



HAL
open science

Influence du Niveau de Détails d'un Mouvement de Tir Virtuel sur la Perception des Gardiens de But de Handball

Nicolas Vignais, Richard Kulpa, Cathy Craig, Sébastien Brault, Julien Bilavarn, Franck Multon, Benoit Bideau

► **To cite this version:**

Nicolas Vignais, Richard Kulpa, Cathy Craig, Sébastien Brault, Julien Bilavarn, et al.. Influence du Niveau de Détails d'un Mouvement de Tir Virtuel sur la Perception des Gardiens de But de Handball. Journée de l'Association Française de Réalité Virtuelle (AFRV), 2007, Marseille, France. hal-04783402

HAL Id: hal-04783402

<https://hal.science/hal-04783402v1>

Submitted on 14 Nov 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Influence du Niveau de Détails d'un Mouvement de Tir Virtuel sur la Perception des Gardiens de But de Handball

Nicolas Vignais

Richard Kulpa

Cathy Craig

Sébastien Brault

M2S Rennes 2

M2S Rennes 2

Queens University Belfast

M2S Rennes 2

Julien Bilavarn

Franck Multon

Benoit Bideau

IRISA Rennes 1

M2S Rennes 2

M2S Rennes

RESUME

La réalité virtuelle est de plus en plus utilisée pour appréhender le comportement des sportifs face à un mouvement synthétique. Cependant, la qualité graphique de l'humanoïde de synthèse présent dans l'environnement virtuel est directement responsable du comportement immersif de l'athlète. Or il a été prouvé qu'il n'est pas nécessaire d'avoir une qualité des images (vidéo ou synthétique) optimale pour reconnaître le mouvement. A partir d'une démarche de dégradation de l'image de synthèse, il est donc possible d'établir quel niveau de rendu graphique influence le protagoniste sportif placé en environnement virtuel. Ce travail a pour but d'étudier l'influence de différents niveaux de rendu d'un mouvement de tir virtuel sur le jugement d'un gardien de but de handball. Nous utilisons ici cinq niveaux d'animation du mouvement de tir : un niveau de référence totalement texturé (N0), un niveau sans texture (N1), un niveau de représentation en « fil de fer » (N2), un niveau de représentation par points caractéristiques (N3) et un niveau identique à N3 où la taille du ballon est réduite à celle d'un point caractéristique (N4). Les résultats montrent que l'erreur de prédiction pour le niveau N4 est significativement plus élevée que pour les autres niveaux. Ces résultats et leurs implications sont discutés.

CR Categories and Subject Descriptors: I.3.7 [COMPUTER GRAPHICS]: Three-Dimensional Graphics and Realism – Virtual Reality. I.3.7 [COMPUTER GRAPHICS]: Three-Dimensional Graphics and Realism – Animation. I.6.8 (SIMULATION AND MODELING (G.3)): Types of Simulation – Animation.

Additional Keywords: virtual reality, point-light display, anticipation, motor control, stereovision.

1 INTRODUCTION

Johansson a démontré en 1973 que l'homme avait la capacité d'identifier le mouvement avec très peu d'informations visuelles [14], autrement dit une séquence d'animation basée sur des points lumineux caractéristiques (« Moving Light Display » appelé MLD dans le reste de l'article) semble suffisante pour induire une impression de mouvement. La perception de cet aspect inhérent au mouvement (« biological motion ») a été étudiée à de nombreuses reprises, ce qui a permis de montrer que l'homme peut reconnaître plusieurs types d'informations telles que le genre [15], l'identité personnelle [12] et le mouvement [9].

Dans le domaine sportif, il apparaît que l'accélération effective du « biological motion » est une composante essentielle de l'anticipation dans les sports de duel [27]. Dès lors, la représentation d'une action sportive en MLD a été utilisée dans différentes activités comme le squash [2], le tennis [26] afin de démontrer des différences dans la perception de l'anticipation entre experts et débutants. Il apparaît alors que les experts exploitent plus facilement les informations visuelles issues d'une représentation du mouvement en MLD que les débutants. Or ce sont ces mêmes informations qui sont à la base de l'anticipation. De plus, certains auteurs ont évalué la performance relative de la représentation en MLD comparée à la vidéo [28] ou comparée à des actions réelles [21]. Il semble alors que la représentation en MLD induit moins de performance que les films [1] quel que soit le niveau d'expertise. A l'inverse, Shim et Carlton [21] ont observé une progressive diminution de la performance des experts selon les conditions de vision (action réelle, vidéo, MLD) alors que les débutants n'ont pas montré de différence significative suivant ces conditions.

