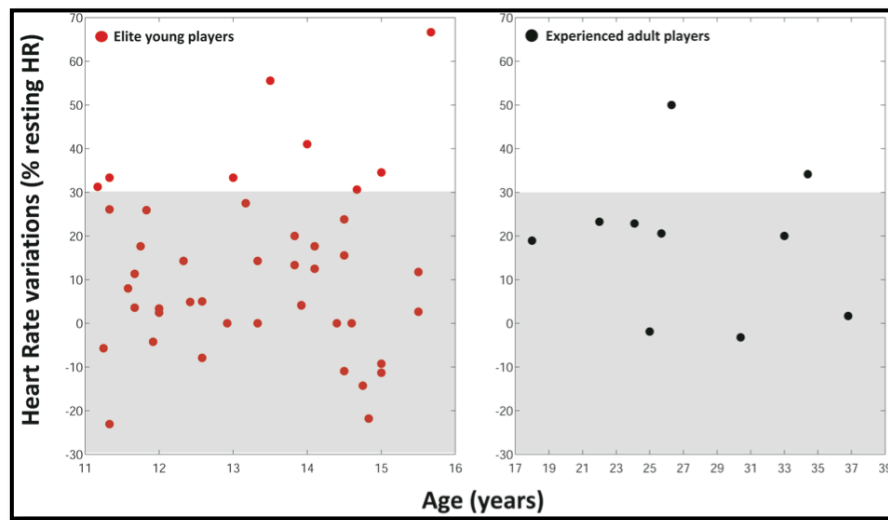


Fig. 16: Variation de la FC exprimée en (%) de la FC au repos. Dans notre étude, la FC au repos correspond à la FC mesurée juste avant le test.

## **5.2. Précision spatiale**

Afin d'évaluer la précision spatiale des passes, nous avons mesuré la distance entre la cible et le ballon au moment de l'impact avec l'écran (erreur spatiale de la passe).

Les résultats montrent que la précision augmente (l'erreur diminue) avec l'âge chez les jeunes joueurs élités de 11 à 15 ans (cf. Figure 17). Le coefficient de corrélation élevé (0.81) indique qu'il existe une influence de l'âge sur la précision des passes chez les jeunes footballeurs. On remarque que les données sont plus dispersées chez les adultes. Néanmoins, on observe que le niveau des adultes correspond à celui des jeunes footballeurs d'élite âgés de plus de 14 ans. Il semble qu'il existe un plateau dans la précision spatiale des passes à partir de 14 ans.

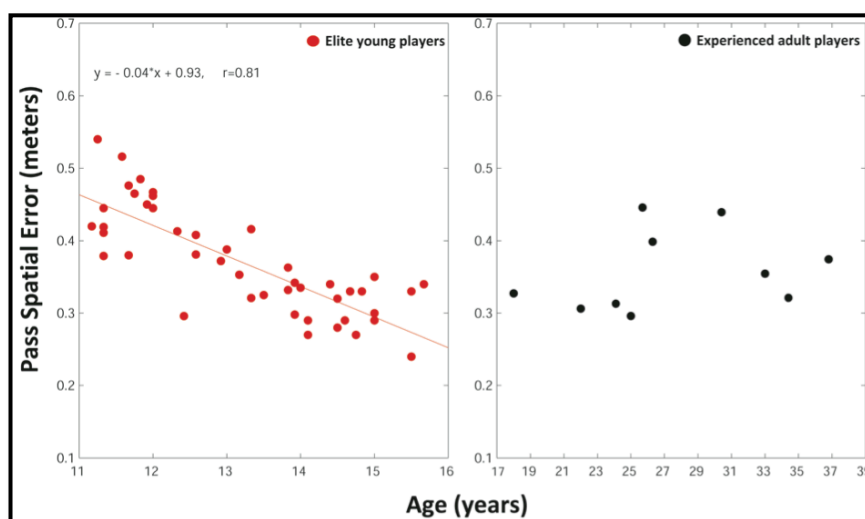


Fig. 17: Résultats de la précision spatiale en fonction de l'âge. Erreur exprimée en (m).

