

UNIVERSITÉ DE FRIBOURG, SUISSE  
FACULTÉ DES SCIENCES  
DÉPARTEMENT DE MÉDECINE

En collaboration avec la  
HAUTE ÉCOLE FÉDÉRALE DE SPORTS DE MACOLIN

Analyse oculaire du jugement en gymnastique aux agrès, à l'aide d'un  
système d'eye tracking, lors d'une évaluation de gymnastes à la  
barre fixe.

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

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

*Mottiez GAETAN*  
*Fribourg, Juin, 2016*

<b>1</b>	<b>Table des matières</b>	
<b>2</b>	<b>Résumé</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Introduction</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Contexte et situation initiale</b>	<b>6</b>
4.1	Gymnastique aux agrès	6
4.1.1	<i>Historique</i>	6
4.1.2	<i>Orientation spécifique</i>	6
4.1.3	<i>Jugement</i>	9
4.2	Eye tracking	14
4.2.1	<i>Historique</i>	14
4.2.2	<i>Limites</i>	16
4.2.3	<i>Modèle utilisé</i>	17
4.2.4	<i>Recherches d'ordre général</i>	18
4.2.5	<i>Recherches spécifiques au sport</i>	19
4.3	Jugement et Eye tracking	21
<b>5</b>	<b>But &amp; Questions de recherche précise</b>	<b>24</b>
5.1	Problématique	24
5.2	Questions de recherche concrète :	24
5.3	Processus pour l'obtention de ces objectifs de recherche	24
<b>6</b>	<b>Méthode</b>	<b>26</b>
6.1	Sujets	26
6.2	Matériel	27
6.3	Procédure	28
6.3.1	<i>Pré-test</i>	28
6.3.2	<i>Passation</i>	30
6.3.3	<i>Post-processing</i>	32
<b>7</b>	<b>Résultats</b>	<b>35</b>
7.1	Données écrites	35
7.1.1	<i>La ligne de jugement</i>	35
7.1.2	<i>La marge</i>	36
7.1.3	<i>La variabilité des notes</i>	37
7.1.4	<i>Observations</i>	39
7.1.5	<i>Ranking</i>	40
7.1.6	<i>Récapitulatif</i>	46
7.2	Données visuelles	47
7.2.1	<i>Points de fixations &amp; stratégies visuelles</i>	47
7.2.2	<i>Courbe visuelle</i>	53
7.2.3	<i>Trace oculaire (points)</i>	55
7.2.4	<i>En détail : élément par élément</i>	57
7.2.5	<i>Temps passé par segment</i>	61
7.3	Données visuelles et données écrites	65
<b>8</b>	<b>Discussion</b>	<b>66</b>
8.1	Comparaison avec les recherches actuelles	66
8.2	Avis personnel	69
8.3	Les limites	69
8.4	Ouvertures de recherches	71
<b>9</b>	<b>Conclusion</b>	<b>72</b>
<b>10</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>73</b>



10.1	Liens internet	73
10.2	Ouvrage	73
10.3	Articles	74
<b>11</b>	<b>Annexes</b>	<b>76</b>
11.1	Annexe 1 : Note d'information	76
11.2	Annexe 2 : Feuilles de jugement	76
<b>12</b>	<b>Remerciements</b>	<b>77</b>
<b>13</b>	<b>Déclaration personnelle</b>	<b>78</b>
<b>14</b>	<b>Droits d'auteur</b>	<b>78</b>

## 2 Résumé

La gymnastique aux agrès, version helvétique populaire de la gymnastique artistique, est un sport qui nécessite la présence de juges pour l'attribution des notes. Le focus lors de la pose de ces évaluations est mis sur la qualité de l'exécution gymnique. Notre travail propose une analyse oculaire de 18 juges, classés en deux catégories en fonction de leur brevet (*I & II*), lors d'une évaluation de gymnastes de catégorie C4 à la barre fixe, à l'aide notamment d'un système d'*eye tracking*. Se basant sur les critères précis et explicitement décrits dans le programme de compétition édité par la Fédération Suisse de Gymnastique, les sujets, tous féminins, ont visionné et attribué une note à 18 vidéos projetées sur grand écran (9 films projetés chacun deux fois). Deux analyses sont établies : la première est sur les données écrites apposées par les juges sur les feuilles de jugement, la seconde correspond à l'analyse visuelle établie avec l'*eye tracker*. Les résultats obtenus sont les suivants : les *brevets II*, avec une plus grande expérience de jugement, proposent une tendance à être meilleure que les *brevets I*, au niveau de la variabilité de la pose de leurs notes ainsi qu'au niveau de l'erreur absolue moyenne, par rapport à un classement idéal établi (résultats non significatifs). D'un autre côté, les stratégies visuelles de recherches des erreurs ne dépendent pas du type de brevets évalués, mais restent propres à chaque individu. Elles sont classées en deux types : une stratégie de vision centralisée et une stratégie de vision en étoile. Les disparités visuelles détectées nous exposent que le jugement s'effectue grâce à une analyse conceptuelle importante. En définitive, cette étude a permis d'améliorer notre compréhension des différents mécanismes du jugement en gymnastique aux agrès.

**Mots clés :** *gymnastique aux agrès, eye tracking, jugement, analyse de mouvements, barre fixe, évaluation de juge, analyse oculaire*

### 3 Introduction

Quel que soit le sport pratiqué ou visionné, la place belle est donnée, dans notre monde médiatisé, aux sportifs. Dans l'ombre de ceux-ci se cachent les juges ou les arbitres indispensables au bon fonctionnement des sports qu'ils défendent. En effet, ces personnes font partie intégrante du jeu, suivent les règles, les appliquent, posent des notes ou établissent un classement, tout autant de tâches délicates, mais primordiales au déroulement cohérent d'un jeu ou d'une compétition. Il est important de mentionner que trop souvent le public et les sportifs ont un manque de reconnaissance vis-à-vis de leur travail. Afin de mieux les cerner, il nous faut passer, sans autre choix, par la case de la compréhension ; comprendre leur sport, comprendre leur rôle, comprendre leurs difficultés et comprendre les enjeux.

Nous nous sommes intéressés au sport de la gymnastique et plus particulièrement à la gymnastique aux agrès. Créée en Suisse dans les années 1980 par la Fédération Suisse de Gymnastique pour démocratiser et rendre accessible la gymnastique artistique jugée trop exigeante, la gymnastique aux agrès est pratiquée dans une majorité des 3200 clubs de gymnastique pour 370000 membres que compte la FSG. Ce sport se pratique de façon individuelle où l'accent est mis sur la **qualité de l'exécution**, mais peut aussi être pratiqué collectivement dans des productions d'ensemble où l'on juge principalement la synchronisation, la conception du programme ainsi que l'exécution individuelle. Nous allons dans ce travail, nous intéresser plus particulièrement à la gymnastique aux agrès individuelle car les critères de jugement y sont **précis et explicitement décrits** dans le programme de compétition édité par la Fédération Suisse de Gymnastique. Cette gymnastique individuelle se compose de 4 engins pour les gymnastes féminines : *les anneaux balançants, le saut au mini-trampoline, le sol et la barre fixe* ainsi que de 5 agrès pour les gymnastes masculins : les quatre engins des gymnastes féminines auxquels on ajoute *les barres parallèles*. Les gymnastes opèrent dans 8 catégories différentes définies en fonction de leurs aptitudes et de leur âge : C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7 et CD/CH (C =

*catégorie, CD = catégorie dame plus de 23 ans, CH = catégorie homme plus de 28 ans*). Lors de compétitions, les gymnastes se présentent à l'ensemble des engins. Une note est attribuée à chaque appareil par deux juges se basant sur les critères explicites décrits dans le programme de compétition. Le total des 4 et 5 engins, respectivement, nous donne un score qui établira le classement final du concours par catégorie.

Ce travail nous amène à deux contributions majeures : **(1)** Proposer un outil d'analyse de jugement a donc un intérêt pédagogique fort dans le sens où les athlètes comprendraient mieux les fondements de leurs notes. Cela permettrait par ailleurs d'éviter des tensions liées à une éventuelle frustration ; **(2)** puis trouver s'il existe une stratégie de jugement commune aux juges, dans le but de pouvoir orienter de manière concrète et précise la formation des futurs juges tout en augmentant la compréhension des athlètes vis-à-vis de leurs notes.



**Figure 1 : Début d'une suite gymnique à la barre fixe**

## 4 Contexte et situation initiale

### 4.1 Gymnastique aux agrès

#### 4.1.1 Historique

La gymnastique aux agrès naît dans les années 1980 comme simplification à la gymnastique artistique considérée comme trop exigeante pour tout un chacun. Les premières directives ont été établies en 1981 et ne concernaient alors que la gente masculine (site de la FSG). Par la suite, cette discipline englobant l'élégance, la force, la souplesse, le suspens et la créativité, a rapidement convenu à la gente féminine menant aux premiers concours nationaux de gymnastique aux agrès de sociétés féminines en 1984. Il est à noter que la gymnastique féminine est très présente, et ceci déjà depuis de nombreuses années. En effet, selon la revue historique vaudoise une société comme celle de Vevey, abritait déjà une sous-section « dames » en 1930. C'est en 1997 que les hommes et les femmes furent admis dans des directives communes. Il s'agit donc d'une discipline sportive relativement jeune, dynamique et en plein essor. Aujourd'hui, chaque année la Fédération Suisse de Gymnastique organise deux championnats suisses de gymnastique de sociétés (actifs et jeunesse) ainsi que trois championnats suisses de gymnastique individuelle où l'on peut y admirer des performances de grande qualité avec un niveau d'exécution remarquable.

#### 4.1.2 Orientation spécifique

La gymnastique aux agrès a pour but principal la perfection de l'exécution du mouvement et ceci, quels que soient la catégorie et l'engin de concours. Mon travail s'articule sur une de ces catégories : **la catégorie C4**, ainsi qu'un engin : **la barre fixe**.

##### 4.1.2.1 Catégorie

Tout d'abord, la **catégorie C4** est la dernière catégorie des catégories « *jeunesses* » (C1-C4) avant le passage vers les catégories « *actifs/actives* » (C5-C7 et CD-CH). Il s'agit de la catégorie comprenant les plus grands des petits gymnastes. L'âge des gymnastes est de 14.04 ans ( $\pm 1.25$ ) pour les

filles et de 15.25 ans ( $\pm 1.18$ ) pour les garçons (Résultats Championnat Cantonal fribourgeois 2015, Ursy). Cette différence s'explique par un développement corporel des jeunes hommes plus tardif. Les filles ont une croissance plus précoce et, de ce fait, arrivent en catégorie C4 plus rapidement que leurs collègues de la gent masculine. La présence d'un plus grand nombre de participantes (72) que de participants (16), selon les résultats du championnat cantonal fribourgeois de 2015, représente bien la tendance actuelle où la gymnastique aux agrès est majoritairement pratiquée par des femmes. Afin de rester dans cette tendance féminine majoritaire, nous avons choisi, dans cette étude, de prendre **trois gymnastes de sexe féminin** âgées de 17.33 ans ( $\pm 2.08$ ). Leur âge est plus élevé que celui mentionné plus haut et les raisons de ce choix seront explicitement présentées plus tard dans ce travail.

#### 4.1.2.2 Engins

En ce qui concerne l'engin utilisé, nous avons choisi la **barre fixe** (Figure 2). La barre fixe est un appareil composé de deux poteaux verticaux munis de trous d'ancrage permettant l'installation d'une barre transversale en fer.



**Figure 2 :** Barre fixe en installation sécurisée et bac à magnésie

Cet engin est un agrès statique autour duquel le gymnaste peut opérer de différentes manières. Si l'on se réfère à la Table de Classification GAI, on y trouve 8 familles d'éléments :

1. Les appuis - passés dorsaux - costaux – faciaux ; Les fermetures avec les pieds sur la barre - écartées - groupées - carpées
2. Les tours d'appui, les tours, etc.
3. Les élans / Les élans par-dessous
4. Les élans circulaires
5. Les passés entre-bras
6. Les bascules
7. Les établissements
8. Les saltos ou sauts périlleux

Cette liste illustre bien une large palette de mouvements différents possibles à effectuer à cet agrès.

#### 4.1.2.3 Exercice

Si nous nous intéressons plus spécifiquement aux **éléments** proposés dans la catégorie C4 (détaillé dans le Programme de compétition), nous devons nous pencher sur le système de jugement mis en place pour les catégories jeunesses (C1-C4). Dans ces divisions, les suites d'éléments doivent être composées de deux **éléments imposés** (I) et d'un nombre variable d'**éléments à choix** (C) selon l'engin et la catégorie. En C4, 3 éléments à choix sont à adopter parmi 13 possibles. Trois de ces éléments, correspondant à des éléments spécifiques pour la barre fixe haute que les garçons pratiquent en catégorie C5 à C7, sont volontairement enlevés de cette liste, car nous avons pris le parti de suivre des gymnastes féminines. De cette liste, réduite à 10 éléments, nous élaborons un exercice représentatif de ce que l'on peut voir en concours. Afin de lier les éléments les uns aux autres, nous devons ajouter un élément de liaison (L). Ce mouvement additionnel est jugé, mais n'entre pas en compte dans la composition de l'exercice : **2I + 3C**. Un élément de liaison est un élément proposé dans une catégorie inférieure que la gymnaste est censée maîtriser.

Les éléments choisis pour la composition de l'enchaînement sont :

- C De la station faciale s'établir en avant en tournant en arrière à l'appui avec ou sans élan (*montée du ventre*)
- L De l'appui facial, passer une jambe latérale sous la prise à l'appui latéral à cheval (*passage de la jambe*)
- C De l'appui latéral à cheval, prises palmaires : élan circulaire en avant (*soleil*)
- C Du siège latéral à cheval, ½ tour à l'appui facial (*passage de la jambe avec ½ tour*)
- I Tour d'appui en arrière (*tour d'appui*)
- I De l'appui : élaner en avant par dessous la barre et sauter à la station (*sortie filée*)

Cet exercice très commun en catégorie C4 comporte 4 familles d'éléments. En effet, le *passage de la jambe avec ½ tour* appartient à la famille n°1, la *montée du ventre* et le *tour d'appui* à la famille n°2, la *sortie filée* à la famille n°3 et le *soleil* à la famille n°4. Seul l'élément de liaison, jugé trop facile, n'est pas classé dans une famille. Ce choix de composition permet d'obtenir un exercice relativement complet sur le plan de la diversité d'éléments qu'il propose.

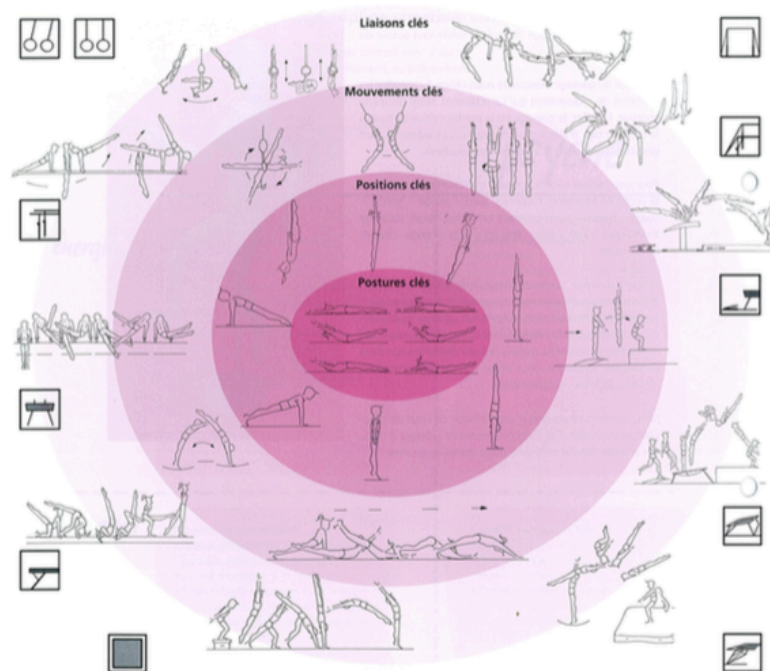
#### 4.1.3 Jugement

Les critères de jugement s'insèrent parfaitement dans les valeurs de la gymnastique aux agrès. En effet, il s'agit d'un sport où l'accent est mis sur la **qualité d'exécution**. De ce fait, la volonté majeure dans cette discipline n'est pas la performance, mais bien au contraire la **maîtrise** et la **précision** des mouvements proposés. Par conséquent, le jugement se construit autour de cette recherche du mouvement idéal, de l'exécution parfaite. Chaque élément d'un enchaînement sera jugé à hauteur de 0.5 point sur sa **technique** et à 0.3 point sur sa **tenue**.



#### 4.1.3.1 Erreurs au niveau technique

La partie **technique** examine toutes les questions qui concernent la prise de la bonne posture (C+, I, C-), du bon mouvement et du rythme de celui-ci. Chaque élément peut être décortiqué de manière détaillée en fonction de l'adoption de ces postures clés, de ces positions clés, de ces mouvements clés et d'éventuelles liaisons clés (*Figure 3*).



**Figure 3 : Modèle des couches (tiré de Bases – Agrès/Artistique/Trampoline)**

#### 4.1.3.2 Erreurs au niveau de la tenue

La partie **tenue** analyse le maintien du corps et des postures avec un certain tonus. Une flexion de jambe ou un relâchement du bassin sont, par exemple, sanctionnés au niveau de la tenue d'un élément.


#### 4.1.3.3 Généralités au niveau de la taxation

Il revient à l'appréciation du juge de pondérer les dixièmes qu'il enlève. Ainsi, une petite flexion de jambes équivaudra à 0.1 point enlevé au niveau de la tenue, une flexion plus grande 0.2 point et une flexion conséquente de

jambes fera perdre la totalité de la tenue au gymnaste (0.3 point). Le même principe de proportionnalité s'applique pour la technique, l'échelonnage permettant de mieux catégoriser la nature de l'erreur : pas de faute technique 0 point enlevé, petite faute technique 0.1 point, faute technique petite à moyenne 0.2 point, faute technique moyenne 0.3 point, faute technique moyenne à grosse 0.4 point, grosse faute technique le juge enlève l'intégralité de la technique soit 0.5 point. Le juge opère ce même schéma de jugement pour chaque élément de la suite d'enchaînement que lui propose le gymnaste. Le total des dixièmes enlevés forme l'erreur commise par le gymnaste. La note la plus élevée étant 10, le juge soustrait la somme des dixièmes enlevés au 10 de base et peut ainsi poser une note.

#### 4.1.3.4 Exemple concret : le tour d'appui arrière

Comme exemple de technique correcte, la décomposition d'un tour d'appui (*Figure 4*) qui présente les différentes postures à maintenir et les différentes phases à effectuer pour une réalisation idéale du mouvement.

Phases	Phase de préparation		Phase principale		Phase finale	
						
Posture clé	Posture C-	Posture C+	Posture C+	Posture C+	Posture C+	Posture C-
Position clé	Appui facial en posture C-	Appui en posture C+	Suspension renversée en posture C+	Suspension renversée en posture C+	Suspension renversée en posture C+	Appui en posture C-
Mouvement clé	Courbette		TAT en suspension renversée		Se redresser	
Liaison clé			Tour d'appui en arr.			

**Figure 4 : Tour d'appui arrière (tiré de Bases – Agrès/Artistique/Trampoline)**

#### 4.1.3.5 Critères annexes de jugement

D'autres critères de jugement, comme le non-respect des directives de la catégorie, les chutes, etc., sont aussi pris en compte pour le jugement. De façon à minimiser l'impact de ces critères secondaires, nous les avons volontairement omis de notre étude, en présentant une suite correcte d'éléments à nos juges, suite ne comportant ni piège ni chute.

#### 4.1.3.6 Collaboration & Tolérance

Normalement, le jugement s'effectue à deux (possibilité d'être 4 lors de championnats nationaux). Chaque juge accomplit individuellement le travail présenté ci-dessus. Dans un deuxième temps, les deux juges comparent leurs notes. Si l'écart entre leurs notes respecte la tolérance (*Tableau 1*), alors ils effectuent la moyenne et cela donne la note. Dans le cas où leurs notes ne sont pas dans la tolérance, ils peuvent en discuter pour réévaluer l'un ou l'autre des éléments pour revenir dans la tolérance.