Dans le même ordre d'idée, une étude menée par Hodgins et coll. [13] s'est intéressée à la perception de différents modèles géométriques d'un coureur de synthèse. Il est apparu que la vision des caractéristiques du mouvement était influencée par le modèle géométrique de représentation utilisé. Ces auteurs ont conclu que la sensibilité des sujets à la modification du mouvement de course était plus forte pour un modèle polygonal que pour un modèle en « fil de fer ». Cependant ces affirmations sont à relativiser car la sensibilité des observateurs était évaluée d'après un questionnaire et le personnage de synthèse utilisé était animé en deux dimensions (2D). Ce dernier point est d'ailleurs commun à toutes les études précédentes. Or, un modèle en 3D pourrait avoir une influence sur la perception des informations à l'origine de la performance.

La représentation 3D d'une image dégradée peut nous permettre d'analyser, au cours d'un duel sportif, la perception d'un athlète face à un joueur synthétique. Cependant l'animation du joueur de synthèse doit intégrer l'objet à l'origine du duel, c'est-à-dire un ballon par exemple. Il est alors possible d'envisager de modifier la structure de l'objet au même titre que l'on dégrade l'animation du joueur simulé. La taille de l'objet peut ainsi être réduite à celle d'un point lumineux de la représentation en MLD. Les études concernant l'influence de la modification de la taille d'un objet n'ont cependant pas permis d'établir un consensus sur le sujet. Ainsi certains auteurs ont montré que la variation de la taille d'un objet n'avait d'effet que

sur la phase cinématique de transport d'un membre vers sa cible lors d'une tâche de préhension [8] [20]. A l'inverse, d'autres études ont prouvé que cette modification influençait à la fois la phase de transport et la phase de préhension lors de la même tâche [18]. Dans cette optique, Berthier et coll. [5] ont mis en évidence le fait que plus la taille d'un objet diminuait lors d'une tâche d'atteinte, plus la durée du mouvement augmentait, plus la vitesse d'action diminuait et plus les profils de vitesse du membre d'atteinte étaient asymétriques. L'influence de la modification de la taille de l'objet peut être expliquée par la manière dont l'objet se trouve alors représenté sur la rétine [10]. Par exemple, lorsque l'objet se rapproche de l'observateur, la taille de l'image rétinienne de l'objet augmente, et ce de manière quantifiable. Ce taux d'expansion a été reconnu comme étant un invariant perceptif très puissant permettant d'établir le temps restant avant la collision entre l'objet et l'observateur [17]. Ainsi, la façon dont le taux d'expansion d'un objet apparaît dans une représentation 3D dégradé pourrait influencer la perception d'un observateur.

La réalité virtuelle permet de représenter en 3D et de manière synthétique les éléments visuels. Elle a été utilisée pour évaluer la performance des sportifs dans de nombreuses applications comme au football [11] ou au handball [7]. En effet cet outil comporte un certain nombre d'avantages par rapport à la vidéo comme tout d'abord le contrôle des différents paramètres de la visualisation, ce qui assure la reproductibilité des situations [25]. Ensuite les effets de ces modifications sur le comportement final peuvent être visualisés en temps réel. Enfin, il est possible d'ajuster précisément la perspective (où et comment le sujet voit le monde virtuel) afin que les informations visuelles puissent correspondre à des informations rencontrées dans une situation réelle. En environnement virtuel, la sensation subjective d'être dans l'action en dehors de tout cadre physique se nomme la présence [22]. Elle dépend à la fois de l'environnement virtuel concerné et de l'implication personnelle du sujet. De ce fait, plus le monde virtuel et l'animation qui s'y joue paraissent réalistes, plus la présence du sujet est importante. C'est pourquoi les études précédentes concernant l'analyse des sports de balle à travers la réalité virtuelle ont essayé d'obtenir un haut niveau de représentation des humanoïdes et du ballon de synthèse [6] [7]. Cependant rien ne prouve qu'un niveau inférieur de représentation ne permette pas l'identification du mouvement. Ce qui pourrait engendrer un niveau de présence suffisant dans le monde virtuel et ainsi être moins coûteux en terme de données graphiques.

Nous nous proposons donc, à travers ce travail, d'analyser la précision du jugement d'un gardien de but de handball pour différents niveaux de réalisme de l'animation (tireur et ballon virtuels). Le but de cette étude est de déterminer l'influence du niveau graphique d'un mouvement 3D virtuel sur la précision du jugement spatial indiquant la position future du ballon dans le but.

2 MÉTHODOLOGIE

Le protocole d'évaluation se décompose en deux étapes : une première phase en réel afin d'obtenir les mouvements nécessaires à l'animation du tireur et du ballon ; puis une seconde en environnement virtuel où l'on va observer le jugement du gardien face à l'animation de synthèse préalablement dégradée en plusieurs niveaux de détails.