En regroupant les données par catégorie d'âge, on constate également que les jeunes joueurs M12 et M13 ont de moins bons résultats que les adultes. Les M14 ont pour leur part des résultats proches de ceux des adultes expérimentés. Il est également intéressant d'observer que les jeunes footballeurs de la catégorie M15/M16 sont plus performants que les adultes expérimentés quant à la précision des passes (cf. Figure 18).

Cet effet de l'âge a été confirmé statistiquement ( $F(4, 24)=10,665$ ,  $p<0.01$ ). Le groupe M13 ne comportant que 7 joueurs, nous avons donc groupé les groupes M12-M13 ( $N=21$ ) et M14-15-16 ( $N=25$ ) via une analyse post-hoc qui a confirmé cette différence significative ( $F(2, 40)=30,13$ ,  $p<0.01$ ). Le même effet significatif était obtenu en comparant M12-13 vs M14-15-16-Adultes ( $F(2, 40)=22,11$ ,  $p<0.01$ ).

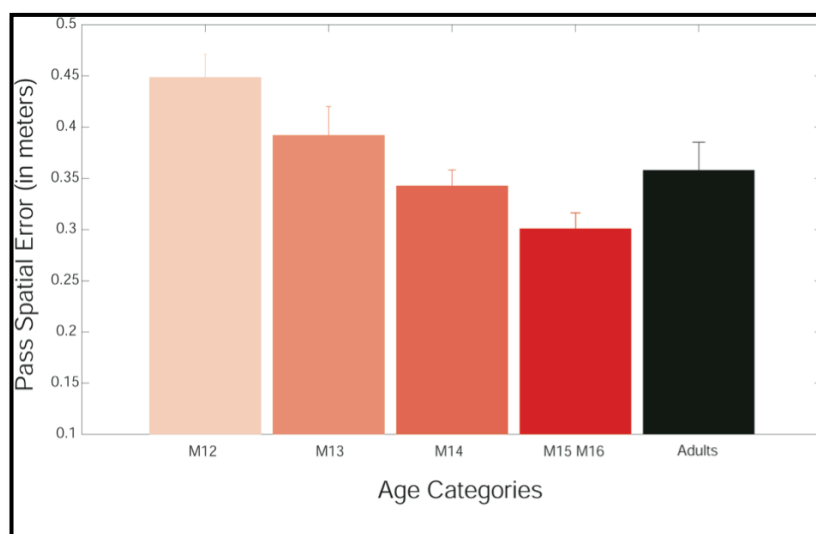


Fig. 18: Résultats de la précision spatiale en (m) par catégorie d'âge.

### 5.3. Vitesse de la passe

La vitesse du ballon est également un indicateur de la qualité d'une passe. Une passe appuyée permet de faire circuler le ballon du point A au point B sans que l'adversaire ne puisse l'intercepter.

Le coefficient de corrélation élevé (0.62) indique que la vitesse de la passe est influencée par l'âge des jeunes joueurs élités (cf. Figure 19). Les données sont plus dispersées chez les adultes mais l'on constate que la majorité des adultes effectuent les passes à une vitesse comprise entre 40 et 45 km/h.