Notes	Tolérance
9.50 à 10.00	0.2
8.80 à 9.40	0.3
8.70 et moins	0.5

**Tableau 1 : Tableau indicatif sur les tolérances (tiré du PowerPoint présenté au CP)**

Pour donner un ordre d'idée, un exercice évalué avec une note de 9.50 ou plus est un exercice de haute qualité. Si l'enchaînement obtient une note comprise entre 8.80 et 9.40, il s'agit d'une bonne performance gymnique. La note de 7.50 à chaque engin représente symboliquement la moyenne à dépasser pour réussir sa catégorie.

#### 4.1.3.7 Applications concrètes

Si nous reprenons le championnat cantonal fribourgeois 2015 d'Ursy, nous constatons que la moyenne des notes à la barre fixe est de 8.68 ( $\pm 0.52$ ) pour les filles C4 et de 8.84 ( $\pm 0.46$ ) pour les garçons C4. L'exécution moyenne est jugée comme étant maîtrisée. En prenant que les 5 premiers, nous obtenons une moyenne de 9.11 ( $\pm 0.17$ ) pour les filles C4 et de 9.06 ( $\pm 0.46$ ) pour les garçons C4. Un gymnaste étant bien classé se doit d'être au-dessus du lot à ses 4 respectivement 5 engins. En comparaison, un gymnaste plus faible a souvent tendance à trainer des lacunes à chaque agrès. Ceci se vérifie si nous prenons les 5 derniers qui obtiennent en moyenne 7.91 ( $\pm 0.48$ ) pour les filles C4 et de 8.49 ( $\pm 0.43$ ) pour les garçons C4.

#### 4.1.3.8 Rôle du juge

Le rôle du juge est de classer chaque gymnaste en fonction de la performance qu'il propose en utilisant au maximum toute la palette de notes qu'il a à disposition. Il est de son devoir de mettre suffisamment d'écart entre un excellent gymnaste et un bon gymnaste, tout comme entre un bon gymnaste et un gymnaste moyen ainsi qu'entre un gymnaste moyen et un gymnaste plus faible. Les aspects de la formation des juges ne sont volontairement pas discutés dans cette section. Ils seront détaillés plus tard, dans le chapitre « Méthode », sous-chapitre « Sujets ».

#### 4.1.3.9 Aspects propres à notre étude

Dans notre étude, nous demandons toujours aux juges d'opérer leur **jugement de manière individuelle**, sans confrontation possible avec un avis extérieur. Ainsi, nous restons dans la première phase du jugement, enlevant toute collaboration ou repère avec un autre intervenant. Nous sommes conscients que ce manque de repères rend l'analyse plus difficile et nous tenons à préciser encore une fois que ce travail n'est pas un travail orienté sur l'évaluation de la performance et la qualité du jugement, mais bel et bien sur les stratégies qui s'opèrent dans ce jugement.

## 4.2 Eye tracking

L'*eye tracker*, outil servant à calculer les mouvements oculaires, sera un des éléments majeurs utilisés dans ce travail. Grâce à ce dernier, nous pouvons capter la position du regard sur l'écran et ainsi entreprendre nos recherches sur la thématique.

### 4.2.1 Historique

La position de l'œil et ses mouvements forment un appareil extrêmement complexe du corps humain qui fascine. En revenant sur l'historique des découvertes dans ce domaine, nous pouvons mentionner la segmentation en **quatre grandes ères** de l'apparition d'outils pour capturer la position de l'œil (Duchowski, 2002). La première, entre les années 1870 et 1920, représente la **découverte de mouvements basiques** multiples de l'œil, incluant les suppressions des saccades, le temps de latence entre les saccades et la taille de l'environ perçu par le regard. La seconde ère, courant entre environ 1930 et 1958, se caractérise par la **mise au point d'une recherche appliquée**, coïncidant avec les mouvements comportementalistes de la psychologie expérimentale. La troisième période de découverte concerne les années 1970-1998. Cette ère inclut l'**amélioration des systèmes d'enregistrement** des mouvements oculaires, rendant les mesures plus accessibles (facilité de collecte) et plus précises. La quatrième ère s'étend des années 2000 à nos jours et comprend une **large variété d'applications** de *tracking* de l'œil. Cette ère s'insère dans la continuité des trois autres en ajoutant un point essentiel : elle sépare le rôle des applications de diagnostique du rôle des applications à caractère interactif.

#### 4.2.1.1 Outil de diagnostique

L'*eye tracking* possède un **rôle de diagnostique**. En effet, l'*eye tracker* a la capacité de mettre en évidence les objectifs et les données qu'un utilisateur présente tant au niveau de ces processus visuels que de ces processus attentionnels. Généralement, les applications liées au diagnostique sont non invasives et ne servent qu'à la capture des mouvements de l'œil durant une phase expérimentale pour le sujet. Par exemple, le visionnage d'une image ou, comme ce sera le cas de ce papier, le visionnage d'une vidéo.

#### 4.2.1.2 Outil d'interaction

Le second **rôle** de l'*eye tracking* est celui **d'interaction** qui a pu voir le jour grâce notamment aux grandes avancées en informatique. Dans ce cas, la capture du mouvement oculaire est un « imput » pour une quelconque autre application. L'idée est d'utiliser la position de l'œil comme information afin de faire réagir une seconde application. Par exemple, si l'on considère non plus la souris qui se balade sur l'écran de l'ordinateur ou le doigt sur l'écran de son Smartphone mais bel et bien la position de l'œil, alors, on peut créer une réponse se dirigeant dans ce sens. Les nouveaux Samsung illustrent cette idée. En effet, leur équipement comporte une fonctionnalité permettant l'interaction de l'œil avec l'écran lors de la lecture d'un texte. Cette nouveauté mène à la possibilité de descendre ou remonter le texte en ne modifiant que la position des yeux sur l'écran (Computerworld).

Encore actuellement très utilisé dans le milieu de la recherche, nous pouvons trouver des utilisations de l'*eye tracking* dans le milieu des neurosciences, de la psychologie ainsi que dans les sciences de l'informatique (Duchowski, 2002).

### 4.2.2 Limites

L'utilisation de l'*eye tracking*, vu comme un outil électronique et informatique d'interaction avec l'humain, semble sans limites. Malheureusement, il existe encore quelques barrières qui résistent à l'intégration de l'*eye tracking* dans la vie de tous les jours (Li, Babcock, & Parkhurst, 2006). Les quatre grandes limites de ce système sont :

- le caractère intrusif
- la robustesse des données captées
- la validité d'un tel système
- le prix d'un tel système

#### 4.2.2.1 Caractère intrusif

La première limite, le **caractère intrusif** d'un tel système tend, avec l'avancée de la science, à diminuer. Cependant, de multiples points restent à découvrir et de nombreuses études utilisent des méthodes ou du matériel invasifs, par exemple le port de lentilles de contact spéciales, la pose d'électrodes ou un système de fixation de la tête du sujet pour limiter au maximum les éventuels mouvements parasites. Néanmoins, ces différents systèmes sont souvent utilisés pour capter des données de meilleure qualité. Nous-mêmes, dans cette étude, utilisons un système de fixation de la tête pour permettre à notre *eye tracker* de nous transmettre des données exploitables. De plus, les lunettes de vue sont également retirées, car des reflets peuvent en résulter. Ces derniers tout comme une mauvaise position de la tête ou la fermeture des yeux peuvent gêner la captation du mouvement oculaire (Zhu & Ji, 2005). Les avancées majeures opérées sur la question du caractère intrusif résident, ces dernières années, dans la miniaturisation de l'équipement vidéo (Pelz et al., 2000). Étant donné la réduction continue de la taille des caméras, celles-ci peuvent aisément s'intégrer dans des lunettes par exemple sur le modèle *SMI Eye Tracking Glasses 2 Wireless* (SMI) également utilisé dans le laboratoire du Pr. Bresciani des sciences du sport de l'Université de Fribourg.

#### 4.2.2.2 Robustesse & Validité

Les limites quant à la **robustesse** des données et la **validité** de celles-ci resteront, pour un certain temps encore, des sujets de préoccupation pour les chercheurs opérant sur les nouveaux modèles d'*eye tracker*.

#### 4.2.2.3 Prix d'un tel système

La question du **coût** doit aussi être posée. Dans le laboratoire de l'Université, nous avons la chance d'avoir à disposition un tel outillage. Ce qui n'est pas nécessairement le cas de tout un chacun posant une restriction importante sur l'accessibilité à un matériel similaire. Le prix d'un tel appareil varie de nos jours entre 5'000 et 40'000 *dollars US* (Li et al., 2006). Les différences de prix sont essentiellement dues à la qualité de l'équipement et à la qualité des données qu'il transmet.

#### 4.2.3 Modèle utilisé

Le modèle utilisé pour cette étude est « *EyeLink 1000 Plus Eye Tracker* » (Modèle d'*eye tracking*). Il s'agit d'un *eye tracker* muni d'une caméra et d'un projecteur infrarouge qui ne capte qu'un seul des deux yeux. Il nécessite l'utilisation d'un ordinateur entièrement dédié au traitement des données capturées, muni d'un algorithme pour tracker l'œil (Zhu & Ji, 2005) et d'un algorithme pour analyser le déplacement de l'œil. Le logiciel utilise une phase de calibration additionnée à une trigonométrie classique pour calibrer l'œil à l'écran. Ceci permet un positionnement arbitraire de l'*eye tracker*, du sujet testé et de l'écran. Le sujet se positionne au centre de l'écran pour éviter un angle oculaire important lorsqu'il regarde un des coins de l'écran pouvant faire perdre le *tracking* de l'œil à l'*eye tracker*. Une variabilité entre les sujets quant à la qualité de la reconnaissance de l'œil est observée. Certains sont directement captés pendant que d'autres (en l'occurrence la couleur bleue joue étonnamment un rôle) mettent plus de temps à être détectés. Cette variabilité peut s'expliquer par l'extrême complexité de l'œil, de ces capacités de fixation, de saccades, et même de dilatation de la pupille propre à chacun



(Granka, Joachims, & Gay, 2004), mais aussi par la dimension de la salle, et de ce fait le recul insuffisant avec la taille de l'écran. La luminosité peut également être une source limitant le bon déroulement du *tracking* (Zhu & Ji, 2005). Étant restés dans une pénombre partielle durant la phase de *testing*, nous ne pouvons pas réellement observer ce phénomène. Un algorithme a été développé par le laboratoire Copelab pour le traitement des données vidéo (Copelab).

#### 4.2.4 Recherches d'ordre général

Utilisé dans les trois domaines des neurosciences, de la psychologie et des sciences de l'informatique (Duchowski, 2002), l'**eye tracking** (ou oculométrie en français) s'étend sur un grand nombre de domaines. Par exemple, en sciences de l'informatique, l'*eye tracking* est utilisé pour comprendre la sélectivité de l'œil humain lors d'une recherche internet (Granka et al., 2004). En se rendant compte des recherches opérées par l'œil, un moteur de recherche effectue des modifications dans la conception de ses pages, insérant de la publicité à des endroits ciblés. En neurosciences, l'utilisation de l'*eye tracking* combinée à un équipement d'imagerie mentale peut, par exemple, mettre en valeur une zone du cerveau utilisée lors de visualisation spécifique (Özyurt, DeSouza, West, Rutschmann, & Greenlee, 2001). Les applications en psychologie sont aussi vastes. Rayner K. a synthétisé plus de 100 ans de recherches sur le sujet (Rayner, 1998). Un exemple d'application est que, lors de la lecture de l'anglais, le temps de fixation est compris entre 200 et 250 millisecondes, que l'espacement moyen des saccades est de 7 à 9 lettres et que les mouvements oculaires sont influencés par les variables textuelles et typographiques. Si ce temps de fixation augmente et si la distance entre les saccades diminue, cela signifie que nous sommes confrontés à de la lecture conceptuellement plus difficile (Duchowski, 2002).

L'*eye tracking* est également utilisé dans des domaines plus spécifiques comme celui de la sécurité routière. En effet, une étude menée avec un tel système de *tracking* a mis en évidence l'assoupissement des conducteurs au volant (Horng & Chen, 2008). Des systèmes, incluant ces recherches, arriveront bientôt dans nos voitures, assurant à Monsieur tout le monde, une sécurité de conduite améliorée.

#### 4.2.5 Recherches spécifiques au sport

L'*eye tracking* est une méthode apparaissant de plus en plus dans les recherches concernant le sport. En premier lieu, nous pouvons constater que l'analyse oculométrique peut être **associée à la psychologie du sport** et, au même titre que les aspects nutritionnels ou de coaching, peut permettre l'amélioration des capacités des athlètes dans bien des domaines différents, par exemple le tir à l'arc, le football, la boxe ou même la grimpe. (Grushko, Leonov, & Veraksa, 2016).

Dans le football, un sport dans lequel les enjeux financiers et l'engouement populaire poussent à entreprendre davantage de recherches, des chercheurs ont, par exemple, décelé, grâce à l'*eye tracking*, **des stratégies visuelles** et des mécanismes d'anticipation chez les gardiens en situation de penalty (Woolley, Crowther, Doma, & Connor, 2015). L'idée sous-jacente reste **l'amélioration de la performance**, c'est-à-dire la maximisation des arrêts pour les gardiens et la minimisation des erreurs pour les joueurs. En corroborant ces informations, des chercheurs donnent des recommandations justifiées pour le tir et l'arrêt d'un penalty (Memmert, Hüttermann, Hagemann, Loffing, & Strauss, 2013).

Le football n'est pas le seul sport étudié avec une méthode incluant un *eye tracker*. En effet, des recherches ont aussi été menées dans le monde du volleyball, lors du *tracking* de la balle au moment des services et des passes. Cette étude démontre une différence significative dans la rapidité à tracker la balle ainsi que dans la durée de ce *tracking*. Les non-experts sont

conséquemment plus lents dans ces deux paramètres (Vickers & Adolphe, 2015).

Dans un autre registre, orienté sur la gymnastique artistique, il a été exposé que les gymnastes opérant un grand tour à la barre fixe acquièrent un point de fixation du regard vers l'avant lors de la phase de préparation (Heinen, Velentzas, & Vinken, 2012). Ceci permet une meilleure compréhension du mouvement et dirige l'athlète vers un apprentissage des grands tours en faisant appel à des repères précis. Ces derniers peuvent grandement aider le gymnaste dans la réalisation de cet élément.

En définitive, les études utilisant le système d'*eye tracking*, vont continuer à progresser, car dans le sport de compétition, toujours plus professionnalisé, rien ne sera laissé au hasard, y compris les capacités de *tracking* ou d'anticipation.

### 4.3 Jugement et *Eye tracking*

L'*eye tracking* a un lien fort avec le sport au niveau de l'**amélioration de la performance** ou de l'**anticipation**, mais qu'en est-il de l'aspect d'analyse de mouvement opérée dans le jugement ? Prenons le hockey sur glace, la capacité de jugement de deux niveaux d'arbitres (novices et experts) diffère au niveau de la précision de décision, mais pas au niveau visuel (Hancock & Ste-Marie, 2013). Cette information nous permet déjà de concevoir que non seulement l'acuité visuelle joue un rôle primordial, mais elle doit aussi être mise en lien avec une analyse conceptuelle, car c'est cette analyse qui permet la précision de décision.

La distinction entre expert et novice, dans le cas de compréhension de support graphique (par exemple : radiographie (Kundel, Nodine, Conant, & Weinstein, 2007)) dans le niveau professionnel, se manifeste par un temps de fixation plus court chez les experts malgré un plus grand nombre de points de fixation sur les zones importantes. Il y a chez eux un désintérêt des zones inutiles du graphique contrairement aux novices, mettant en évidence la place prépondérante du cerveau sur le contrôle visuel (Gegenfurtner, Lehtinen, & Säljö, 2011).

En résumé, nous sommes confrontés à deux cas différents. Dans le premier, les arbitres de hockey sur glace sont dans une situation réelle rapide dans laquelle aucune différence de vision entre les experts et les novices n'est détectable, tandis que dans notre deuxième cas, le fait d'avoir le temps de parcourir le graphique permet de mettre en exergue l'implication du cerveau sur le système visuel. Une constatation identique est observée entre deux catégories d'entraîneurs de danse (novices et experts) lorsqu'une représentation vidéo leur est proposée. Le mouvement continu ne permet pas de détecter une divergence de stratégies de recherches entre les deux catégories ni une différence sur le nombre de points de fixation (Petrakis, 1987). Les aptitudes et particularités visuelles fluctuent énormément,

montrant qu'elles sont propres à chaque individu indépendamment de son niveau d'expertise.

Dans un domaine plus proche de la gymnastique, en gymnastique rythmique, trois niveaux de juges ont été testés (internationaux, nationaux, novices). Les juges internationaux sortent nettement du lot. En effet, ils regardent moins longtemps la vidéo proposée, ils ont moins de points de fixation sur les erreurs détectées (résultats obtenus avec un *software* dans MATHLAB), et leurs jugements sont de meilleure qualité (Flessas et al., 2015). Nous décelons chez eux une stratégie cognitive efficace, acquise avec l'expérience, rendant leur jugement efficient, optimal vis-à-vis des deux autres catégories de juges testées.

Si nous nous intéressons maintenant au domaine précis de la gymnastique, il est important de spécifier que seules des études menées sur la gymnastique artistique ont été trouvées. Ceci s'explique majoritairement par le fait que la gymnastique aux agrès est une spécificité helvétique et un sport de masse, contrairement à la gymnastique artistique, qui est un sport d'élite présent au Jeux Olympiques. Dans le même genre d'idée que précédemment, il a été demandé à deux niveaux d'entraîneurs en gymnastique (novices et experts) de regarder des vidéos de gymnastes et de déterminer les fautes les plus notables. L'étude montre que les experts regardent plus longtemps et avec moins de fixation les erreurs à corriger que les novices et ont une détection de celles-ci plus précise (Moreno, Reina, Luis, & Sabido, 2002). Sur une routine, c'est-à-dire un enchaînement d'éléments, l'idée principale à retenir est que l'expert est capable de couvrir un plus large spectre, de vraiment maximiser son champ de vision, pour proposer aux gymnastes l'analyse de mouvement la plus pertinente possible. Alors qu'un entraîneur novice se focalisera sur les aspects marquants par exemple une flexion de jambe ou un relâchement du bassin.

Si nous nous intéressons à une analyse de saut de cheval entre deux catégories d'entraîneurs en gymnastique (novices et experts) et des juges, nous constatons que les entraîneurs experts procèdent à plus de fixations,

passant significativement plus de temps que les novices et les juges sur des zones précises du saut (Page, 2009). Ces résultats suggèrent que la recherche visuelle plus précise chez les experts peut être un facteur contribuant à amener les experts à former les futurs juges pour améliorer leur niveau d'évaluation. Une autre étude comparant deux catégories de juges (experts et novices) montre qu'il y a des différences au niveau du nombre de fixations durant l'évaluation, de la localisation de ceux-ci et du nombre d'erreurs faites par le juge. Les experts ont 27% de fixations en moins que les novices, mais ont une proportion de fixation plus élevée sur le haut du corps des gymnastes. Les novices restent davantage focalisés sur les jambes. Comme attendu, les novices découvrent moitié moins d'erreurs que les experts et cela peut être mis en lien avec la notion d'habitude et d'expérience du jugement (Barda, Fleurya, Carrièrea, & Halléa, 1980).

Un autre article explique avec certitude que cette notion d'expérience est primordiale. Il met en évidence que les juges en gymnastique artistique munis d'un passé gymnique sont supérieurs lors de l'évaluation de gymnaste à la poutre vis-à-vis de juges sans grande expérience gymnique (Pizzera, 2012a). Une autre étude argumente également que le coach spécialiste est meilleur que le coach généraliste ou le coach novice lors d'évaluation de mouvements gymniques. En effet, le spécialiste ressort comme étant plus précis dans son analyse que les deux autres niveaux d'entraîneurs (Imwolda & Hoffman, 1983).

Tous ces articles supportent la même opinion, c'est-à-dire que l'on s'attend à avoir une différence entre les experts et les novices. La **distinction** ne se fait **pas au niveau visuel**, mais reste propre à chaque individu. Toutefois, il est très souvent question d'une **différence** formelle **au niveau de l'analyse** que ce soit dans la pause d'un jugement ou la détection d'une erreur.

## 5 But & Questions de recherche précise

### 5.1 Problématique

Le but de ce travail est de **proposer une analyse oculométrique du jugement** des deux catégories de juges qui existent dans la gymnastique aux agrès. Cette analyse oculométrique, faite à l'aide d'une installation avec un *eye tracker*, est comparée à la note effective posée par les juges lors de l'évaluation des gymnastes afin d'y déceler des corrélations.

### 5.2 Questions de recherche concrète

- Existe-t-il une **stratégie commune** de recherche des erreurs produites par le gymnaste chez tous les juges ?
- Est-ce que les **années de pratique du jugement** influencent la qualité de cette stratégie (différence entre les juges *brevet I* et juges *brevet II*) ?
- Est-ce qu'une **corrélation** se forme entre la note posée et l'endroit où le juge regarde ?
- Quels sont les **motifs invariants** qui permettent de déterminer si l'analyse perceptuelle est de qualité ?

### 5.3 Processus pour l'obtention de ces objectifs de recherche

Afin d'élaborer la meilleure stratégie possible pour la capture des données, nous avons effectué plusieurs **pré-tests**. Notre but est d'arriver à extraire de nos vidéos le mouvement du gymnaste, pour ainsi pouvoir le comparer avec les points visuels captés par l'*eye tracking*. **Trois méthodes** ont été étudiées pour obtenir un squelette animé représenté par une hiérarchie d'articulations évoluant dans le temps :

(1) Premièrement, nous nous sommes dirigés vers la « **kinect** » de Microsoft utilisée notamment pour leur console de jeux-vidéo *Xbox 360*. Cette caméra a la capacité de capturer un mouvement et de le retranscrire en un

type d'humanoïde (squelette 3D). Cet outil nous permet de pouvoir superposer l'avatar avec notre vidéo projetée à l'écran. Malheureusement, faisant référence à des mouvements préenregistrés conçus pour du *gaming*, nous remarquons rapidement les limites de cet appareil. Par exemple, qu'une personne soit de dos ou de face, la *kinect* prendra toujours en compte que la personne filmée regarde la camera et donc retranscrira continuellement un humanoïde de face. Mais nettement plus problématique, aucun mouvement préenregistré n'a la tête en bas. L'information transcrite comporte de ce fait un excès de bruits. Par conséquent, nous nous sommes tournés vers une autre méthode.

(2) Dans un second temps, nous avons tenté de filmer avec **deux caméras** disposées à **angle droit** l'une de l'autre. Cette fois, la contrainte est liée à la création d'un algorithme capable de réaliser un humanoïde dans des délais raisonnables (l'élaboration est inenvisageable dans les 6 mois d'un travail de master). L'idée est donc abandonnée.

(3) Finalement, nous avons sélectionné une méthode plus fastidieuse, mais plus efficace. Nous avons filmé de manière totalement standard et nous avons, sur chaque vidéo, construit manuellement un **exosquelette** à chaque pas de temps. Un algorithme, faisant les liens entre les différents pas de temps, a accéléré la construction de l'exosquelette. L'opération a permis de créer une référence sur l'image qui sera projetée.

Les **limites** de ce système résident principalement dans sa **durée d'élaboration**, son **imprécision** quant à la position des segments, notamment ceux cachés par une autre partie du corps, ainsi que la **linéarité** de son algorithme vue que la majorité des mouvements sont cycliques.



## 6 Méthode

### 6.1 Sujets

Les sujets de cette étude sont des **juges aux agrès** suisses romands de la région de Fribourg. Comme la gymnastique est un sport pratiqué et jugé par une majorité de femmes, tous nos sujets sont des **femmes**, âgées en moyenne de 26,78 ( $\pm 6.25$ ) ans, afin de rester au plus proche de la réalité. Elles sont réparties en **deux catégories**, basées sur les catégories établies en gymnastique aux agrès :

- **Les titulaires d'un *brevet I*** permettant le jugement des catégories C1 à C4 *(petites catégories)*
- **Les titulaires d'un *brevet II*** permettant le jugement des catégories C5 à C7 + CD/CH *(grandes catégories)*

Les titulaires d'un *brevet II* ayant préalablement dû faire une formation *brevet I* et juger au minimum 6 concours dans cette catégorie pour pouvoir se présenter à la seconde formation.

La formation s'échelonne sur une année gymnique (septembre à juin) et se compose pour les *brevets I* de six cours, comprenant les aspects techniques de la gymnastique et les fondements du jugement par engin, de trois entraînements appelés « jugements à blanc » dans les concours régionaux ainsi que d'un examen théorique et pratique. Toute la formation est dispensée pour les petites catégories (C1 à C4). La formation des *brevets II* s'articule sur le même style, comportant trois cours, abordant la technique et les fondements de jugements par engins pour les grandes catégories (C5 à C7 et CD/CH) et d'un examen pratique et théorique centralisé pour toute la suisse à Hünenberg (Gymnastique agrès individuelle, Rubrique Formation 2016, tiré de <http://www.agres-region6.ch/formation.html> le 25 mai 2016).

Tous les sujets possèdent un brevet de juge valide et un intérêt prépondérant pour la gymnastique et le jugement. Nous avons choisi de prendre **18 sujets** pour cette étude : **9 titulaires du brevet I** et **9 titulaires du brevet II** pour confronter les deux niveaux d'expérience de ces juges.

## 6.2 Matériel

Un matériel de qualité joue un rôle essentiel dans la prise des mesures. Les sciences du sport et de la motricité de l'Université de Fribourg a mis à disposition une partie d'un tel équipement. Ce dernier se compose de plusieurs caméras utilisées pour les pré-tests et les films vidéos projetés. Quant à la seconde partie, le laboratoire du groupe de recherche de Jean-Pierre Bresciani l'a fournie. Elle regroupe tout l'outillage nécessaire au bon déroulement de l'expérience : tables, chaises, écran géant, beamer, ordinateur ainsi qu'un *eye tracker* « *EyeLink 1000 Plus Eye Tracker* » (Modèle d'eye tracking) et un appareil pour fixer la tête du sujet, appelé *chinrest* (Figure 5).



Figure 5 : Exemple d'eye tracker et de chinrest (tiré de : <http://visualcognitionlabco.fatcow.com> consulté le 2 juin 2016)

## 6.3 Procédure

Dans cette partie, tous les aspects propres à la méthode utilisée sont abordés. Le point de départ sera la phase de pré-test, puis nous nous intéresserons au pré-processing, à l'ordre de passation ainsi qu'aux différentes manipulations de post-processing.

### 6.3.1 Pré-test

Durant cette phase, nous collectons les données vidéos. Nous avons filmé **9 vidéos différentes** faites à partir de trois participantes, chaque gymnaste opérant trois fois la même suite d'éléments. Le but est d'obtenir 9 passages relativement distincts. De ce fait, nous avons pris trois gymnastes de niveaux différents : une C5, une C6 et une C7. Prendre trois représentantes de catégories différentes permet d'avoir une variabilité importante dans les postures adoptées ainsi que dans l'exécution des mouvements. Une autre variabilité intéressante pour le travail de jugement se dégage également entre les trois passages d'une même gymnaste. Nous avons choisi de prendre des **gymnastes de catégories supérieures** à la catégorie C4 pour deux raisons : la première est que nous voulons **minimiser** les éventuelles chutes dues à un manquement gymnique occasionnant d'éventuels « **pièges** » pour nos juges et créant ainsi un biais au bon déroulement de leur jugement. La seconde raison est que nous voulons proposer à tous nos juges des gymnastes au **gabarit comparable** à leurs habitudes. Les *brevets I* ont affaire à des gymnastes très jeunes (C1 et C2) et des gymnastes un peu plus grandes (surtout chez les C4) tandis que les *brevets II* ont exclusivement affaire à des gymnastes plus grands. Nous avons donc pris le parti de choisir des gymnastes de gabarit à tendance grand pour minimiser un quelconque biais.

Les prises vidéo sont effectuées avec un **angle de 45°**, angle qui nous permet de voir l'intégralité de la suite du gymnaste et qui, de plus, répond parfaitement à l'emplacement souvent observé en concours de gymnastique aux agrès. Ce même angle est utilisé dans le jugement de gymnastique

artistique sur des engins fixes par exemple aux anneaux (Dallas, Mavidis, & Chairpoulou, 2011). La caméra (Figure 6) est disposée à une distance de 5.87 mètres (depuis le centre de la barre fixe 4.15 mètres en largeur et 4.15 mètres en longueur), à une hauteur de 1.10 mètre correspondant à la hauteur d'un caisson suédois, hauteur approximative d'un humain sur une chaise.

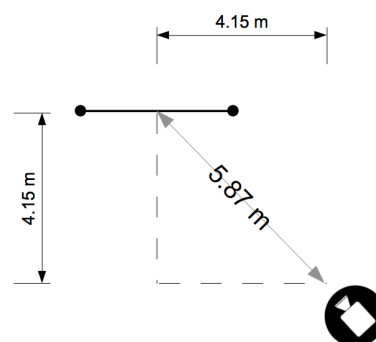


Figure 6 : Schéma Caméra - Barre fixe

La caméra est posée à cet endroit pour simuler de manière intéressante une situation de concours.

Sur ces 9 vidéos, nous opérons la **construction d'un humanoïde** (Figure 7) en deux dimensions. À l'aide d'un algorithme et d'un programme développés par Thibaut le Naour, expressément pour notre expérience, un humanoïde est construit et apposé manuellement sur chaque vidéo. Celui-ci est composé de 21 segments différents pour 22 points représentant les articulations<sup>1</sup>. Puis, l'algorithme établit une itération entre deux appositions

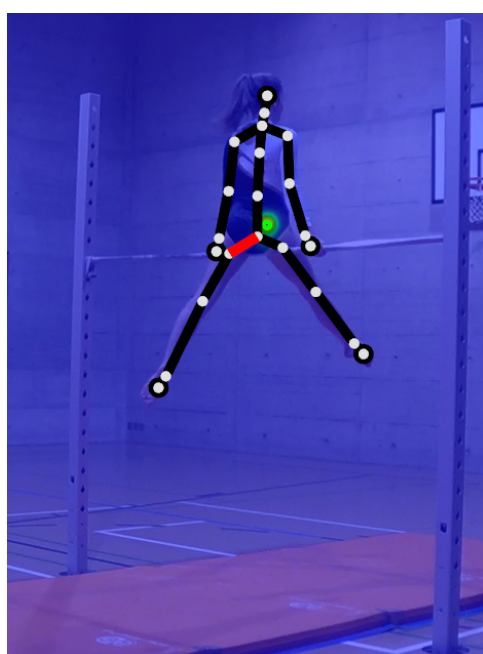


Figure 7 : Exemple d'apposition d'humanoïde

manuelles. La fréquence d'apposition est relative au mouvement de la gymnaste et varie de chaque 2 images pour les mouvements rapides à chaque 10 images pour les mouvements plus lents. En moyenne, un dessin d'humanoïde est utilisé toutes les 5 images.

Nous dupliquons alors nos vidéos augmentées de l'humanoïde, en prenant soin de renuméroter les secondes vidéos de 10 à 18. Notre but étant de projeter ces 18 vidéos à nos sujets et voulant

<sup>1</sup> SpineBase, Spinel, SpineMid, SpineShoulder, Neck, Head, ShoulderRight, ElbowRight, WristRight, HandRight, ShoulderLeft, ElbowLeft, WristLeft, HandLeft, HipRight, KneeRight, AnkleRight, FootRight, HipLeft, KneeLeft, AnkleLeft and FootLeft

limiter le biais d'un ordre identique pour chaque sujet, nous appliquons un carré latin (Wang, Wang, & Gong, 2009). Un ordre de passage est ainsi attribué à chacun des 18 sujets pour les 18 vidéos.

La phase de pré-processing est conséquente, surtout du fait qu'il fallut, avec Thibaut le Naour créer une application capable de projeter les vidéos sur l'écran géant et d'enregistrer dans un même temps les données captées par l'*eye tracking*. À cela s'ajoute l'obligation de retransmettre les données non seulement avec des chiffres, mais aussi de manière visuelle sur la vidéo visionnée pour y déceler des tendances ainsi que d'éventuels problèmes au sein du code.

### 6.3.2 Passation

La **phase de passation** des sujets s'est déroulée de manière standardisée. Nous avons, en effet, choisi un protocole précis.

Chaque sujet doit venir dans le laboratoire et s'asseoir à la table de jugement. Nous lui proposons **deux textes à lire**. L'un est « la note d'information » (en annexe) qui explique l'étude. Il mentionne le temps approximatif de l'étude (calculé entre environ 30 minutes et 1 heure), le jugement des 18 passages de la catégorie C4, ainsi que la contrainte liée au système de l'*eye tracking*. En effet, la tête doit rester fixe durant toute la durée de l'expérience pour permettre un *tracking* précis de l'œil. Installé à la table, nous plaçons un repose-tête qui permet aux sujets d'éviter de bouger la tête. La « note d'information » explique aussi dans les grandes lignes le but de l'étude, c'est-à-dire la détection d'une stratégie. Elle décrit bien que le projet a pour objectif de comprendre les divers mécanismes utilisés pour opérer le jugement et non pas d'évaluer si le sujet est un bon juge ou non. Le second texte est « une fiche de consentement » que le sujet doit lire et signer, acceptant de faire partie de l'étude.

Après cette phase de lecture, nous donnons à chaque sujet le même **matériel** : des feuilles de jugement, un programme de compétition comportant les informations relatives au jugement de la catégorie C4 à la barre fixe, ainsi que deux stylos de couleur pour le jugement<sup>2</sup>.

Dès lors, nous pouvons débiter l'expérience :

(1) La première phase consiste à **remplir un questionnaire** sommaire demandant le nom, l'année de naissance, le genre ainsi que la main dominante.

(2) La seconde phase consiste à **positionner la tête du sujet** dans le repose-tête prévu à cet effet et à régler la position de l'*eye tracker* pour que celui-ci détecte l'œil du sujet sur l'intégralité de l'écran. Nous testons la détection dans les quatre angles, positions qui garantissent une détection complète.

(3) La troisième phase est la **phase de calibration** de l'*eye tracking*. La calibration se sépare en trois parties : une phase de *testing*, une phase de contrôle du *shift* et une phase de validation. Le sujet doit fixer des points sur l'écran afin de calibrer son œil à l'écran géant. Les points sont répartis comme suit : au centre, dans les quatre angles, ainsi qu'au point milieu entre deux angles respectifs. Dans la phase de *testing*, le sujet fixe tour à tour les différents points dans un ordre aléatoire. Ils apparaissent et disparaissent ne laissant chaque fois qu'un seul point à fixer. La phase du contrôle du *shift* ne demande que la fixation du point central. Dans le cas d'un *shift* trop grand, l'*eye tracking* ne permet pas de continuer le procédé et donc la première phase est recommencée. Si, dans le cas contraire, le *shift* est petit, le sujet repasse une phase dite de validation où tous les différents points lui sont reproposés une seconde fois. L'algorithme de l'*eye tracking* calcule la déviation par rapport aux mesures de la première phase et propose les points (normalement les deux pires) afin de standardiser le regard.

---

<sup>2</sup> Certains juges ayant l'habitude de changer de stylo à chaque passage pour clarifier leur prise de notes

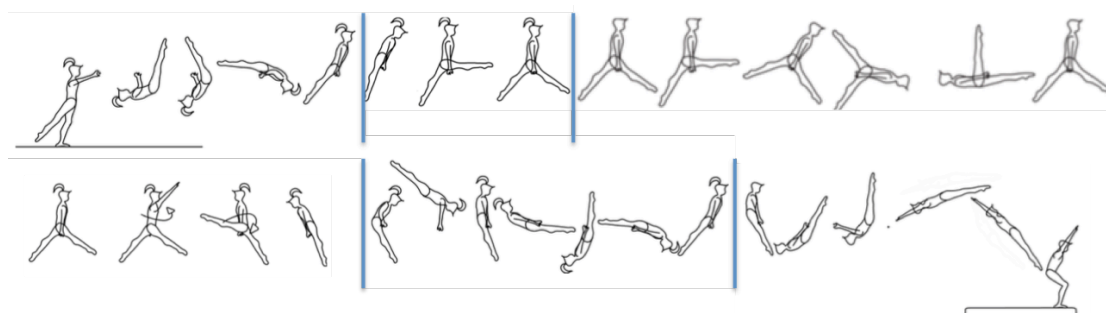
(4) La quatrième phase est celle du **jugement**. Nous demandons au sujet de se préparer, puis, les 18 vidéos à juger lui sont projetées. Après chaque vidéo, le sujet a une phase de réflexion sur la note qu'il attribue. Puis, nous contrôlons à nouveau si sa tête a bougé en demandant au sujet de fixer les quatre angles et en regardant la corrélation avec l'écran du système d'*eye tracking*. Si la tête a effectivement bougé, la calibration est recommencée. Dans le cas contraire, la vidéo suivante est visualisée. Pour un souci de précision et de confort, après chaque 3 vidéos, nous demandons aux sujets de sortir la tête et de réfléchir profondément sur ces notes. Cette réflexion est primordiale afin de créer de justes écarts de notes entre chaque passage pour classer au mieux nos 18 vidéos. Après la 9<sup>ème</sup> vidéo, nous demandons aux sujets de se lever et de passer dans une autre salle pour prendre une petite collation. Ceci symbolisant un changement d'engins en concours, toujours accompagné de 5-7 minutes d'échauffement. Après la pause, nous recommençons toujours par la phase de calibration.

(5) Dans une dernière phase, au sujet qui le souhaitait, nous leur proposons un **visionnage de leur performance visuelle**, c'est à dire d'une ou l'autre de leur phase de jugement, que nous commentons avec eux. C'est, dans cette dernière phase, que des explications précises concernant ce qui a été testé ainsi que la révélation de la présence de vidéos en doublon sont apportées aux sujets. Cette phase est également celle des **remerciements**.

### 6.3.3 Post-processing

Après avoir collecté l'intégralité des données, nous avons dû opérer quelques **modifications** sur celles-ci. En effet, nous avons rencontré le même problème chez plusieurs sujets : ils **baissaient les yeux** pour regarder leurs feuilles de jugement durant la vidéo. Cet abaissement crée un point biaisé qui apparaît plus bas que le gymnaste et qui perturbe nos algorithmes de calcul. Nous avons donc, via un algorithme, enlevé tous ces points problématiques pour rendre nos données plus claires.

Nous avons aussi créé sur chacune des 9 vidéos de base une **segmentation**, identifiant chacun des 6 éléments effectués dans la suite gymnique. Il y a au final 7 segmentations. La segmentation totale, correspondant à l'intégralité de la séquence projetée, est la première déjà préétablie. Les 6 autres correspondent aux 6 éléments de la suite, éléments choisis dans la Tablette de classification dans la section C4 Barre fixe. Ces éléments sont proposés, car ils correspondent aux mouvements majoritairement choisis lors des concours. Nous avons dans l'ordre : la montée du ventre, le passage de la jambe, le soleil, le passage de la deuxième jambe avec demi-tour, le tour d'appui et la sortie filée (*Figure 8*).



**Figure 8 : Suite d'éléments gymniques choisis pour le jugement**

Le séquençage des éléments est conçu pour comparer élément par élément et pour détecter si bel et bien plusieurs stratégies de recherche des erreurs existent ou si l'ensemble des sujets présente une approche visuelle identique. Nous avons également fait disparaître de nos données toutes les prises erronées<sup>3</sup>.