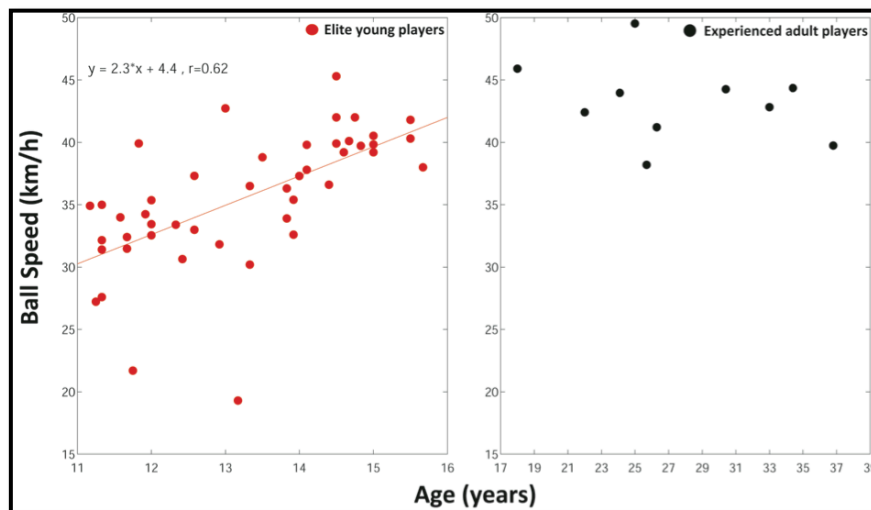


Fig. 19: Résultats de la vitesse de la passe en (km/h) en fonction de l'âge.

Si l'on observe les résultats par catégories d'âge, on remarque que les adultes effectuent des passes plus appuyées que celles des joueurs M12, M13 et M14 (cf. Figure 21). L'aspect morphologique peut évidemment expliquer une telle différence. En effet, un enfant de 13 ans et un adulte ne possèdent pas la même masse musculaire ni la même force.

Cependant, la vitesse des passes dans la catégorie M15/M16 est supérieure aux autres catégories de jeunes joueurs élités et légèrement inférieure à celle des adultes expérimentés (cf. Figure 20). Etant donné que les joueurs M15/M16 étaient la catégorie la plus performante au niveau de la précision, on peut supposer qu'ils sont également plus aptes à doser la puissance de leurs passes pour trouver le bon compromis entre force et précision.



Cet effet de l'âge a été confirmé statistiquement ( $F(4, 24)=12,15$ ,  $p<0.01$ ). En revanche, aucune différence significative n'a été observée entre les groupes M12, M13 et M14 ( $p>0.05$ ). Une comparaison post-hoc a révélé une différence significative entre les groupes M12-M13-M14 et le groupe M15-16-Adultes ( $F(2, 48)=55,65$ ,  $p<0.01$ )

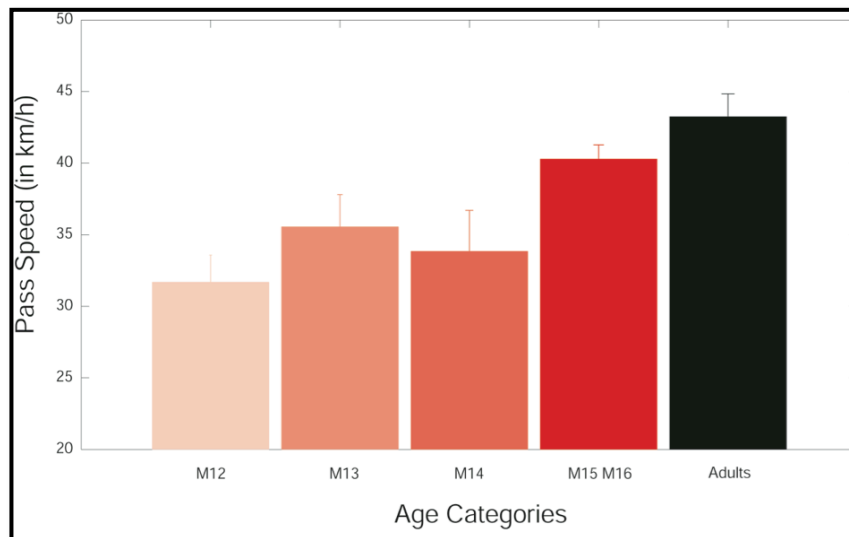


Fig. 20: Résultats de la vitesse de la passe en (km/h) par catégorie d'âge.

#### **5.4. Temps de réponse**

Le temps de réponse des athlètes a été défini comme le délai entre l'instant d'apparition physique de la cible sur le film de la caméra et l'instant où le ballon a commencé à quitter le pied du joueur.

Bien que le coefficient de corrélation soit peu élevé (notamment du fait de la grande dispersion des données pour une même catégorie d'âge), le temps de réponse tend à diminuer avec l'âge chez les jeunes joueurs élités (cf. Figure 21). Il semble qu'en suivant cette tendance, un plateau se forme dès 14-15 ans sur les données enregistrées. Il serait intéressant de passer le test avec des jeunes joueurs élités plus âgés afin de vérifier cette supposition. Encore une fois, les données des adultes expérimentés sont plus dispersées.

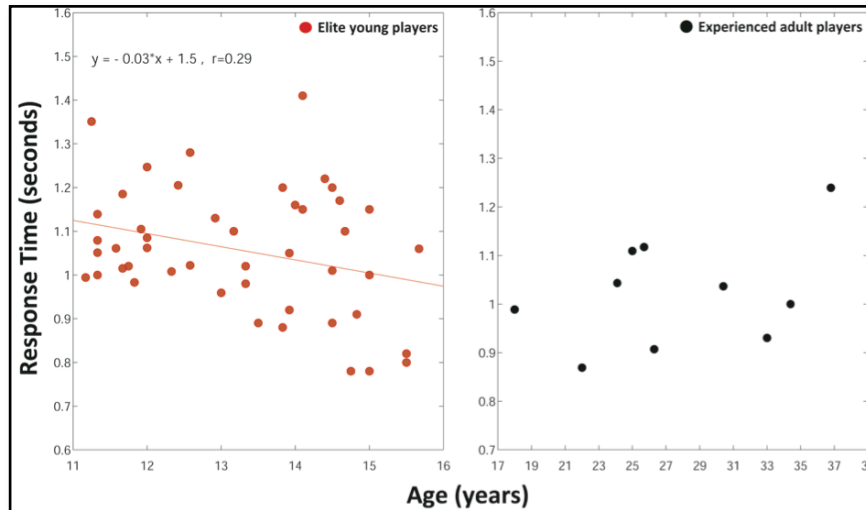


Fig. 21: Résultats des temps de réponse en (s) en fonction de l'âge.

L'analyse par catégorie d'âge est un autre moyen d'observer que le temps de réaction à tendance à diminuer avec l'âge (cf. Figure 22). Les adultes expérimentés possèdent des résultats similaires à ceux des joueurs élités âgés de 14 à 15 ans.

De plus, on constate que les catégories M12/M13 sont moins performantes que le reste des sujets. Ceci peut s'expliquer par le fait que les joueurs M12 et M13 possèdent une courte expérience au niveau élit (2 années passées au niveau élit en moyenne pour ces 2 catégories).

Cet effet de l'âge a été confirmé statistiquement ( $F(4, 24)=3,10, p=0.034$ ). Cet effet demeurerait significatif si la comparaison ne portait que sur les jeunes footballeurs élit ( $F(3, 18)=3,876, p=0,0267$ ), révélant que pour un même niveau de pratique, le temps de réponse diminuait d'environ 100 ms de la catégorie M12 à la catégorie M15-16. Une comparaison post-hoc a révélé une différence significative entre les groupes M12-M13 et le groupe M14-M15-16-Adultes ( $F(1, 48)=12,69, p=0.012$ ). Il semble donc que la transition dans l'amélioration du temps de réponse a lieu entre 13 et 14 ans.