Dans un second temps, nous avons opéré une **transformation des données**. Par sujet, nous avons 18 documents textes contenant les données des 18 vidéos respectives. Nous nous sommes donc rabattus sur des données plus regroupées. Nous avons aussi mis en place un algorithme qui compte le temps qu'un segment est regardé. En effet, nous regardons le

<sup>3</sup> L'algorithme derrière notre application est construit de la sorte, que n'importe quel lancement de film aboutit toujours à une sauvegarde. Par mégarde ou tout simplement à cause d'erreurs de codages, des vidéos sont sélectionnées pour être montrées, mais ne sont jamais apparues à l'écran, laissant dans l'arrière du décor des lignes de codes obsolètes que nous avons enlevées manuellement.



segment le plus proche de l'endroit pointé par le sujet à chaque pas de temps. En sommant ces temps et en les adaptant à nos 7 morceaux de séquençage, nous avons obtenu un nouveau panel de données. Ces données nous renseignent sur les segments les plus regardés en fonction du mouvement gymnique observé. Nous avons été plus loin dans cette démarche et nous avons construit une carte couleur sous forme d'un humanoïde (*Figure 9*) où les couleurs de ses segments représentent la durée de temps passé par le sujet au plus près de ceux-ci. La couleur rouge correspond au segment majoritairement regardé tandis que la couleur bleue signifie une absence de fixation sur ce segment sur l'ensemble de la séquence. Un dégradé de couleurs, pour nous renseigner sur la présence de fixation, complète la coloration de notre humanoïde, incluant du orange, du jaune, du vert ainsi qu'un bleu plus clair que celui utilisé précédemment.

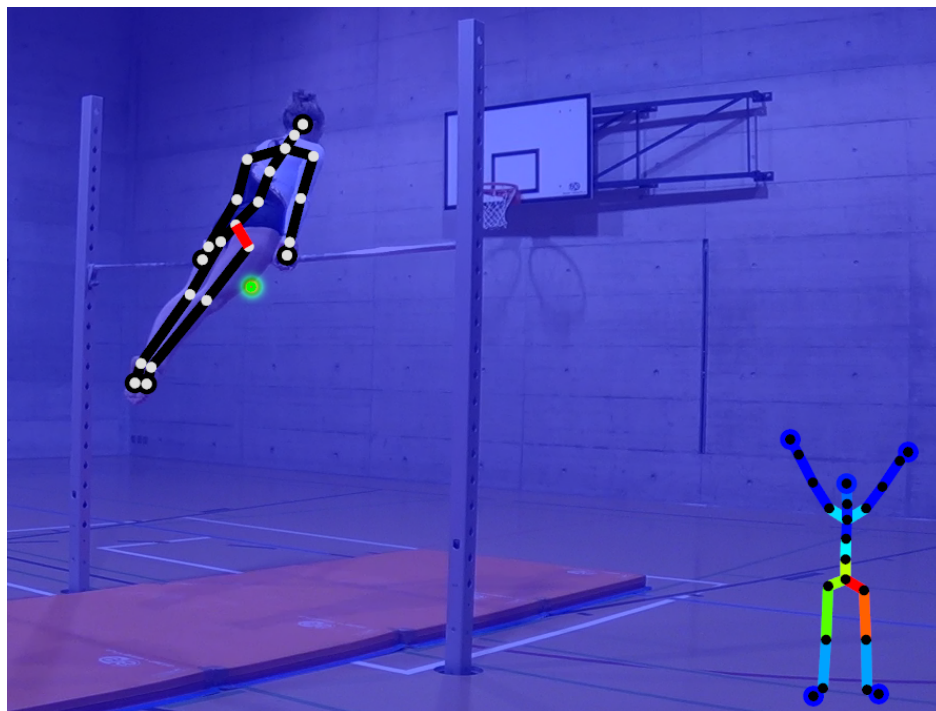


Figure 9 : Humanoïde avec coloration

## 7 Résultats

Les mesures opérées sur nos sujets sont de deux types : des **données écrites** et des **données visuelles**. Les données écrites représentent toute la partie jugement observée sur l'écran et retransmise sur les feuilles de juge (en annexe). Pour chaque sujet, nous avons retransmis numériquement toutes les précisions relatives à l'évaluation des gymnastes. Les informations recueillies sont les suivantes :

- (1) le numéro de la vidéo visionnée
- (2) la déduction opérée par élément
- (3) le nombre total de dixièmes de déduction enlevés
- (4) la note obtenue pour les 18 vidéos projetées.

D'un autre côté, nous avons aussi un autre type de données, des données extraites via notre système d'*eye tracking*, qui nous renseignent sur la stratégie utilisée par chaque sujet pour évaluer la technique et la tenue de chaque élément gymnique présent à l'écran. Nous obtenons donc la position en 2D du focus de l'œil à chaque pas de temps de la vidéo. À l'aide de l'humanoïde précédemment superposé à chaque vidéo, nous avons aussi pu récolter des données sur les segments les plus observés à chaque pas de temps ainsi que sur l'ensemble de la vidéo.

### 7.1 Données écrites

Ces données « papiers » sont d'une importance capitale dans l'analyse approfondie du jugement de nos sujets. C'est pourquoi nous allons parcourir les différentes informations que nous avons pu relever dans l'étude de celles-ci.

#### 7.1.1 La ligne de jugement

La première constatation est que, sur l'ensemble des vidéos jugées par l'intégralité de nos sujets, la moyenne est de 8.86 ( $\pm 0.35$ ). Cela nous renseigne sur la qualité moyenne des prestations fournies par les gymnastes

dans les 9 vidéos. Nos 18 sujets jugent les prestations comme étant de bonne facture. Si la note moyenne des 18 vidéos proposées pour chaque personne testée est analysée, nous remarquons que la moyenne est toujours de 8.86, mais que l'écart type ( $\pm 0.16$ ) chute drastiquement. Seul 3 des 18 sujets sortent des quartiles avec des notes moyennes de 8.68, 9.08 et 8.34. Donc, tous nos juges, excepté la personne ayant posé un 8.34, semblent opérer avec une **ligne de jugement** relativement **semblable**. Un choix de ligne sévère n'est pas préjudiciable pour autant que cette ligne soit maintenue sur l'ensemble du jugement. Une explication pour la personne ayant choisi une ligne plus dure est possible. En effet, le fait d'être seul devant sa feuille de jugement ne permet pas de recul et de discussion possible avec un autre juge. Sans comparaison permise, le choix des trois premières notes détermine de manière définitive la dureté de la ligne pour l'ensemble du jugement. De plus, **aucune différence** majeure entre les **moyennes des brevets I** ( $8.82 \pm 0.2$ ) **et des brevets II** ( $8.90 \pm 0.09$ ) semble être significative.

### 7.1.2 La marge

La deuxième constatation se rapporte à la **marge** opérée **entre les notes**. La marge se calcule pour chaque sujet en soustrayant la note minimale à la note maximale. Outre le choix d'une ligne définie, il est du devoir du juge de réussir à écarter un maximum les notes des sujets en utilisant au mieux toute la palette des notes à disposition. L'idée est de laisser suffisamment de marge entre une excellente prestation et une bonne réalisation, tout comme entre une bonne exécution et une performance moyenne, etc. La marge moyenne est de 1.04 ( $\pm 0.17$ ), signifiant que nos juges ont choisi de répartir l'ensemble des prestations sur une échelle d'environ 1 point sur les 10 à disposition. A nouveau, trois sujets (deux différents et le sujet à la ligne plus stricte) sortent des quartiles avec des marges de 0.8, 0.8 et 1.5. La marge de 1.5 point est obtenue par la personne avec la ligne plus dure. Ce qui est logique, car plus la ligne est sévère, plus la disparité entre les notes peut être élevée. Avoir une marge élevée n'est donc pas préjudiciable, pour autant que cette marge reste la même pour l'ensemble

des passations jugées. De plus, établir un classement est plus dommageable si la marge est faible. Cela peut mener en compétitions à d'éventuelles incompréhensions. Dans nos données, un seul de nos sujets propose une marge trop faible. En effet, sa marge est de 0.8 point sur l'ensemble des 18 vidéos testées, c'est-à-dire légèrement inférieures à l'ensemble des juges, mais chute à 0.45 lorsque la moyenne des vidéos identiques est calculée. Comparés à l'ensemble des juges, qui lors de la moyenne des vidéos identiques proposent une marge moyenne de 0.88 ( $\pm 0.18$ ), nous pouvons mentionner que ce sujet, appartenant au *brevet II*, a complètement manqué son jugement et qu'il biaise légèrement nos données<sup>4</sup>.

En considérant les marges moyennes sur les 18 vidéos, nous remarquons que les *brevets I* ont une **marge moyenne** de 1.12 ( $\pm 0.16$ ) qui est **plus conséquente que** celle des *brevets II* de 0.96 ( $\pm 0.13$ ). Cette tendance tend à se confirmer lorsqu'on prend les marges moyennes sur les 9 vidéos, en prenant comme notes de références les moyennes des deux vidéos similaires. En effet, les *brevets I* ont une marge moyenne de 0.95 ( $\pm 0.16$ ) et les *brevets II* une marge moyenne de 0.81 ( $\pm 0.17$ ). En omettant le sujet chez les *brevets II* qui a manqué son jugement et le sujet opérant avec une ligne plus dure chez les *brevets I*, la différence redevient faible avec une marge moyenne chez les *brevets II* de 0.85 ( $\pm 0.12$ ) contre 0.91 ( $\pm 0.09$ ) chez les *brevets I*.

### 7.1.3 La variabilité des notes

La troisième constatation intervient au niveau de la **variabilité des données**. En effet, comme chacun de nos juges à évaluer deux fois 9 vidéos sans se rendre compte des doublons, il y a création de différences de notation entre deux vidéos identiques. Pour déceler ces erreurs, nous avons, en valeur absolue, soustrait les notes respectives aux vidéos semblables. En

---

<sup>4</sup> Nous ne sommes pas dans l'optique d'évaluer ou de blâmer le jugement d'un ou l'autre des sujets. Nous sommes conscients que l'exercice demandé, juger sans référence directe à ses côtés, est laborieux et qu'une erreur humaine est totalement possible.

comparant les sommes de ces erreurs par vidéo, nous remarquons qu'on obtient 1.77 ( $\pm 0.51$ ) point en moyenne pour tous les sujets. Ceci équivaut à environ 0.2 point d'écart entre deux passages d'une même vidéo. Nous remarquons que l'on a deux sujets avec peu de variabilité 0.8 et 0.9 point, un *brevet II* et respectivement un *brevet I*. Tandis que d'un autre côté, on décèle trois autres sujets avec une variabilité conséquente de 2.4, 2.6 et 2.6 points pour un *brevet I* et respectivement deux *brevets II*. Cette variabilité élevée représente une différence moyenne entre deux passations d'une même vidéo comprise entre 0.27 et 0.29 point, soit d'environ 3 dixièmes de fluctuation par vidéo.

Conformément aux faits de concours observables ainsi qu'aux recommandations de jugement de la FSG, nous avons observé **l'importance des trois premières notes**. Par exemple, il est intéressant de noter que l'un des sujets, pris parmi les *brevets I*, présente une variabilité étrange. En effet, sur ces trois premières évaluations la variabilité fluctue énormément avec des valeurs comprises entre 1 point, 0.4 point et 0.3 point. Cette variabilité sort de l'ordinaire par les distances énormes qu'elle propose entre chaque note. Chose encore plus étonnante, la somme des erreurs en valeur absolue de ce sujet est de 1.7 point, ce qui équivaut à 0.19 point d'écart entre les évaluations de deux vidéos semblables. Avec ces 1.7 points obtenus par la somme des erreurs absolues, nous nous questionnons : comment est-ce possible que la variabilité de ces trois premières notes soit si haute ? La réponse est simple, entre les 6 autres valeurs ce sujet n'a tout simplement commis aucune autre erreur, posant chaque fois une note identique pour chaque doublon de vidéo.

Cet exemple, presque surréaliste, montre une fois de plus l'importance des trois premières notes difficiles à poser. Les mécanismes rendant le jugement de celles-ci ardues sont dans ce cas le **manque de dialogue**

possible avec un collègue, mais surtout l'**absence de référence** vis-à-vis d'autres évaluations de gymnastes<sup>5</sup>.

En comparant les sommes des erreurs absolues, nous obtenons que les *brevets I* parviennent en moyenne à 1.82 point ( $\pm 0.43$ ), alors que les *brevets II*, légèrement meilleurs, atteignent 1.72 point ( $\pm 0.61$ ) et ceci malgré deux valeurs extrêmes à 2.6 points d'erreurs. Nos données révèlent une **tendance** à ce que les *brevets II* soient **plus réguliers** dans leur façon de **poser une note**, lors d'évaluation de mêmes vidéos, sans pour autant donner des résultats significatifs.

#### 7.1.4 Observations

En comparant les variances sur les erreurs absolues, nous arrivons aux mêmes conclusions avec une variance moyenne pour tous nos sujets de 0.0298, une variance moyenne chez les *brevets I* de 0.03799 et une variance moyenne chez les *brevets II* de 0.0216. Là aussi la tendance est la suivante : les sujets appartenant aux juges avec la formation la plus conséquente semblent, via leur expérience accumulée et leur niveau de pratique plus élevé, être en mesure de commettre moins d'erreurs que leurs collègues ayant moins d'heures de jugement à leurs actifs. Nous insistons sur le fait que malgré tout, nous ne pouvons dégager que des tendances et non des résultats significatifs.

---

<sup>5</sup> En effet, depuis maintenant plusieurs années, les chefs juges en gymnastique aux agrès insistent davantage sur l'importance d'une réflexion approfondie de ces trois premières notes. Il est demandé aux juges une attention particulière au début de chaque concours pour poser ces trois évaluations, d'en rediscuter, de finalement les valider et, dans un second temps, les montrer au public. Dans ce même genre d'idée, un juge, ayant la chance de juger dans des concours nationaux par exemple au championnat suisse, devra s'astreindre un jour avant le concours à une journée de mise à niveau et de jugement à blanc afin de s'habituer, d'emmagasiner des références et d'éviter au maximum les erreurs éventuelles durant le concours du lendemain.

Pour apporter un poids supplémentaire à ces résultats, nous avons testé si une dépendance entre les *brevets I* et les *brevets II* est visible au niveau de leurs erreurs absolues moyennes. Tout comme les conclusions précédemment discutées, nous n'arrivons pas à dégager de résultats significatifs. Seule une tendance sur le fait que les *brevets II* produisent moins d'erreurs que les *brevets I* est décelable (Figure 10).

##### T-TEST #####

Welch Two Sample t-test

data: Results by Brevet  
 $t = 0.4022$ ,  $df = 14.368$ ,  $p\text{-value} = 0.6935$   
 alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0  
 95 percent confidence interval:  
 -0.04799962 0.07022184  
 sample estimates:  
 mean in group 1 mean in group 2  
 0.2024691 0.1913580

[1] "myRfromTTest:"  
 [1] 0.106

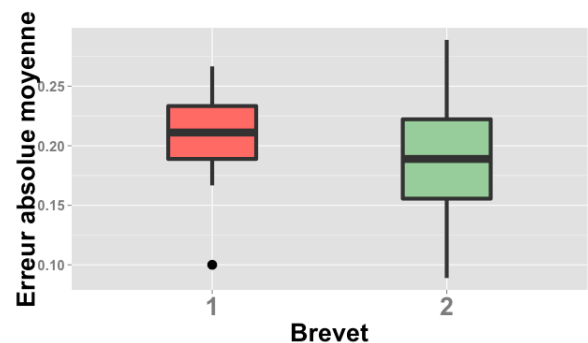


Figure 10 : Boxplot de l'erreur absolue moyenne

### 7.1.5 Ranking

La quatrième constatation réside sur **le classement** obtenu par chaque juge. En effet, le but de poser une note reste d'établir un vainqueur, un second ou un dernier ; d'ordonner les passations jugées. De cette idée, nous avons voulu savoir si tous nos sujets ont les mêmes agencements dans leur classement respectif.

#### 7.1.5.1 Classement idéal

Pour ce faire nous avons tout d'abord construit un **classement idéal**, auquel nous avons comparé nos 18 sujets. Afin d'établir ce *ranking* idéal, nous sommes partis dans deux directions, puis nous les avons réunies. La principale difficulté réside dans le fait que nos 18 juges ont jugé 18 vidéos dont 9 doublons. Comment établir un classement des 9 vidéos à partir de 18 où les notes ne sont pas régulièrement identiques ? Les deux solutions proposées et réalisées sont les suivantes :

- Supprimer les doublons, en moyennant leurs deux notes respectives, puis établir le classement sur les 9 vidéos
- Établir un classement sur les 18 vidéos, sommer les rangs des doublons, puis établir le classement sur les 9 vidéos

Nous appellerons la première méthode **(1) la méthode du *ranking* par la moyenne** et la seconde **(2) la méthode du *ranking* par la somme des rangs**. Sur ces deux méthodes, nous avons opté pour des réalisations identiques. En effet, nous avons sommé les rangs pour chaque numéro de vidéos. Nous avons fait de même pour les *brevets I* et les *brevets II*. Nous avons établi la moyenne totale de ces rangs ainsi que celles des deux catégories de juges. Nous avons effectué un classement vis-à-vis de cette somme, classement identique à un classement sur la moyenne, et nous avons obtenu deux tabelles distinctes.



		Rang Vidéo <sup>6</sup>	Rang Vidéo	Rang Vidéo	Rang Vidéo	Rang Vidéo	Rang Vidéo	Rang Vidéo	Rang Vidéo	Rang Vidéo
	Brevet	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sujet 1	2	8 <sup>7</sup>	9	3	3	6	5	2	7	1
Sujet 2	1	9	5	1	3	8	7	4	6	2
Sujet 3	1	3	5	2	7	8	1	6	4	9
Sujet 4	1	6	9	1	5	7	4	3	8	1
Sujet 5	1	7	9	2	4	6	3	1	8	5
Sujet 6	2	9	4	2	6	6	3	4	6	1
Sujet 7	1	8	4	2	7	5	9	1	5	3
Sujet 8	2	7	9	1	4	6	5	3	8	2
Sujet 9	1	6	9	1	4	8	7	3	4	2
Sujet 10	1	5	9	1	3	7	8	1	6	3
Sujet 11	2	8	6	1	8	6	5	4	3	2
Sujet 12	2	7	8	3	9	5	4	2	6	1
Sujet 13	1	8	9	1	7	6	4	3	5	2
Sujet 14	2	5	9	1	6	8	3	4	6	2
Sujet 15	2	8	7	2	4	9	6	2	5	1
Sujet 16	2	7	9	1	4	8	5	2	5	2
Sujet 17	1	9	7	1	4	7	6	3	5	2
Sujet 18	2	5	9	1	4	8	7	3	6	1
Somme totale		125	136	27	92	124	92	51	103	42
Somme B1		61	66	12	44	62	49	25	51	29
Somme B2		64	70	15	48	62	43	26	52	13
<b>Classement total</b>		<b>8</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>2</b>
Classement B1		7	9	1	4	8	5	2	6	3
Classement B2		8	9	2	5	7	4	3	6	1
Ecart type total		1.61	1.86	0.69	1.79	1.15	1.97	1.26	1.37	1.89
Ecart type B1		1.87	2.00	0.47	1.59	0.99	2.45	1.55	1.41	2.30
Ecart type B2		1.29	1.69	0.82	1.94	1.29	1.23	0.87	1.31	0.50
Moyenne totale		6.94	7.56	1.50	5.11	6.89	5.11	2.83	5.72	2.33
Moyenne B1		6.78	7.33	1.33	4.89	6.89	5.44	2.78	5.67	3.22
Moyenne B2		7.11	7.78	1.67	5.33	6.89	4.78	2.89	5.78	1.44

Tableau 2 : Tabelle avec la méthode du *ranking* par la moyenne

<sup>6</sup> Les vidéos 1, 4 et 7 correspondent à la gymnaste C7, les vidéos 2, 5 et 8 à la gymnaste C6 et les vidéos 3, 6 et 9 à la gymnaste C5

<sup>7</sup>Le code couleur fait référence au classement total, chaque juge ayant classé une vidéo avec le même classement se voit attribuer une case de couleur verte.