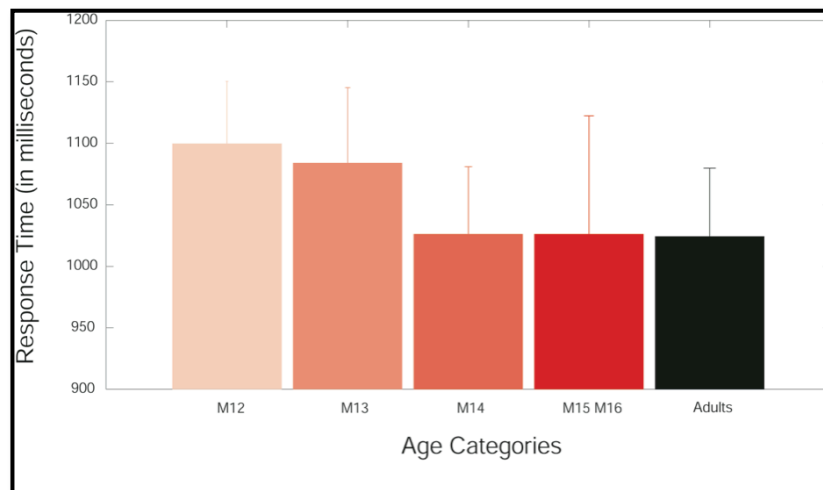


Fig. 22: Résultats des temps de réponses en (s) par catégorie d'âge.

### **5.5. Impression des joueurs**

Le test a été très bien reçu par l'ensemble des participants. Les plus jeunes comme les adultes étaient très enthousiastes à l'idée de tester une méthode d'évaluation novatrice au football. En effet, ils ont eu l'occasion de mesurer concrètement leurs performances cognitivo-motrices pour la première fois. Les joueurs ont donc apprécié de pouvoir être évalués objectivement et de pouvoir se comparer au reste des participants.

De plus, certains jeunes ont montré un véritable intérêt pour cette expérience. Ils nous ont confié qu'ils utiliseraient volontiers le système COGNIFOOT afin d'avoir un suivi de leur évaluation durant la saison, et désireraient l'utiliser également comme outil d'entraînement.

## **6. Discussion**

Lors d'un match de football, les joueurs reçoivent de nombreuses informations provenant de leur environnement. L'athlète doit donc être capable de traiter les informations pertinentes pour produire une réponse motrice adéquate en un minimum de temps. Les aptitudes cognitivo-motrices apparaissent donc comme essentielles pour la performance au football. Néanmoins, il était jusqu'à présent impossible de quantifier cette performance cognitivo-motrice (PCM) en situation proche d'une situation réelle dû au manque d'études sur le sujet et des limitations technologiques.

Par conséquent, l'intérêt de ce travail était d'utiliser une nouvelle méthodologie en utilisant un système novateur développé dans le but de mesurer la PCM en situation de jeu proche de la réalité. Le système COGNIFOOT nous a donc permis de mesurer pour la première fois l'effet de l'âge sur la PCM au football. Cette étude inclue 46 jeunes joueurs élités âgés de 11 à 15 ans et 10 joueurs adultes expérimentés. Différentes variables ont été analysées lors d'une situation simple de passe courte au football.

### ***Précision spatiale***

Nous avons analysé l'effet de l'âge sur la précision spatiale en situation de passe courte pour des jeunes joueurs élités M12 à M15 et pour des adultes expérimentés. Nos résultats ont montré que l'âge a un effet significatif sur la précision des passes chez les jeunes footballeurs. Nos données indiquent par ailleurs que la précision augmente jusqu'à 15 ans puis se stabilise. Il sera donc intéressant de vérifier cette tendance avec des joueurs élités de plus de 15 ans. De plus les joueurs M15/M16 ont obtenus de meilleurs résultats que les adultes expérimentés. Une étude de Roca, Williams et Ford (2012) démontre que la moyenne d'heures accumulées pendant l'enfance dans une activité de jeu spécifique au football est le plus fort prédicteur de l'expertise perceptuelle-cognitive. La pratique d'une activité spécifique au football durant l'adolescence est également un prédicteur mais son impact est plus modeste. On peut donc supposer que les joueurs M15/M16 sont plus performants que les adultes car ils ont accumulé de nombreuses heures de pratique spécifique au football durant leur développement, alors que les sujets adultes ont évolué à un niveau plus modeste durant leur enfance.

### ***Vitesse de la passe***

La vitesse de déplacement du ballon est également un bon indicateur de la qualité d'une passe à 5 mètres. Nous nous attendions à ce que les plus jeunes joueurs aient des valeurs inférieures aux autres participants du fait de leur morphologie. Les jeunes joueurs élités âgés de 14 à 15 ans ont effectué des passes appuyées mais légèrement moins rapides que celles des adultes. Il est possible que ces jeunes footballeurs élités soient plus performants lors du dosage de la passe pour trouver un meilleur compromis entre puissance et précision.

## *Temps de réponse*

Afin d'examiner le temps de réponse des athlètes, nous avons mesuré le délai entre l'appariation physique de la cible et le moment où le ballon quitte le pied du joueur.

Les résultats ont montré un effet significatif de l'âge sur le temps de réponse, mais cet effet n'était pas linéaire et une transition abrupte semble s'opérer entre 13 et 14 ans. Selon Ripoll (2004), il est important de répéter les liens entre stimulus et réponse lors des entraînements afin de réduire le temps de réaction. On peut donc supposer qu'il y a une adaptation chez les jeunes joueurs de football lors des deux premières années en tant qu'élite, où les joueurs s'entraînent 4 fois par semaine. Le fait de répéter les exercices provoquerait par conséquent une amélioration de la PCM et dans ce cas précis du temps de réponse.

Concernant les fonctions cognitives de bas niveau telles que le temps de réaction (par exemple), la plupart des études n'ont pas trouvé de différences liées au niveau de performance sportive (Pesce et al. 2007; Alves et al. 2013; Pesce & Bösel 2001). Cependant, certaines études ont trouvé que les sportifs élités avaient des temps de réaction significativement plus courts et des réponses psychomotrices plus rapides que les sportifs non-élités et les novices (Hughes, Bhundell & Waken 1993; Supinski et al. 2014).

## *Perspectives*

Le but de cette étude était d'analyser l'effet de l'âge sur la performance cognitivo-motrice des joueurs de football. Il est difficile de tirer des conclusions définitives de notre travail car la taille de la population testée est limitée. Malgré tout, nous avons pu observer une tendance qui indique que l'effet de l'âge a une influence sur le temps de réponse et sur la précision spatiale en situation de passes courtes. Une étude complémentaire incluant des jeunes joueurs élités âgés de plus de 15 ans ainsi que des adultes élités permettrait d'approfondir nos résultats.

Par ailleurs, la méthodologie et le nouveau système d'évaluation de la PCM utilisés dans notre étude ouvrent des portes non-seulement au niveau scientifique, mais également au niveau sportif. Le fait de pouvoir enfin mesurer la PCM des jeunes athlètes pourrait se révéler très utile dans le cadre de la détection des talents au football dès lors que la mesure objective du système COGNIFOOT correspond aux jugements des experts.

## **Remerciements**

Je voudrais remercier mon co-conseiller de thèse le Dr Halim Hicheur pour tous ses conseils lors de la réalisation de mon travail de Master. Sa relecture ainsi que le temps qu'il m'a accordé m'ont été d'une grande aide. Je tiens à remercier mon conseiller de thèse le Pr Wolfgang Taube ainsi que le Dr Xavier Chenevière pour leur encadrement professionnel. Merci à l'Université de Fribourg qui a encadré cette étude et qui a mis à ma disposition le matériel nécessaire pour la mise en place de l'expérience. Je tiens également à montrer ma gratitude envers l'entreprise Realsport qui a participé à ce projet en mettant généreusement ses installations à notre disposition. Pour conclure, je remercie le Team AFF ainsi que tous les participants sans qui cette étude n'aurait pas été possible.