		Rang Vidéo <sup>8</sup>	Rang Vidéo	Rang Vidéo	Rang Vidéo	Rang Vidéo	Rang Vidéo	Rang Vidéo	Rang Vidéo	Rang Vidéo
	Brevet	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sujet 1	2	8 <sup>9</sup>	9	1	4	7	5	3	6	2
Sujet 2	1	9	5	1	3	8	7	4	6	2
Sujet 3	1	3	5	2	7	9	1	6	4	8
Sujet 4	1	7	9	1	4	6	4	3	8	2
Sujet 5	1	7	9	2	3	6	4	1	8	5
Sujet 6	2	9	3	2	6	6	3	3	6	1
Sujet 7	1	8	4	2	7	5	9	1	5	3
Sujet 8	2	7	9	1	4	6	5	3	8	2
Sujet 9	1	6	9	1	4	8	7	3	4	2
Sujet 10	1	5	9	1	3	7	8	1	6	3
Sujet 11	2	9	6	1	8	7	5	4	3	2
Sujet 12	2	7	8	3	8	6	4	2	5	1
Sujet 13	1	8	9	1	7	6	4	3	5	2
Sujet 14	2	5	9	1	6	8	3	4	6	2
Sujet 15	2	8	7	2	5	9	5	2	4	1
Sujet 16	2	7	9	1	4	8	6	2	5	3
Sujet 17	1	9	7	1	4	7	6	3	5	2
Sujet 18	2	5	9	1	4	8	7	3	6	1
Somme totale		127	135	25	91	127	93	51	100	44
Somme B1		62	66	12	42	62	50	25	51	29
Somme B2		65	69	13	49	65	43	26	49	15
<b>Classement total</b>		<b>7</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>2</b>
Classement B1		7	9	1	4	7	5	2	6	3
Classement B2		7	9	1	5	7	4	3	5	2
Ecart type total		1.65	1.98	0.59	1.68	1.13	1.92	1.21	1.38	1.64
Ecart type B1		1.85	2.00	0.47	1.70	1.20	2.36	1.55	1.41	1.93
Ecart type B2		1.40	1.94	0.68	1.57	1.03	1.23	0.74	1.34	0.67
Moyenne totale		7.06	7.50	1.39	5.06	7.06	5.17	2.83	5.56	2.44
Moyenne B1		6.89	7.33	1.33	4.67	6.89	5.56	2.78	5.67	3.22
Moyenne B2		7.22	7.67	1.44	5.44	7.22	4.78	2.89	5.44	1.67

Tableau 3 : Table avec la méthode du *ranking* par la somme des rangs

Nous obtenons avec ces deux méthodes deux classements différents qui proposent des points communs. En récapitulant, nous remarquons qu'avec ces deux méthodes de calcul du *ranking* les rangs 1, 2, 3, 6 et 9 sont les mêmes (*Figure 11*). Au final, il reste à comprendre comment les finalités pour les rangs 4, 5, 7 et 8 sont établies. Par la méthode du *ranking* par la somme des rangs, nous remarquons qu'une égalité pour le rang 4 est formée.

<sup>8</sup> Idem note de bas de page n°5<sup>9</sup> Idem note de bas de page n°6

En regardant, le *ranking* établi par la méthode de la moyenne, nous observons que l'un propose le rang 4 (vidéo N°4) et l'un le rang 5 (vidéo N°6). Nous choisissons donc d'établir notre classement idéal en spécifiant que la vidéo N°4 restera au rang 4 tandis que la vidéo N°6 prendra le rang 5. Sur la même idée, nous opérons une réflexion identique sur la vidéo N°5 qui prendra le 7<sup>ème</sup> rang et la vidéo N°1 qui prendra le 8<sup>ème</sup> rang. Ce classement possède de bons points. Il a notamment la capacité de classer les trois gymnastes des 9 vidéos de la meilleure à la moins performante. Ainsi, la logique gymnique est maintenue.

	RANKING Somme des rangs	RANKING Moyenne		RANKING Idéal
Vidéo N° 1	8	7		8
Vidéo N° 2	9	9		9
Vidéo N° 3	1	1		1
Vidéo N° 4	4	4		4
Vidéo N° 5	7	7		7
Vidéo N° 6	4	5		5
Vidéo N° 7	3	3		3
Vidéo N° 8	6	6		6
Vidéo N° 9	2	2		2

Figure 11 : Passage de nos deux types de classement à un classement idéal

Ce ranking idéal est cohérent vis-à-vis des niveaux des trois gymnastes. En effet, la gymnaste proposant la plus grande maîtrise se voit attribuer le 1<sup>er</sup>, le 2<sup>ème</sup> ainsi que le 5<sup>ème</sup> rang pour ces trois prestations. La seconde gymnaste reçoit le 3<sup>ème</sup>, le 4<sup>ème</sup> et le 8<sup>ème</sup> rang et la troisième gymnaste le 6<sup>ème</sup>, le 7<sup>ème</sup> et le 9<sup>ème</sup> rang. Une hiérarchie est décelable et ceci malgré des disparités entre les passages. Cette observation apporte une cohérence supplémentaire à ce classement idéal.

#### 7.1.5.2 Erreur absolue vis-à-vis du classement idéal

Ce classement idéal enfin établi, nous pouvons maintenant l'utiliser pour le comparer avec les données obtenues par chacun des juges. Pour ce faire, nous avons comparé pour nos deux méthodes (Somme des rangs & Moyenne) le classement de chaque juge vis-à-vis du *ranking* idéal. En valeur absolue, nous avons soustrait le rang obtenu par les sujets au rang idéal pour chaque numéro de vidéo. En additionnant l'ensemble de ces soustractions,

en valeur absolue, nous obtenons la somme des erreurs de *ranking*. Cette somme était en moyenne pour tous les sujets de 10.33 points (Somme des rangs) et de 9.94 points (Moyenne). Ces valeurs peuvent nous renseigner sur l'écart moyen du rang de chaque vidéo vis-à-vis du *ranking* idéal, qui est ainsi de 1.15 point (Somme des rangs) et de 1.10 point (Moyenne). Deux sujets *brevet I* proposent de grandes erreurs relatives à ce classement idéal avec une somme des erreurs de 19 et de 30 pour une erreur moyenne de 2.11 et de 3.33. À l'opposé deux sujets *brevets II* sortent du lot et proposent de très faibles erreurs relatives au *ranking* idéal avec une somme des erreurs de 4 pour une erreur moyenne de 0.44 pour les deux. La **tendance** globale qui en ressort est que l'erreur moyenne des *brevets I* vis-à-vis du classement idéal est de 1.31 ( $\pm 0.89$ ) et que celle des *brevets II* est de 0.99 ( $\pm 0.42$ ). Cela nous montre un penchant à ce que les ***brevets II*** soient moins éparpillées et **plus centrées sur un *ranking* commun** que leurs collègues moins expérimentés titulaires du *brevet I* (Figures 12 et 13).

#### Méthode avec somme des rangs :

"##### T-TEST #####"

Welch Two Sample t-test

data: Results by Brevet

$t = 0.9747$ ,  $df = 11.45$ ,  $p\text{-value} = 0.3498$

alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0.4003526 1.0423279

sample estimates:

mean in group 1 mean in group 2

1.3086420 0.9876543

[1] "myRfromTTest:"

[1] 0.277

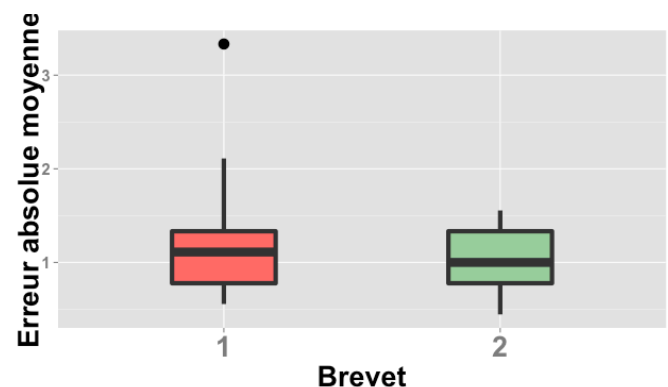


Figure 12 : Boxplot de l'erreur absolue moyenne (pour la méthode avec somme des rangs)

### Méthode avec moyenne :

"##### T-TEST #####"

Welch Two Sample t-test

data: Results by Brevet

$t = 1.0303$ ,  $df = 12.506$ ,  $p\text{-value} = 0.3224$

alternative hypothesis: true difference in means  
is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0.3957132 1.1117626

sample estimates:

mean in group 1 mean in group 2

1.2839506 0.9259259

[1] "myRfromTTest:"

[1] 0.28

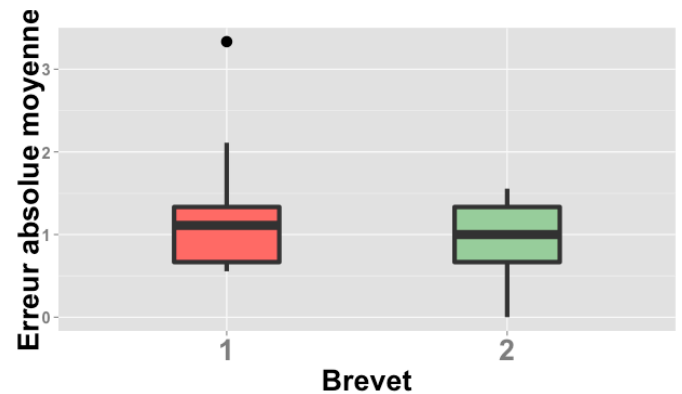


Figure 13 : Boxplot de l'erreur absolue moyenne (pour la méthode avec moyenne)

### 7.1.6 Récapitulatif

En définitive, à travers les valeurs statistiquement obtenues ( $p$ -value, figures 12 et 13), nous ne pouvons inférer sur la question « Existe-t-il des divergences significatives entre les différents juges en fonction de leurs formations et de leurs expériences ? ». Nous sommes en mesure d'y déceler des **tendances** qui mettent en lumière une **meilleure qualité de réponse chez les brevets II** sans pour autant pouvoir appuyer nos dires sur des résultats significatifs. La différence espérée au niveau des résultats écrits reste donc incertaine.

## 7.2 Données visuelles

Intéressons-nous maintenant aux **données visuelles** récoltées avec le système d'*eye tracking*. Leur traitement nécessite une apposition d'un humanoïde épousant les mouvements du gymnaste sur chaque vidéo. Cet humanoïde se compose de segments. Celui qui est le plus proche de la position regardée est comptabilisé en temps passé et observable par sa colorisation en rouge (*Figure 14*). Pour des raisons de chevauchements des segments, nous évitons que les segments des bras interviennent et biaisent nos données. Ainsi, seuls les segments de la tête, des épaules, de la colonne et des jambes sont présents dans l'algorithme de comptage.

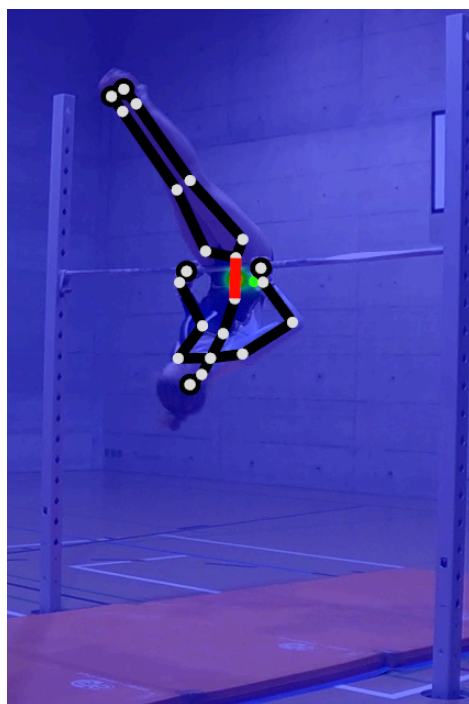


Figure 14 : Mise en évidence du segment le plus proche sur l'humanoïde

Notre **but** étant de **déceler** si des **stratégies diverses** sont observables chez nos sujets, nous avons opté, comme annoncé dans le chapitre précédent, pour plusieurs pistes afin de les détecter. Ci-dessous se trouve la présentation de ces diverses pistes afin de s'éclaircir davantage sur le fond. Il est important de mentionner que certains thèmes sont traités de manière visuelle et que d'autres sont appuyés numériquement.

### 7.2.1 Points de fixations & stratégies visuelles

Notre première constatation se focalise sur les **points de fixation**. Ce sont des zones informatives jugées dignes d'intérêt, où l'œil se pose et reste pendant une certaine durée. Les points de fixation sont en étroite relation avec les **saccades**, qui sont leurs pendants, étant de rapides mouvements entre ces zones informatives (Salvucci & Goldberg, 2000). Notre logiciel a la capacité de montrer visuellement les points de fixation ainsi que leur intensité

respective (caractérisée par la taille du cercle les entourant). L'intensité correspond à la durée de focalisation de l'œil sur une zone précise.

En comparant les sujets, deux stratégies différentes se distinguent. Elles sont indépendantes du brevet, mais propres à chaque individu. Ces deux stratégies sont :

- Regard focalisé sur les hanches, sur l'ensemble du mouvement  
(***Vision centralisée***)
- Recherche des erreurs en étoile, avec au centre les hanches  
(***Vision en étoile***)

#### 7.2.1.1 *Vision centralisée*

La première stratégie **(1)** propose une **position** des points de fixation fortement **centralisée autour de la barre fixe** (position où les gymnastes opèrent la majorité de leurs mouvements). Seules l'entrée et la sortie ont la possibilité de créer des décalages des points de fixations. Ci-dessous, trois analyses de points de fixation d'un même juge (*brevet II*) proposant une vision centralisée sur l'intégralité de la vidéo<sup>10</sup> (*Figure 15*), ainsi que trois analyses de points de fixation d'un autre juge (*brevet I*) proposant aussi la même vision centralisée (*Figure 15bis*):

---

<sup>10</sup> Pour rappel, les cercles représentent l'endroit et l'intensité des points de fixation. Une échelle de couleur facilite la lecture des données, le rouge étant un point de fixation très regardé et le vert clair caractérise des points regardés sans insistance majeure.





Figure 15 : Vision centralisée d'un brevet // lors de l'évaluation de trois gymnastes



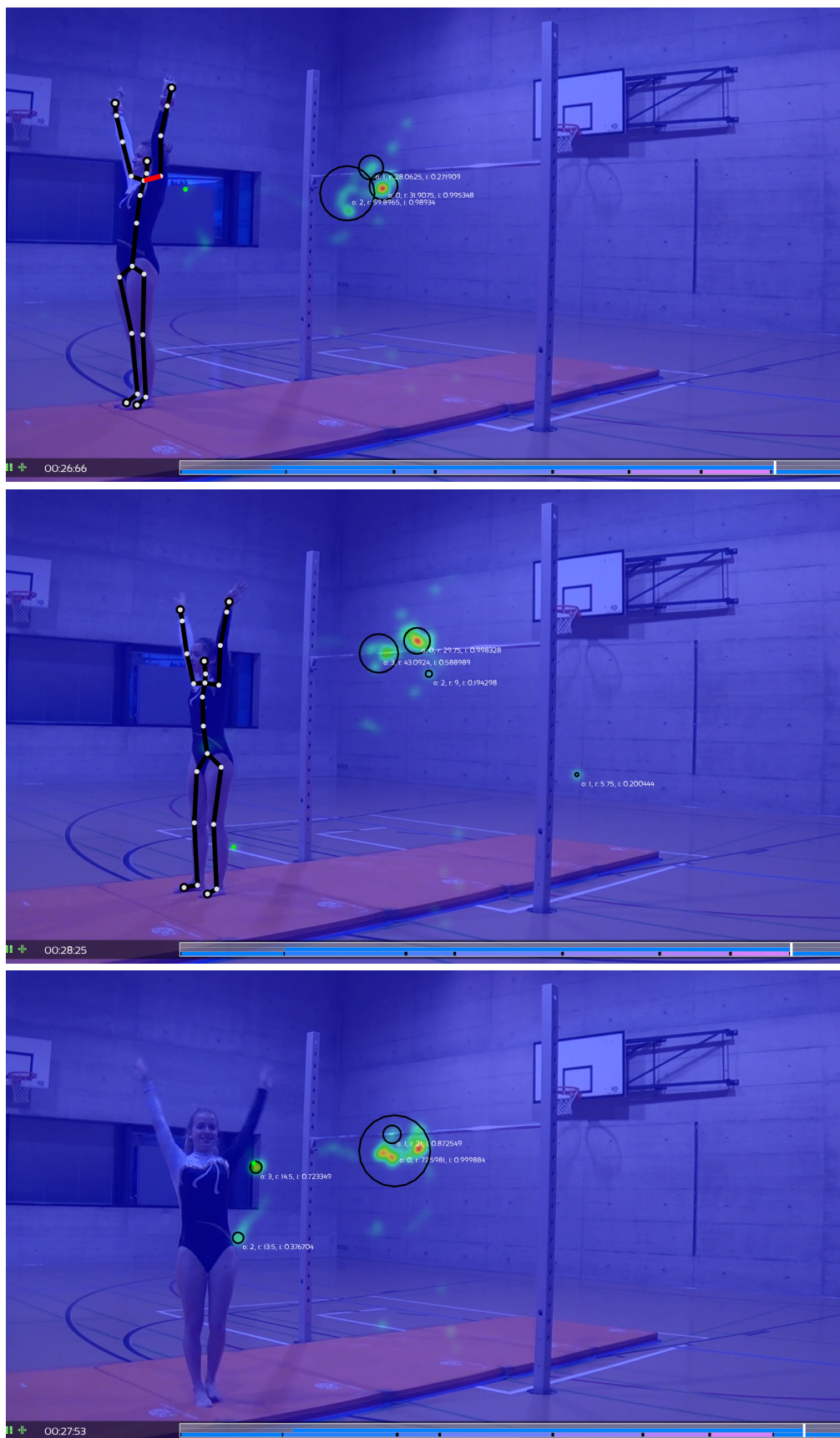


Figure 15bis : Vision centralisée d'un brevet / lors de l'évaluation de trois gymnastes

### 7.2.1.2 Vision en étoile

Notre deuxième catégorie de juges (2) propose une **vision étoilée** avec comme ancrage la position des hanches (*Figure 16*). Dans cette stratégie, l'information captée au niveau des hanches ne suffit pas. Le juge décide de balayer vers le haut ou vers le bas le corps du gymnaste pour maximiser ces chances d'apercevoir une ou des erreurs. Cette stratégie a été qualifiée par le groupe de vision en étoile. La raison est que le déplacement du regard du juge se fait le long des jambes et non pas seulement de haut en bas, ceci lorsque le gymnaste opère des mouvements à la position latérale à cheval. Une situation semblable est observée lors du demi-tour où la gymnaste lève un bras et que le regard du juge s'y dépose. Ci-dessous, trois analyses de points de fixation d'un même juge (*brevet II*) proposant une vision en étoile sur l'intégralité de la vidéo (*Figure 17*) :