## **Bibliographie**

- Abernethy, Bruce, Robert J. Neal, et Paul Koning. « Visual-perceptual and Cognitive Differences between Expert, Intermediate, and Novice Snooker Players ». *Applied Cognitive Psychology* 8, n° 3 (1 juin 1994): 185-211. doi:10.1002/acp.2350080302.
- Ali, A. « Measuring Soccer Skill Performance: A Review ». *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 21, n° 2 (avril 2011): 170-83. doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01256.x.
- Alvarez, George A., et Patrick Cavanagh. « Independent Resources for Attentional Tracking in the Left and Right Visual Hemifields ». *Psychological Science* 16, n° 8 (août 2005): 637-43. doi:10.1111/j.1467-9280.2005.01587.x.1
- Alves H, Voss MW, Boot WR, Deslandes A, Cossich V, Salles JI et al. Perceptual- cognitive expertise in elite volleyball players. *Frontiers in Psychology*. 2013; 4(36), 1–9.
- Beauchamp, Pierre, et Jocelyn Faubert. « Visual Perception Training: Cutting Edge Psychophysics and 3D Technology Applied to Sport Science ». Consulté le 7 avril 2016. <http://nardellaclinic.com/assets/files/references/Visual-Perception.pdf>.
- Bideau, Benoit, Richard Kulpa, Nicolas Vignais, Sébastien Brault, Franck Multon, et Cathy Craig. « Using Virtual Reality to Analyze Sports Performance ». *IEEE Computer Graphics and Applications* 30, n° 2 (avril 2010): 14-21. doi:10.1109/MCG.2009.134.
- Botwinick, J. 1966. Cautiousness in advanced age. *Journal of Gerontology* 21: 347-353.
- Deary, I. J., G. Der, and G. Ford. 2001. Reaction times and intelligence differences: A population-based cohort study. *Intelligence* 29(5): 389.
- Helsen, Werner, et J. M. Pauwels. « The relationship between expertise and visual information processing in sport. », 1993. <http://psycnet.apa.org/psycinfo/1993-98813-007>.
- Helsen, Werner F., et Janet L. Starkes. « A Multidimensional Approach to Skilled Perception and Performance in Sport ». *Applied Cognitive Psychology* 13, n° 1 (1 février 1999): 1-27. doi:10.1002/(SICI)1099-0720(199902)13:1<1::AID-ACP540>3.0.CO;2-T.
- Hughes PK, Bhundell NL, Waken JM. Visual and psychomotor performance of elite, intermediate and novice table tennis competitors. *Clinical and Experimental Optometry*. 1993; 76(2): 51–60.
- Jevas, S. and J. H. Yan. 2001. The effect of aging on cognitive function: a preliminary quantitative review. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 72: A-49.
- Ripoll, H. (2004), La vitesse de traitement de l'information, In +La Rue, J & Ripoll, H.+, *Manuel de psychologie du sport: 1. Les déterminants de la performance sportive* (pp. 159-173). Paris: Editions Revue EP.S.
- Luchies, C. W., J. Schiffman, L. G. Richards, M. R. Thompson, D. Bazuin, and A. J. DeYoung. 2002. Effects of age, step direction, and reaction condition on the ability to step quickly. *The Journals of Gerontology, Series A* 57(4): M246.
- McMorris, Terry, et Jan Graydon. « The effect of exercise on cognitive performance in soccer-specific tests ». *Journal of Sports Sciences* 15, no 5 (1 janvier 1997): 459-68. doi:10.1080/026404197367092.

- Mouton, Jonathan D., et Crystal D. Oberle. « Discrimination Ability of Traditional and Action-Based Measures of Attentional Style in Sports ». *American Journal of Psychological Research* 3, n° 1 (2007): 78-84.
- Pesce C, & Bösel R., Focusing of visuospatial attention: Electrophysiological evidence from subjects with and without attentional expertise. *Journal of Psychophysiology*. 2001: 15, 256–274.
- Pesce C, Tessitore A, Casella R, Pirritano M, and Capranica L. Focusing of visual attention at rest and during physical exercise in soccer players. *Journal of Sports Sciences*. 2007: 25, 1259–1270. PMID: 17654238
- Redfern, M. S., M. Muller, J. R. Jennings, J. M. Furman. 2002. Attentional dynamics in postural control during perturbations in young and older adults. *The Journals of Gerontology, Series A* 57(8): B298.
- Reitan, Ralph M. « Validity of the trail making test as an indicator of organic brain damage ». *Perceptual and Motor Skills* 8, n° 3 (1 décembre 1958): 271-76. doi:10.2466/pms.1958.8.3.271.
- Rose, S. A., J. F. Feldman, J. J. Jankowski, and D. M. Caro. 2002. A longitudinal study of visual expectation and reaction time in the first year of life. *Child Development* 73(1): 47.
- Ryu, Donghyun, Bruce Abernethy, David L Mann, Jamie M Poolton, et Adam D Gorman. « The Role of Central and Peripheral Vision in Expert Decision Making ». *Perception* 42, n° 6 (2013): 591-607. doi:10.1068/p7487.
- Starkes, Janet L. « Skill in field hockey: The nature of the cognitive advantage ». *Journal of sport psychology* 9, n° 2 (1987): 146-60.
- Starkes, Janet L., P. Edwards, P. Dissanayake, et T. Dunn. « A New Technology and Field Test of Advance Cue Usage in Volleyball ». *Research Quarterly for Exercise and Sport* 66, n° 2 (juin 1995): 162-67. doi:10.1080/02701367.1995.10762223.
- Supinski J, Obminski Z, Kubacki R, Kosa J, Moska W. Usefulness of the psychomotor tests for distinguishing the skill levels among older and younger judo athletes. *Archives of Budo*. 2014; 10.
- Vestberg, Torbjörn, Roland Gustafson, Liselotte Maurex, Martin Ingvar, et Predrag Petrovic. « Executive Functions Predict the Success of Top-Soccer Players ». Édité par Antonio Verdejo García. *PLoS ONE* 7, n° 4 (4 avril 2012): e34731. doi:10.1371/journal.pone.0034731.
- Ward, Paul, A. Mark Williams, et others. « Perceptual and cognitive skill development in soccer: The multidimensional nature of expert performance ». *Journal of sport and exercise psychology* 25, n° 1 (2003): 93-111.
- Welford, A. T. 1977. Motor performance. In J. E. Birren and K. W. Schaie (Eds.), *Handbook of the Psychology of Aging*. Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 450-496.
- Welford, A. T. 1980. Choice reaction time: Basic concepts. In A. T. Welford (Ed.), *Reaction Times*. Academic Press, New York, pp. 73-128.
- Williams, A. Mark, Nicola J. Hodges, Jamie S. North, et Gabor Barton. « Perceiving Patterns of Play in Dynamic Sport Tasks: Investigating the Essential Information Underlying Skilled Performance ». *Perception* 35, n° 3 (2006): 317-32.



### Pages web:

Jocelyn Faubert, émission 36.9° de la RTS, 6 janvier 2016: « Play RTS - Radio Télévision Suisse ». Consulté le 9 janvier 2016. <http://www.rts.ch/play/tv>.

« Les fonctions cognitives ». *Association québécoise des neuropsychologues*. Consulté le 28 mars 2016. <https://aqnp.ca/la-neuropsychologie/les-fonctions-cognitives/>.

### Figures:

Fig.1: « Les aires corticales ». Consulté le 25 mars 2016. <http://www.maxicours.com/se/fiche/6/0/435006.html/4e>

Fig.2: Cours 1/12 Neuropsychologie et sport, H. Hicheur, Université de Fribourg, SP1015.SA2013

Fig.3: Cours 2/12 Neuropsychologie et sport, H. Hicheur, Université de Fribourg, SP1015.SA2013

## **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:     Fribourg, Mai 2016

Signature

## **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. »*

*Ce travail est permis via la mise à disposition d'un système combinant outils de simulation d'environnements virtuels et appareils de mesure du mouvement (COGNIFOOT). L'utilisation de ce nouveau système (brevet déposé) fait l'objet d'un accord de collaboration et de confidentialité spécifique, daté du 16 décembre 2015, entre l'unité des Sciences du Mouvement et du Sport de l'université de Fribourg, représentée par le Pr Wolfgang Taube, et le Dr Halim Hicheur, inventeur du système COGNIFOOT et dépositaire du brevet.*

Lieu, date:     Fribourg, Mai 2016

Signature