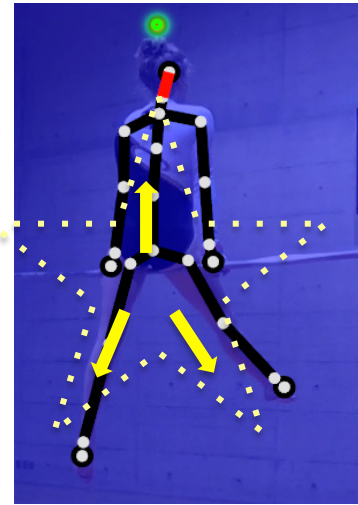


Figure 16 : Vision en étoile

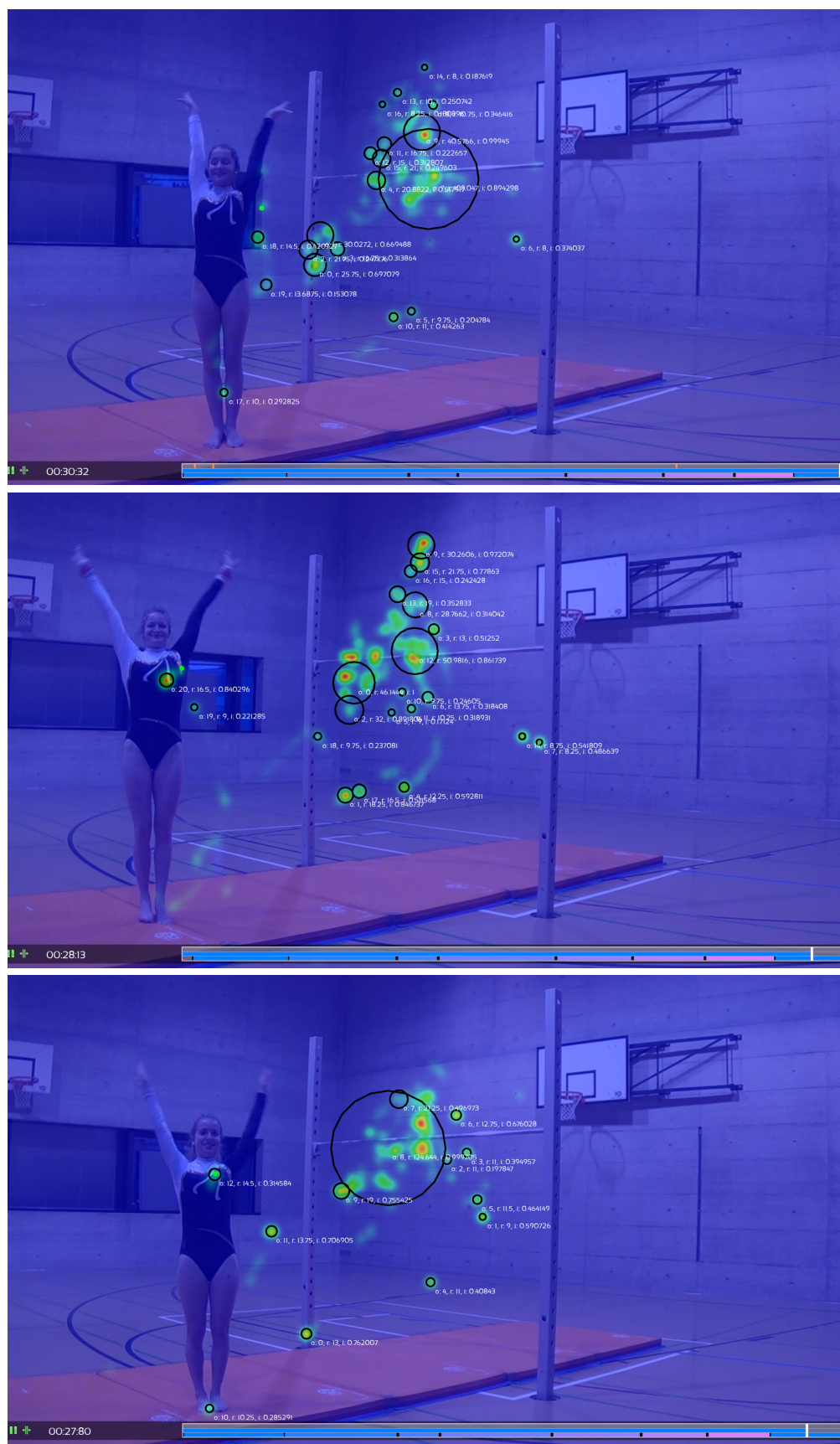


Figure 17 : Vision en étoile d'un *brevet //* lors de l'évaluation de trois gymnastes



Nous remarquons ici une diversité importante entre les points de fixations avec chaque fois une proportion plus importante de focalisation sur les hanches. Des points de fixation sur les pieds et sur la tête se décèlent également, preuve que la stratégie opérée ci-dessus diffère totalement de la stratégie de la vision centralisée et, ceci, malgré le brevet identique.

### 7.2.1.3 Généralités : vision mixte et stratégie propre à chacun

Il est important de mentionner que les deux types de juges proposés ci-dessus font partie des deux extrêmes. Entre ces deux stratégies aux caractères divers, des juges peuvent se situer à mi-chemin de part et d'autre. Ces **intermédiaires** proposent un **mélange** entre **vision centralisée et recherche en étoile**. La stratégie de recherche de l'information est propre à chaque individu et ne dépend ni de l'expérience accumulée ni du brevet.

### 7.2.2 Courbe visuelle

La seconde constatation concerne la **courbe effectuée par l'œil** tout au long de la vidéo. Grâce à notre logiciel, l'extraction de films interactifs des images représentatives de la courbe courant sur l'ensemble de la vidéo est possible. Comme pour les points de fixation, les gymnastes se trouvent à la terminaison de leurs exercices lorsque l'exosquelette apposé sur la vidéo n'est plus dessiné et qu'elles saluent le juge en signe de clôture. Les trois mêmes juges examinés plus haut sont repris, respectivement :

- *Brevet II*, vision centralisée (1)
- *Brevet II*, vision en étoile (2)
- *Brevet I*, vision centralisée (3)

Ci-dessous, les trois courbes des juges respectifs sur l'ensemble de la vidéo sont présentées (*Figure 18*). La couleur ne fait plus référence à l'intensité, mais est là pour donner l'information chronologique<sup>11</sup>.

---

<sup>11</sup> La couleur bleue signifie le début du visionnage et cette couleur se dégrade en un arc-en-ciel pour terminer à la couleur rouge symbolisant la fin de la vidéo regardée.

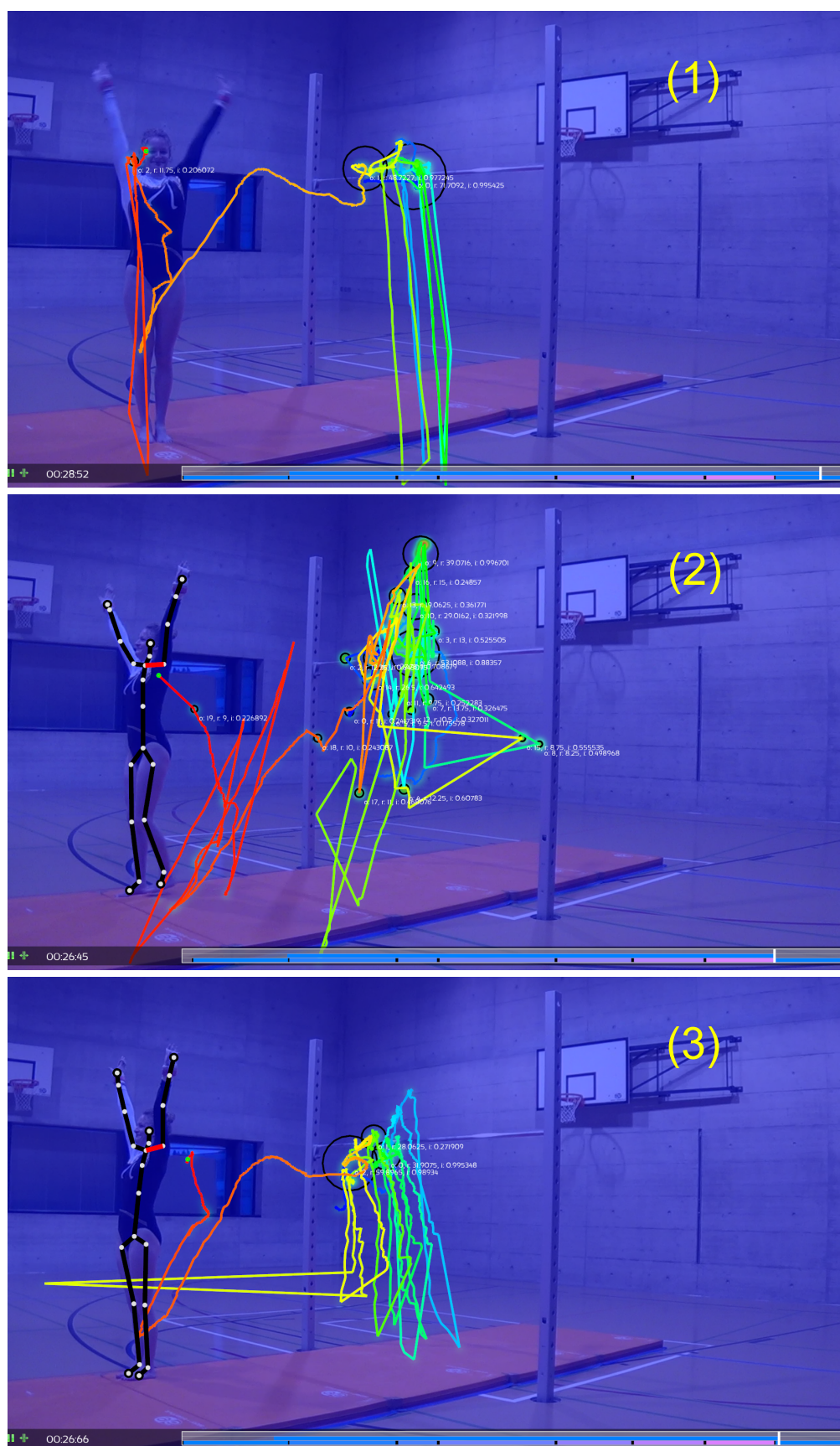


Figure 18 : Courbe visuelle de trois sujets

Plusieurs différences se détectent. La première est que les sujets (1) et (3) baissent les yeux pour regarder leurs feuilles. Ce mouvement oculaire se caractérise par un nombre conséquent de lignes verticales. La **baisse des yeux** engendre une perte d'information visuelle et donc, en quelque sorte, une faute dans l'impartialité du jugement. En effet, le juge doit toujours opérer en faveur du gymnaste. Par conséquent, il ne peut enlever des points pour une faute qu'il n'a pas vue. Il a été remarqué qu'une plus grande proportion de juges opérant avec la stratégie de vision centralisée ont tendance à baisser les yeux durant le courant de l'exercice à juger. Chez le sujet (2), l'abaissement des yeux n'est pas présent, mais une quantité et une taille de saccades très importantes se font remarquer. Ainsi, la courbe de la première partie de l'exercice (en vert) passe proche du sol, car notre sujet visionne les pieds de la gymnaste durant la montée du ventre. Idem pour la courbe de la partie finale (en rouge), le juge (2) balaye à nouveau des zones proches des tapis durant la réception succédant la sortie filée. Chez les sujets proposant cette stratégie de vision en étoile, une question intervient : est-ce que le nombre d'informations perçues n'est pas trop conséquent pour être traité dans leur intégralité ? Hormis cette interrogation, cette stratégie, présente chez une proportion plus faible de juges que la vision centralisée, a le mérite d'offrir un visionnage complet de la scène visuelle observée.

### 7.2.3 Trace oculaire (points)

Par souci de lisibilité, il est plus judicieux de proposer, non pas la courbe dans sa totalité, mais les différents points captés par l'*eye tracking* durant l'ensemble de la séquence vidéo. Ci-dessous, l'illustration de cette solution avec les trois sujets précédents (1), (2) et (3) ainsi qu'un autre *brevet II* à vision centralisée (4) (Figure 19).

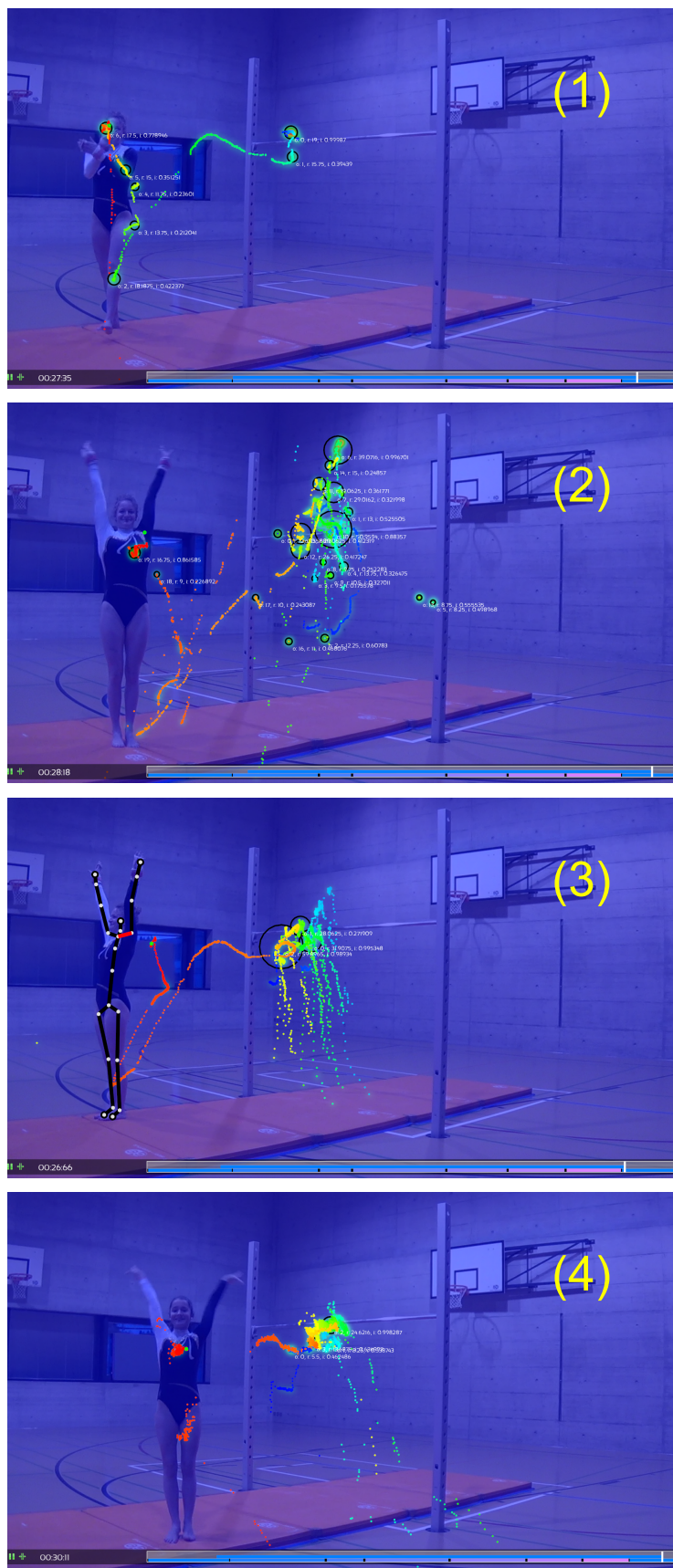


Figure 19 : Trace oculaire de quatre sujets



Il se dégage que le sujet (3) et le sujet (4) ont une saccade importante entre les hanches du gymnaste et leur feuille de jugement. Là aussi, les prédispositions de chaque individu rentrent en ligne de compte dans l'analyse.

#### 7.2.4 En détail : élément par élément

Jusqu'à maintenant, l'intégralité de la vidéo est analysée. Toutefois, **chaque élément** de la suite gymnique peut être **analysé séparément**. Par exemple, lors d'un tour d'appui, mouvement circulaire dynamique autour de la barre, tous les sujets utilisent la même stratégie. Leur vision est centralisée sur le point de rotation du gymnaste, en l'occurrence ces hanches. La stratégie de **vision en étoile** est donc **applicable** seulement **lors d'éléments statiques** ou **effectués de manière contrôlée**. Ci-dessous, les points de fixations et la courbe des sujets (1) et (2) lors du jugement du tour d'appui arrière (*Figure 20*).



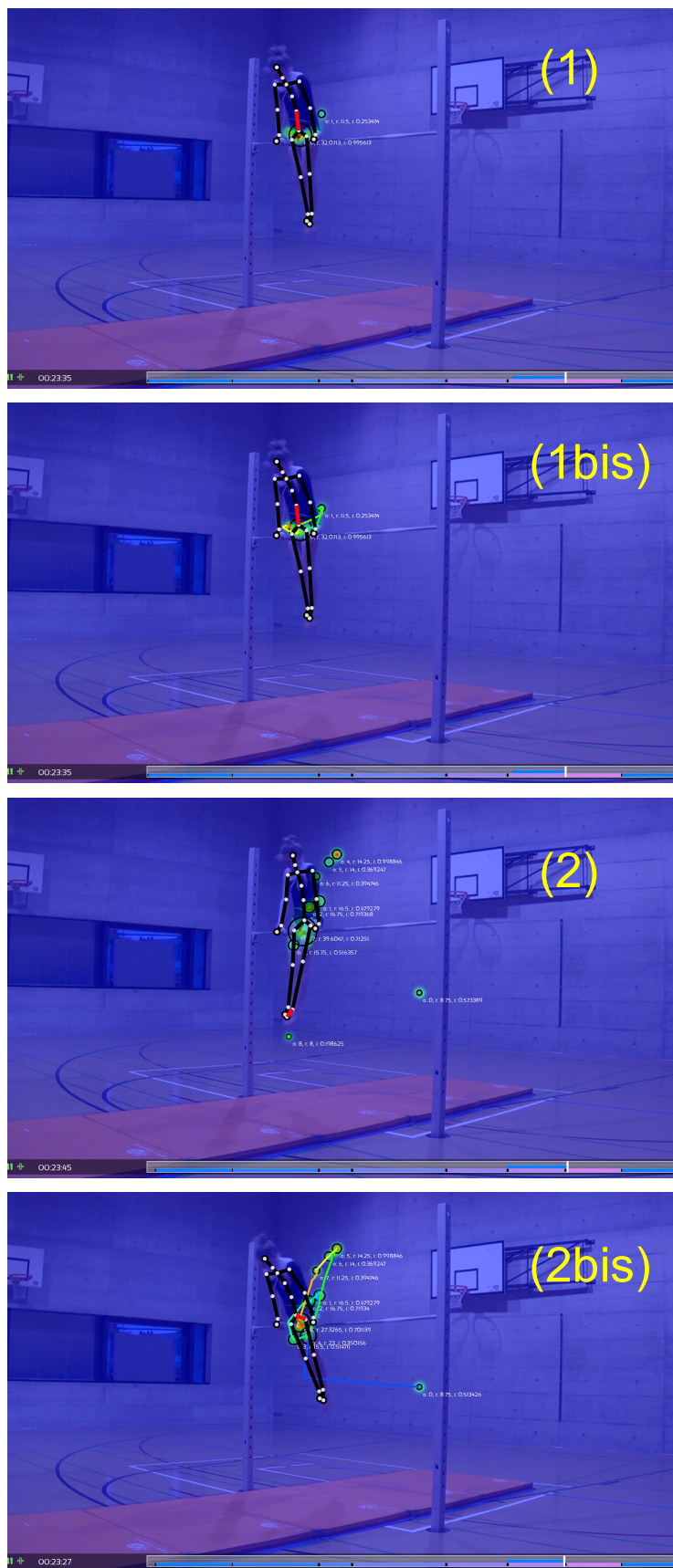


Figure 20 : Point de fixation (1),(2) & Courbe visuelle (1bis), (2bis) de deux sujets lors de l'évaluation du tour d'appui

Uniquement un déplacement dans la première partie de l'élément est détectable chez les sujets utilisant la stratégie de vision en étoile. Ainsi, une courbe allant vers le haut lors de la prise d'élan arrière<sup>12</sup> (1) est détectable (Figure 21). Cette courbe

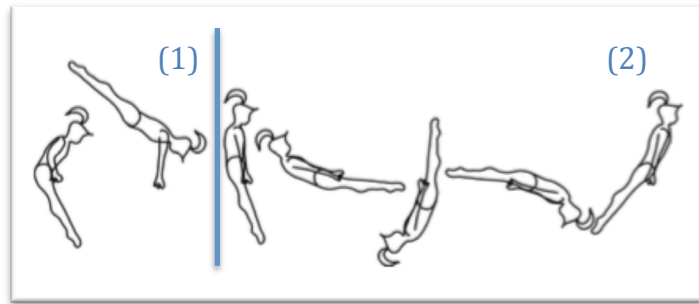
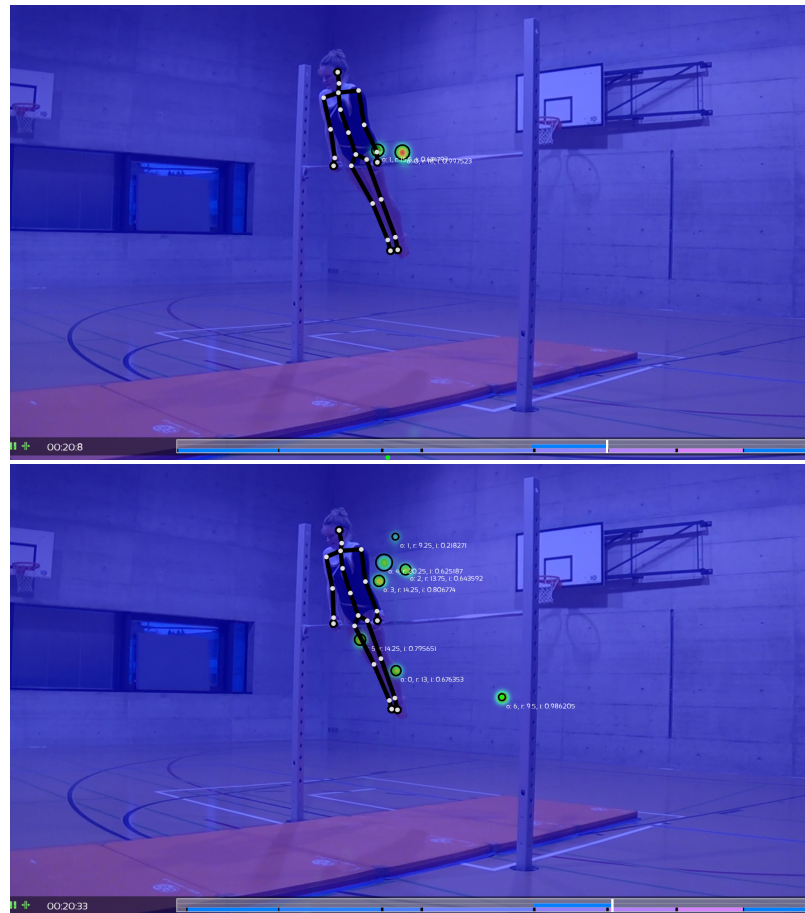


Figure 21 : Prise d'élan (1) & tour d'appui (2)

montre un temps de fixation sur l'épaule du sujet. Au contraire, les juges utilisant la vision centralisée restent focalisés sur la zone à hauteur de la barre. Cette zone correspond parfaitement à la zone de départ du tour d'appui (2) ainsi que de la zone de rotation de ce même tour d'appui après la phase de prise d'élan arrière.

Dans le cas où un des éléments plus statiques de l'enchaînement gymnique est considéré, par exemple le passage de la jambe avec  $\frac{1}{2}$  tour, un plus grand nombre de disparités entre nos deux stratégies de recherches visuelles s'observent. Ci-dessous, une stratégie de vision centralisée (image du haut) et une stratégie de vision en étoile (image du bas) (Figure 22).

<sup>12</sup> élément de liaison qui est compris dans le tour d'appui dès la catégorie C3



**Figure 22 : Points de fixation chez deux sujets *brevets* // lors de l'évaluation du passage de la jambe avec ½ tour**

Nous remarquons la divergence de points de fixation du sujet à la stratégie en étoile, avec un point de fixation sur la jambe, sur le haut du dos, et sur la poitrine.

Des résultats similaires se concluent sur l'intégralité des 6 segmentations de l'exercice gymnique. Les particularités des sujets à vision en étoile sont leur plasticité visuelle et leur capacité d'adaptation rapide. En effet, ils opèrent de manière très centralisée lors de la phase d'action et de rotation d'éléments à haute vitesse rotative, comme le soleil ou le tour d'appui, pour ensuite basculer dans une phase de recherche en étoile dès la fin de celle-ci. Par exemple, lors de la sortie filée, leur regard suit les hanches à la sortie du tour d'appui (élément rapide précédent la sortie dans l'enchaînement gymnique). Cette focalisation sur les hanches dure jusqu'à la réception où leur stratégie en étoile reprend le dessus, scannant tous les segments de l'athlète observé.

A mentionner, malgré le fait que les sujets opèrent face à des vidéos, l'intégralité des juges pose leur regard en début et en fin d'exercice sur le visage des gymnastes, sans pour autant que cela ait été spécifié. Le caractère humain et l'attitude du gymnaste sont interprétables et peuvent jouer un rôle dans l'attribution de la note<sup>13</sup>.

## 7.2.5 Temps passé par segment

### 7.2.5.1 Numériquement

Après avoir caractérisé des stratégies grâce aux points de fixation et aux courbes tracées par chaque sujet, un algorithme a été construit. Ce dernier compte le temps passé du regard sur les différents segments de l'humanoïde apposé sur les vidéos. Le but étant de trouver si des différences peuvent être observées entre les sujets. Cet algorithme calcule le temps passé sur chaque segment de chaque vidéo d'un même sujet. En additionnant ces temps, des données moyennes sont obtenues pour chaque sujet sur l'ensemble des vidéos, tout comme sur les différentes parties de l'exercice gymnique. Comme attendu, les trois segments les plus regardés sont la hanche droite (*SpineBase\_HipRight*) 94.44 sec. ( $\pm 28.14$ ), la hanche gauche (*SpineBase\_HipLeft*) 76.14 sec. ( $\pm 30.05$ ), et les lombaires (*SpineBase\_Spine1*) 56.46 sec. ( $\pm 24.15$ ). Il s'agit ici d'une confirmation que, dans la majeure partie du temps passé lors de l'évaluation des gymnastes, le **regard des juges est posé sur les hanches**. Malgré tout, en sommant ces trois résultats, un nombre important de nos sujets divergent des 227.04 sec ( $\pm 56.01$ ) de la moyenne.

En effet, cinq sujets ont une somme des trois premiers segments nettement inférieure avec des valeurs de 158.34, 159.38, 167.44, 167.83 et 169.10 secondes. Ceci présuppose que ces cinq sujets ont passé du temps

---

<sup>13</sup> En effet, un gymnaste à la mine défaite peut, malheureusement, pousser un juge à revoir son évaluation à la baisse. Dans ce travail, l'attitude des gymnastes est positive sur la totalité des vidéos évitant de ce fait un éventuel biais dans ce sens.

sur d'autres segments. L'un d'eux a notamment regardé 4 fois plus le cou (*Head\_Neck*) avec 24.27 sec., alors que la moyenne de tous les juges pour ce segment est de 6.56 secondes. Un autre a regardé 2 fois plus la jambe gauche (*HipLeft\_KneeLeft*) avec 56.76 secondes tandis que la moyenne globale est de 28.03 secondes. Enfin, quatre d'entre eux ont une somme de tous les segments nettement inférieure, avec 318.84, 309.99, 310.92 et 312.31 secondes comparées à la moyenne globale de 360.55 ( $\pm 30.81$ ), présupposant une perte de données de l'*eye tracking*. Ce déficit peut être induit par une baisse des yeux ou un cillement important.

D'un autre côté, quatre sujets présentent une somme des trois premiers segments nettement supérieure avec des valeurs de 284.53, 308.68, 312.79 et 313.60 secondes. Ces sujets prennent l'option de délaissé certains segments, par exemple la cheville droite (*AnkleRight\_FootRight*) ou le tibia gauche (*KneeLeft\_AnkleLeft*) au profit de segments entourant les hanches. Ils présentent donc une vision moyenne plus centralisée.

### 7.2.5.2 Par coloration

L'algorithme créé appose une **coloration sur l'humanoïde**, mettant en évidence par des couleurs chaudes (rouge et orange) les segments les plus regardés et caractérisant par des couleurs froides (bleu) les zones les moins observées<sup>14</sup>. Les résultats sont proposés pour l'intégralité de la vidéo ainsi que pour les 6 différents segments caractérisant les parties gymniques. Ci-dessous, les résultats des 18 juges classés par ligne, la première ligne représentant tous les individus titulaires d'un *brevet I* (Figure 23) et la seconde les sujets ayant un *brevet II* (Figure 24).

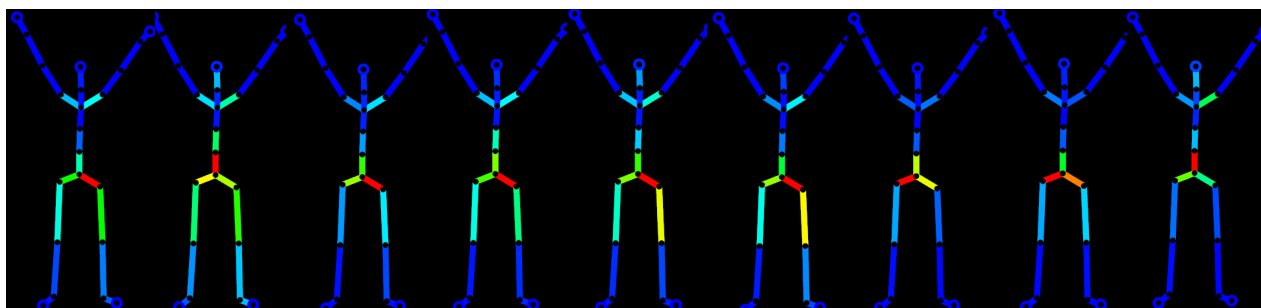


Figure 23 : Humanoides récapitulatifs de la vision des brevets I sur l'évaluation des vidéos dans leur totalité

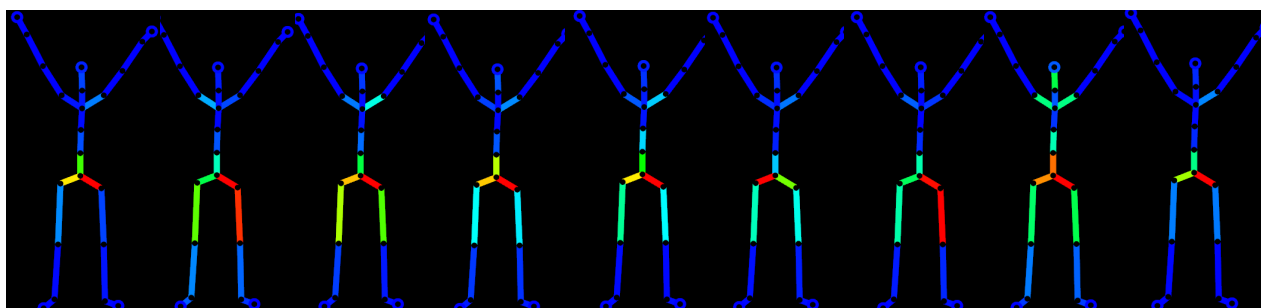


Figure 24 : Humanoides récapitulatifs de la vision des brevets II sur l'évaluation des vidéos dans leur totalité

Comme dans l'approche numérique, le **focus** est mis **sur les hanches** chez tous les sujets. La **vision** de chacun des juges est différente prouvant de ce fait que l'évaluation d'un gymnaste est en grande partie influencée par les **capacités propres à chaque individu**. Pour information, les sujets (1) et (2), analysés plus en détail dans les parties précédentes du travail, sont les deux derniers à droite de la figure 24. Les grandes disparités entre leurs deux stratégies de visionnage sont également visibles.

<sup>14</sup> Rouge = 100% de la valeur maximale, jaune = 75%, vert = 50%, turquoise = 25% et bleu = 0%

En s'intéressant non plus à la totalité de la vidéo, mais plus particulièrement à l'un ou l'autre des segments, des constatations intéressantes sont aussi détectables. Prenons l'exemple ci-dessous, les humanoïdes des 18 juges pour la montée du ventre. La première image correspond aux 9 sujets *brevet I* (Figure 25) et la seconde aux 9 juges titulaires d'un *brevet II* (Figure 26).

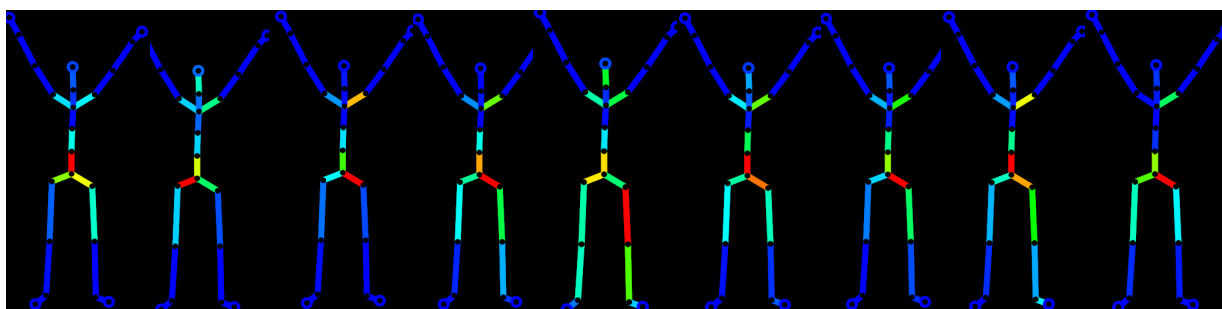


Figure 25 : Humanoïdes récapitulatifs de la vision des *brevets I* sur l'évaluation des montées du ventre

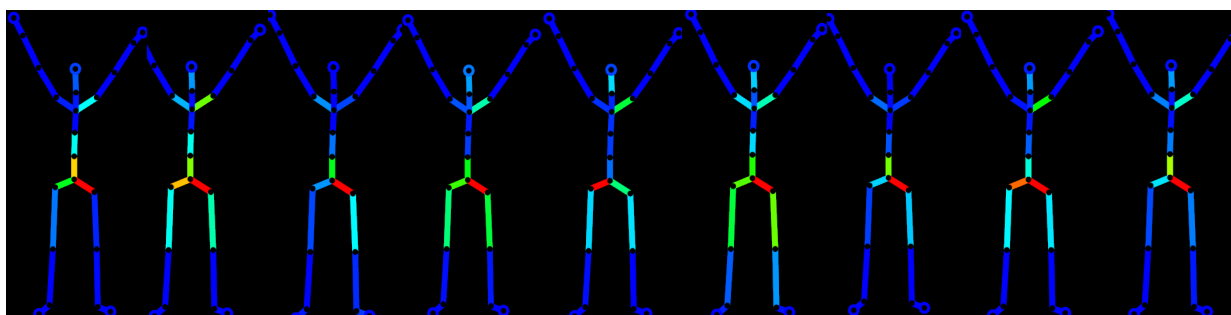


Figure 26 : Humanoïdes récapitulatifs de la vision des *brevets II* sur l'évaluation des montées du ventre

Lors de cet élément exécuté relativement lentement par les gymnastes, les deux précédentes stratégies de visionnage sont décelées. Certains humanoïdes ne contiennent qu'une **coloration centralisée** sur les hanches et un ou deux segments supplémentaires, alors que d'autres proposent une **coloration** beaucoup **plus diversifiée**. Il est donc probable qu'il existe une panoplie de stratégies et non pas uniquement la vision centralisée et la vision de recherche en étoile. En partant de la gauche, le 5<sup>ème</sup> humanoïde des *brevets I* ainsi que le 6<sup>ème</sup> des *brevets II* représenteraient alors le niveau le plus conséquent de la stratégie de vision en étoile.



En définitive, cette coloration et toute la recherche sur le temps passé par segment renseignent et confortent l'idée de l'existence de stratégies diverses. Toutefois, il existe **deux visions** complètement opposées, l'une centralisée et l'autre ouverte à un balayage des segments corporels. Ces deux visions ont la particularité d'être mélangées, **mixées** et appropriées par certains sujets étant capables d'utiliser l'une pour certains éléments et l'autre pour les éléments restants.

### 7.3 Données visuelles et données écrites

Après avoir décelé d'un côté, par les données écrites, une tendance à ce que les *brevets II* soient meilleurs par leur expérience que leurs collègues *brevets I*, il est juste de se demander si une **corrélation** existe entre ces **données « papier »** et les **données visuelles** montrant deux approches visuelles bien distinctes. Le système d'*eye tracking* aiguillant sur les capacités visuelles propres à chaque juge conforte l'idée que l'importance n'est pas de comprendre comment le juge regarde la performance à examiner, mais bel et bien comment il est en mesure de la retransmettre. Cela présuppose des qualités mentales du traitement de l'information qui peuvent être aidées par les expériences vécues, par exemple les nombreuses heures de jugement. De plus, comme malheureusement aucune tendance ni **aucune différence significative** véritable ne sont constatables, il est impossible d'affirmer si un lien entre nos deux types de données est perceptible. Toutes les informations collectées poussent à argumenter en faveur d'une absence de corrélation entre la vision du juge et la note qu'il pose.



## 8 Discussion

L'étude, du fait d'un design relativement complexe et ouvert dans plusieurs directions, comporte un grand nombre de résultats et de points à traiter.

### 8.1 Comparaison avec les recherches actuelles

À la lumière des articles présentés dans la partie « Contexte et situation initiale », comprendre où nous mène notre expérience et si elle s'insère dans la logique établie par les études passées est un effort essentiel à entreprendre.

Premièrement, au même titre que l'étude sur le hockey sur glace (Hancock & Ste-Marie, 2013), les deux types de sujets analysés diffèrent au niveau de la précision du jugement sans pour autant avoir trouvé de disparités corrélées au niveau visuel. Par contre, dans notre analyse, la différence au niveau de la précision est moindre. Cela peut s'expliquer par une simple tendance ou, peut-être, par le manque d'écart entre les deux types de brevets. En effet, au niveau du hockey sur glace, les arbitres choisis étaient soit des novices, soit des experts. Ce manque de disparité entre nos deux juges est à mettre en lien avec l'étude des juges en gymnastique rythmique (Korda, Siettos, Cagno, Evdokimidis, & Smyrnis, 2015) où seuls les juges internationaux montrent des résultats significativement différents des autres types de juges (nationaux et novices). La gymnastique aux agrès, n'étant active qu'à l'échelle nationale, l'écart entre nos deux types de brevets reste insuffisant pour prétendre établir des différences significatives.

Deuxièmement, en comparaison au traitement de graphiques (exemple : radiographie) chez des professionnels (Gegenfurtner et al., 2011), où les points de fixation des experts sont plus courts, mais plus centralisés sur les zones importantes, il n'est pas possible de corroborer avec cette étude. En effet, certains juges restent focalisés sur l'essentiel, c'est-à-dire les hanches, mais un nombre important des sujets ont aussi tendance à

rechercher activement les erreurs ailleurs, sans pour autant pouvoir affirmer que cette pratique soit une preuve de leur bas niveau d'expertise. Notre étude se positionne plus dans la continuité de l'étude sur les entraîneurs de danse (Petrakis, 1987) et l'incapacité à catégoriser précisément un type (expert ou novice) par une stratégie de recherche distincte. Les aptitudes visuelles fluctuent beaucoup entre nos sujets et montrent, comme dans cette étude, qu'elles sont propres à chaque individu, opérant indépendamment du niveau d'expertise du sujet testé.

Troisièmement, il faut s'arrêter sur l'étude en gymnastique artistique basée sur la comparaison des entraîneurs novices et experts dans leur capacité de détermination des fautes (Moreno et al., 2002). Cet article mentionne que les experts regardent plus longtemps la vidéo avec des points de fixation plus éparse et proposent une détection des erreurs plus précises. En clair, cette étude met en valeur la stratégie de vision en étoile. En effet, si l'expérience accrue au fil des années est suffisante, alors la multiplication des zones regardées permet la détection d'une palette d'erreurs plus grande.

Il est important de rendre attentif qu'il ne doit pas être question de modifier la façon de regarder pour améliorer le jugement. En effet, un juge utilisant une vision centralisée, ne doit pas commencer à modifier sa façon de regarder et rechercher d'autres erreurs en employant la vision en étoile, si le gymnaste évalué propose une position du bassin parfaite. Cette manœuvre serait néfaste à sa ligne de jugement. En effet, un bon gymnaste se verrait retrancher davantage de points pour des erreurs commises aux extrémités, comparé à un gymnaste plus modeste qui propose déjà suffisamment d'erreurs uniquement dans la zone de son bassin. Cette étude a pour but de comprendre les mécanismes de vision et non de proposer une remédiation aux sujets opérant selon une stratégie jugée inadéquate.

Quatrièmement, l'étude menée en gymnastique artistique (Barda et al., 1980), mentionnant que les experts passent davantage de temps sur le haut du corps par rapport aux novices, ne tant pas à être confirmée dans notre expérience. L'engin choisi peut en être la cause. En effet, la proportion de

rotation autour de la barre est élevée à la barre fixe et peut pousser les sujets à plus s'intéresser aux hanches qu'à la partie supérieure du corps. De plus, nous sommes en droit de nous demander si des prestations de meilleure qualité pousseraient les juges à s'intéresser à d'autres parties du corps que le bassin. Ce questionnement doit être néanmoins pondéré, car l'exécution individuelle de nos gymnastes était déjà bonne, en témoigne la note moyenne obtenue de 8.86 ( $\pm 0.35$ ).

Cinquièmement, notre étude ne répond pas de manière catégorique à l'importance de l'expérience dans le jugement. Certes la tendance qui se dégage est une meilleure notation chez les *brevets II* que chez les *brevets I*, mais un passé gymnique important ne permet pas nécessairement une meilleure évaluation des gymnastes (Pizzera, 2012b).

En définitive, dans ce travail, le succès de démontrer de manière significative que les juges avec une formation supérieure sont meilleurs que les juges moins expérimentés et moins instruits n'est pas atteint. Cependant, cette étude montre que la **stratégie visuelle** de jugement **n'affecte pas** la **qualité du jugement**, qualité qui réside principalement dans l'analyse conceptuelle.

## 8.2 Avis personnel

Étant moi-même entraîneur (instructeur Jeunesse et Sport) juge (brevet II) et formateur de juges, je me permets de m'exprimer sur les résultats de cette étude :

*« Je trouve que la mise en place d'un tel logiciel de tracking est une aubaine pour la compréhension des juges et de leurs travaux. Je suis étonnamment surpris par les stratégies propres à chaque individu et non à l'une ou l'autre des deux brevets. Toutefois, cet éclairage apporte beaucoup de crédit aux juges. L'analyse conceptuelle réalisée lors de chaque évaluation permet l'accumulation d'expérience et de ce fait améliore le jugement. Après chaque performance, il est du devoir du juge de s'autocritiquer et d'adapter son jugement en conséquence pour la prochaine échéance. En ce qui concerne la différence entre les brevets I et les brevets II, je ne la trouve malheureusement pas assez marquée et je pose sans conteste un regard critique sur la formation des juges. Est-elle trop bonne pour les brevets I, trop faible par la suite pour les brevets II, ou tout simplement encore insuffisante des deux côtés aux vues des problèmes rencontrés trop souvent dans les concours ? J'aspire un jour à ce qu'une différence entre les deux brevets puisse être décelée. Pour ce faire, une spécialisation à seulement un ou deux engins peut être une solution qui irait dans ce sens. »*

## 8.3 Les limites

Notre étude propose un grand nombre d'observations, mais comporte néanmoins **des limites**. La restriction à un seul engin et à une seule catégorie pose la question suivante : Les juges se comportent-ils selon les mêmes schémas aux autres appareils, ou existe-t-il des particularités selon les engins et les catégories évalués ? Une interrogation très proche peut être formulée vis-à-vis des éléments gymniques choisis. Sous quelle stratégie sont-ils visionnés ? Une contrainte à une reproduction d'une telle expérience reste le matériel coûteux et le laboratoire qui pose la question d'une accessibilité limitée. Comme déjà mentionné plus haut, le fait d'avoir deux niveaux de juges relativement proches empêche une bonne séparation de

leurs données et de ce fait des résultats significatifs. Il aurait été intéressant d'utiliser des gymnastes n'étant pas juges pour pouvoir comprendre et établir des corrélations et des divergences plus marquantes.

Des contraintes d'ordre techniques peuvent aussi être rappelées. En effet, la position du juge (angle 45° par rapport à la barre fixe) a été évoquée par plusieurs participantes qui ne la trouvaient pas représentative de tous les concours. Un angle différent aurait pu être choisi, mais la question de la justification d'un tel choix peut se poser. Un échantillon plus grand de gymnastes et de passations pourrait permettre d'augmenter la qualité de nos données et de regarder, par exemple, le maintien de la même ligne de jugement.

Enfin, la dernière limite réside au niveau de la permutation choisie utilisant le carré latin de 18 sujets pour 18 vidéos. Il propose pour chaque sujet le visionnage de 9 vidéos, puis de ces mêmes vidéos en miroir. Cette permutation propose donc deux fois la même vidéo à la suite (9<sup>ème</sup> et 10<sup>ème</sup> évaluations). Ce doublon, du fait de la pause entreprise entre ces deux jugements, n'a pas été remarqué, mais une réflexion plus poussée pourrait créer une permutation évitant cette prise de risque.

## 8.4 Ouvertures de recherches

Le logiciel créé pour cette étude est un formidable outil pour de **futures recherches** sur les aspects visuels. Ce système d'*eye tracking* ouvre, sans équivoque, de grandes portes dans ce domaine. En effet, des études menées sur des juges en gymnastique à **d'autres engins** pourront être effectuées sans modification du programme. De plus, des études incluant des juges et **des novices**, n'ayant pas de formations de jugement, seront en mesure de distinguer des nuances dans les mécanismes d'analyse. Ces voies de recherches ne sont pas cantonnées à la seule discipline de la gymnastique aux agrès, mais peuvent balayer une grande partie du portail sportif. Ainsi, les aspects visuels des juges et des arbitres devant être testés pourront être analysés et compris. Les problématiques décisionnelles du hors-jeu et du penalty, revenant chaque deux ans avec les championnats d'Europe et la coupe du monde de football, reste un thème où des recherches pourront être menées. L'ouverture peut aussi aller plus loin, et ne plus concerner que les juges et les arbitres, mais aussi les athlètes. Il est clair qu'un tel système d'*eye tracking* muni du logiciel utilisé, sous réserve de modifications mineures, peut tendre à sortir des seules compétences sportives et proposer des recherches sur les aspects visuels dans un grand nombre de domaines.

## 9 Conclusion

Cette étude, portant sur la vision de juge lors de l'évaluation d'un exercice C4 à la barre fixe, démontre qu'aucune stratégie commune de recherche des erreurs produites par le gymnaste n'existe chez tous les sujets. Néanmoins, une variabilité de combinaisons de deux stratégies distinctes apparaît. Les sujets évaluent visuellement la performance soit de manière centralisée, soit sous forme de recherche en étoile, ou encore use d'un compromis entre ces deux méthodes. Cette analyse dégage également une tendance à ce que la qualité de cette stratégie soit influencée par le niveau de pratique et de formation des juges. Les *brevets II* ont, en effet, proposé moins de variabilité dans la pose de leur note ainsi qu'une erreur absolue plus faible par rapport au classement idéal. Toutefois, aucune corrélation entre la note posée et l'endroit où le sujet regarde n'a pu être détectée. Par contre, tous les juges ont, avec des différences propres à chacun, apposé un regard sur l'exercice gymnique leur permettant d'évaluer le gymnaste dans des conditions optimales. Enfin, l'étude a exposé que les motifs invariants permettant de déterminer si l'analyse perceptuelle est de qualité restent les données écrites. Sans connaissance de la présence de films doublons, les juges ayant une formation supérieure ont réussi à diminuer la variation entre deux passations d'une même vidéo.

En définitive, ce projet a mis en évidence des mécanismes visuels du jugement augmentant la compréhension de celui-ci. Les portées de ces découvertes sont encore vagues. Cependant, un travail de communication et d'information s'avère essentiel afin de renseigner les juges sur les résultats déterminés dans ce travail. En augmentant la formation et la compréhension de leur évaluation gymnique, un climat plus serein peut se développer lors de compétitions équitables de gymnastique aux agrès.

## 10 Bibliographie

### 10.1 Liens internet

Fédération suisse de gymnastique, *Historique de la gymnastique aux agrès*, consulté le 18 mai 2016 sur : <http://www.stv-fsg.ch/fr/branches-sportives/gymnastique-aux-agres/a-propos-de-la-gymnastique-aux-agres/historique/>

Résultats championnat cantonal fribourgeois 2015, Ursy télécharger le 19 mai 2016 sur : <http://ffg-ftv.ch/cms/index.php/fr/documents/category/160-r2015>

Tabelle de classification GAI, Barre fixe – version mars 2016, télécharger le 19 mai 2016 sur : <http://www.stv-fsg.ch/fr/branches-sportives/gymnastique-aux-agres/telechargements/>

Computerworld, consulté le 1<sup>er</sup> juin 2016 sur : <http://www.computerworld.com/article/2495384/smartphones/inside-samsung-galaxy-s4-s-face-and-eye-tracking-technology.html>

SMI, consulté le 1<sup>er</sup> juin sur : <http://www.eyetracking-glasses.com/products/eye-tracking-glasses-2-wireless/technology/>

Copelab, laboratoire de recherche, Université de Fribourg, consulté le 1<sup>er</sup> juin 2016 sur : <http://www.unifr.ch/med/copelab/>

Modèle d'eye tracking, The EyeLink 1000 Plus Eye Tracker, consulté le 2 juin 2016 sur : <http://www.sr-research.com/eyelink1000plus.html>

Tableau indicatif sur les tolérances, tiré le 24.06.2016 du « powerpoint présenté aux CP 2016 » sur : <http://www.agres-region6.ch/directives.html>

### 10.2 Ouvrage

Revue historique vaudoise, n°116/2008: Histoire du sport dans le canton de Vaud, Volume 116, Éditions Antipodes, 3 nov. 2008 - 352 pages



### 10.3 Articles

- Barda, C., Fleurya, M., Carrièrea, L., & Halléa, M. (1980). Analysis of Gymnastics Judges' Visual Search. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 51(2).
- Dallas, G., Mavidis, A., & Chairpoulou, C. (2011). INFLUENCE OF ANGLE OF VIEW ON JUDGES' EVALUATIONS OF INVERTED CROSS IN MEN'S RINGS <sup>1</sup>. *Perceptual and Motor Skills*, 112(1), 109–121. <http://doi.org/10.2466/05.22.24.27.PMS.112.1.109-121>
- Duchowski, A. T. (2002). A breadth-first survey of eye-tracking applications. *Behavior Research Methods, Instruments, and Computers*, 34(4), 455–470. <http://doi.org/10.3758/BF03195475>
- Flessas, K., Mylonas, D., Panagiotaropoulou, G., Tsopani, D., Korda, A., Siettos, C., ... Smyrnis, N. (2015). Judging the judges' performance in rhythmic gymnastics. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(3), 640–648. <http://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000425>
- Gegenfurtner, A., Lehtinen, E., & Säljö, R. (2011). Expertise Differences in the Comprehension of Visualizations : a Meta-Analysis of Eye-Tracking Research in Professional Domains, 523–552. <http://doi.org/10.1007/s10648-011-9174-7>
- Granka, L. a., Joachims, T., & Gay, G. (2004). Eye-Tracking Analysis of User Behavior in WWW Search. *Proceedings of the 27th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, 478 – 479. <http://doi.org/10.1145/1008992.1009079>
- Grushko, A. I., Leonov, S. V, & Veraksa, A. N. (2016). Tracking in Sport Psychology . In ed . E . S . Linton , *Advances in Sports Research* . Nova science, (April).
- Hancock, D. J., & Ste-Marie, D. M. (2013). Gaze behaviors and decision making accuracy of higher- and lower-level ice hockey referees. *Psychology of Sport & Exercise*, 14(1), 66–71. <http://doi.org/10.1016/j.psychsport.2012.08.002>
- Heinen, T., Velentzas, K., & Vinken, P. M. (2012). Functional relationships between gaze behavior and movement kinematics when performing high bar dismounts – an exploratory study, 13(3), 218–224. <http://doi.org/10.2478/v10038-012-0025-2>
- Hornig, W., & Chen, C. (2008). A Real-Time Driver Fatigue Detection System Based on Eye Tracking and Dynamic Template Matching. *Tamkang Journal of Science and Engineering*, 11(1), 65–72. Retrieved from <http://www.airitilibrary.com/Publication/alDetailedMesh?docid=15606686-200803-11-1-65-72-a>
- Imwolda, C. H., & Hoffman, S. J. (1983). Visual Recognition of a Gymnastics Skill by Experienced and Inexperienced Instructors. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 54(2).
- Korda, A., Siettos, C., Cagno, A. D. I., Evdokimidis, I., & Smyrnis, N. (2015). Judging the Judges' Performance in Rhythmic Gymnastics, 640–648. <http://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000425>
- Kundel, H. L., Nodine, C. F., Conant, E. F., & Weinstein, S. P. (2007). Holistic component of

- image perception in mammogram interpretation: gaze-tracking study. *Radiology*, 242(2), 396–402. <http://doi.org/10.1148/radiol.2422051997>
- Li, D., Babcock, J., & Parkhurst, D. (2006). openEyes: a low-cost head-mounted eye-tracking solution. *Etra*, 1(March). <http://doi.org/10.1145/1117309.1117350>
- Memmert, D., Hüttermann, S., Hagemann, N., Loffing, F., & Strauss, B. (2013). Dueling in the penalty box: Evidence-based recommendations on how shooters and goalkeepers can win penalty shootouts in soccer. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 6(1), 209–229. <http://doi.org/10.1080/1750984X.2013.811533>
- Moreno, F. J., Reina, R., Luis, V., & Sabido, R. (2002). Visual search strategies in experienced and inexperienced gymnastic coaches. *Perceptual and Motor Skills*, 95, 901–902.
- Özyurt, J., DeSouza, P., West, P., Rutschmann, R., & Greenlee, M. W. (2001). Comparison of cortical activity and oculo- motor performance in the gap and step paradigms. *Paper Presented at the European Conference on Visual Perception (ECP), Kusadasi, Turkey*.
- Page, J. L. (2009). The development and effectiveness of perceptual training programme for coaches and judges in gymnastics. *University of Liverpool (University of Chester)*.
- Pelz, J., Canosa, R., Babcock, J., Kucharczyk, D., Silver, A., & Konno, D. (2000). Portable eyetracking: A study of natural eye movements., *Human Visi*.
- Petrakis, E. (1987). Analysis of Visual Search Patterns of Dance Teachers, 149–156.
- Pizzera, A. (2012a). Experience as Gymnasts, (December), 603–607.
- Pizzera, A. (2012b). Gymnastic Judges Benefit From Their Own Motor Experience as Gymnasts. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 83(4), 603–607. <http://doi.org/10.5641/027013612804582597>
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124, 372–422.
- Salvucci, D. D., & Goldberg, J. H. (2000). Identifying Fixations and Saccades in Eye-Tracking Protocols. *Proceedings of the Eye Tracking Research and Applications Symposium*, 71–78. <http://doi.org/10.1145/355017.355028>
- Vickers, J. N., & Adolphe, R. M. (2015). Gaze Behavior During a Ball Tacking and Aiming Skill, (JANUARY 1997).
- Wang, B.-S., Wang, X.-J., & Gong, L.-K. (2009). The Construction of a Williams Design and Randomization in Cross-Over Clinical Trials Using SAS. *Journal of Statistical Software*, 29(February), 1–10.
- Woolley, T. L., Crowther, R. G., Doma, K., & Connor, J. D. (2015). The use of spatial manipulation to examine goalkeepers' anticipation. *Journal of Sports Sciences*, 33(17), 1766–74. <http://doi.org/10.1080/02640414.2015.1014830>
- Zhu, Z., & Ji, Q. (2005). *Robust real-time eye detection and tracking under variable lighting conditions and various face orientations*. *Computer Vision and Image Understanding* (Vol. 98). <http://doi.org/10.1016/j.cviu.2004.07.012>

## 11 Annexes

### 11.1 Annexe 1 : Note d'information

#### Note d'information aux participants de l'étude

L'étude consiste à venir juger dans le laboratoire des sciences du sport et de la motricité de l'Université de Fribourg pour une durée de 30 minutes à 1 heure. La tâche est simple, il suffit de juger 18 passages de catégorie C4 à la barre fixe. La seule contrainte est la fixation de la tête afin de faciliter la détection de l'œil par un système d'*eye tracking*. Cet outil permet de suivre votre regard tout au long du jugement. Pour les personnes portant des lunettes, il faudra juger sans ou avec des lentilles de contact.

L'idée de cette étude est de déceler si une stratégie commune à l'ensemble des juges existe, ceci dans le but de pouvoir orienter de manière concrète la formation des nouveaux juges. Il est important de mentionner que l'objectif de ce projet n'est pas de juger le juge mais bel et bien de comprendre les différents mécanismes utilisés pour opérer le jugement.

### 11.2 Annexe 2 : Feuilles de jugement

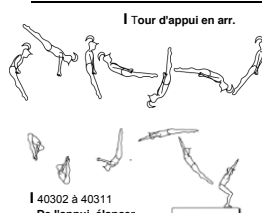
#### C4 Barre fixe

Juge

Concours:

Date:

- C - De l'appui lat. à cheval prises palm. : élan circulaire en av. (soleil)
- C - S'établir en arr. à l'appui lat. à cheval
- C - De la stat. fac. s'étab. en av. en tournant en arr. à l'appui (sans élan)
- De la stat. fac. s'étab. en av. en tournant en arr. à l'appui (avec élan)
- De la susp. s'étab. lentement en av. en tournant en arr. à l'appui (sans élan)
- C - Appui fac., j. écartées les pieds sur la barre
- Appui fac., j. serrées, pieds sur la barre
- C - De l'appui dors., s'établir les pieds sur la barre, groupé
- C - De l'app. fac. passer une j. entre les prises au siège lat. à cheval
- C - De la pos. carpée les pieds sur la barre: 7/8 élan circ. en av. avec changement de prise
- C - Bascule courue / Bascule d'élan / Bascule de fond
- C - Du siège lat. à cheval, 1/2 tour à l'appui facial
- De l'appui facial ou dorsal, 1/2 tour sur la barre
- C - Prise d'élan en susp.
- C - Elancé en susp. en arr.
- C - De la stat. (en tenant ou sans tenir la barre): Elan en susp. en av. et en arr. jambes serrées ou écartées à la stat.



I 40302 à 40311  
De l'appui, élaner sous la barre

- 21 / 3C** Dédution
- Hauteur de la barre min au-dessus des épaules
  - Barre fixe trop basse 0.20 p.
  - Elément imposé / élément à choix manquant
  - chaque 1.20 p.
  - Technique 0.50 p.
  - Tenue 0.30 p.
  - Pas de sortie 0.80 p.
  - Chute à, sur, de l'engin 0.40 p.
  - Balancé à vide autorisé (jugé en tech. et tenue)

No	Nom	Dédut		Juges		Note finale
		Total		1	2	

tiré de <http://www.agres-region6.ch/notes-reck-c4.pdf> le 3 juin 2016

## 12 Remerciements

Dans ce chapitre, je me permets de remercier les différents acteurs qui m'ont permis d'élaborer ce travail.

Tout d'abord, je souhaite remercier le maître assistant **Thibaut le Naour** ainsi que le professeur **Jean-Pierre Bresciani** qui ont cru en ce travail et qui m'ont aiguillé et guidé tout au long de la réalisation de ce projet. Leur accompagnement a été régulier et précis et j'ai eu un immense plaisir à collaborer avec eux.

Dans un second temps, j'adresse un grand merci aux gymnastes qui sont venues faire les séquences vidéos projetées pour les évaluations : **Lepori Emilie, Meuwly Noémie & Mosar Francesca**.

Je me permets aussi d'adresser un merci particulier à l'intégralité des participantes qui ont eu la gentillesse de donner de leur temps pour mon étude : **Cattin Sarah, Grandgirard Elodie, Hofstetter Caroline, Jacquier Agathe, Jan Malika, Klaus Louise, Mauron Fanny, Moura Mireille, Riedo Gisana, Riedo Sophie, Rybarikova Andrea, Salicio Christelle, Sancey Christiane, Théodoloz Marie, Tournier Belinda, Udry Caroline, Voumard Camille & Werner-Amado Sonia**.

Dans un troisième temps, mes remerciements vont à **Alain Rouvenaz**, dont la disponibilité pour le prêt d'un matériel de qualité et les conseils avisés m'ont permis d'avancer de manière efficace dans ce projet.

Un grand merci à **Roman Grädel** et **Guillaume Maire** pour leur disponibilité et leur engagement dans les phases de pré-test vidéo et d'analyse des données.

Je remercie finalement mon amie **Maurane Robadey** pour le conséquent travail de correction qu'elle a fait.

### 13 Déclaration personnelle

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

Lieu, date : Choëx, le 5 juin 2016

Signature : Gaëtan Mottiez

### 14 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 des tiers des droits d'auteur par l'Université est soumise à l'accord du (de la) sous-signé-e uniquement.

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

Date : le 5 juin 2016

Signature : Gaëtan Mottiez