2.1 Processus d'Animation

L'animation du personnage virtuel et du ballon est directement issue d'une capture de mouvement réel. Elle a été

effectuée sur des mouvements de tir d'un joueur de handball situé à 12m du but. Nous avons séparé le but en neuf zones qu'il devait viser (figure 1). Aucun gardien n'était présent dans le but au moment des tirs.

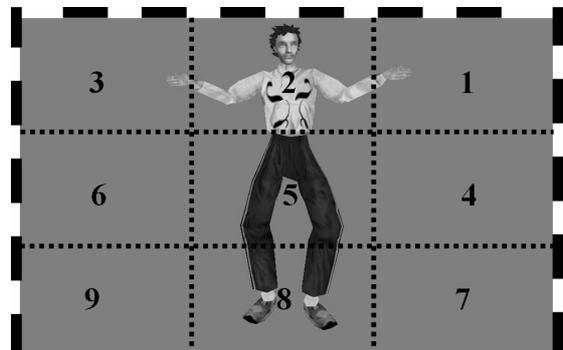


Figure 1. Zones de tir

Les mouvements du tireur et du ballon ont pu être enregistrés grâce au système de capture de mouvement Vicon MX (Oxford Metrics). Celui-ci était composé de marqueurs réfléchissants placés sur des repères anatomiques ou caractéristiques, enregistrés par des caméras infrarouges. Cela nous a permis de reconstruire en 3D le squelette du tireur ainsi que la trajectoire du ballon.

Ces données de mouvements ont ensuite été transmises à MKM (bibliothèque d'animation des humanoïdes de synthèse en temps-réel) [16] afin de modéliser le mouvement de tir capturé sur un humanoïde de synthèse. Pour finir, l'animation complète du personnage et du ballon virtuel a été intégrée à une salle de sport synthétique (VRML).

2.2 Matériel et Méthode

2.2.1 Sujets

12 gardiens de but de handball (de niveau professionnel et national) ont participé à cette étude. Ils ont tous donné leur accord avant les expérimentations. L'âge moyen de la population était de 23.2 ans (± 4.2), la taille moyenne de 1.85m (± 0.06 m) et la taille moyenne de la main de 20cm (± 0.8). Tous les sujets voyaient normalement.

2.2.2 Matériel

Tous les sujets ont été placés dans une salle de projection semi-immersive pour la réalité virtuelle. Dans cette salle, trois vidéoprojecteurs synchronisés (Barco 1208S) ont été utilisés pour projeter la salle de sport virtuelle sur un écran semi-cylindrique d'une longueur de 8m50 et d'une hauteur de 2m40. Les sources vidéo étaient issues de 3 PCs Dell Precision 650 bi-processeurs, équipés chacun d'une carte graphique Nvidia FX3000G. Ces trois sources ont pu être synchronisées pour composer un mur de trois images en stéréovision. Cette stéréovision était provoquée par des lunettes synchronisées au système (60 Hz). Le matériel décrit précédemment nous a permis la projection de l'animation sur un champ de vision de 135°.

Le système de capture de mouvement Vicon MX composées de 12 caméras et de marqueurs réfléchissants nous a permis d'enregistrer les mouvements des gardiens de but (50Hz). Comme des marqueurs réfléchissants étaient positionnés sur la tête du gardien et que ce système était synchronisé à la plateforme de réalité virtuelle, nous avons également pu adapter la

perspective du gardien en temps réel. Afin d'optimiser la sensation de présence lors de l'expérimentation, un vrai but de handball a été placé à l'endroit du but virtuel. La calibration du but nous a aussi permis de faire correspondre la position finale du ballon dans le but virtuel avec sa position dans le réel.

Sept marqueurs réfléchissants sont également placés sur les mains du gardien afin d'enregistrer sa prédiction sur la future position du ballon dans le but : trois sur la main droite du gardien à l'aide d'un trièdre rigide et quatre sur sa main gauche (marqueur de dissymétrie en plus). Le centre de chaque trièdre nous a permis de calculer le centre de la main représenté par une sphère (figure 3).

2.2.3 Méthode

Les gardiens faisaient face à cinq niveaux graphiques d'animation (figure 2) : un niveau de référence texturé défini par Bideau et coll. (2004) (N0), un niveau sans texture sur le personnage de synthèse (N1), un niveau de représentation en « fil de fer » (N2), un niveau représenté en MLD (N3) et un niveau identique à N3 où le ballon était de la taille d'un point du MLD (N4). La taille du ballon dans toutes ces conditions est de 15 cm de diamètre sauf pour la dernière où le diamètre est de 5 cm.

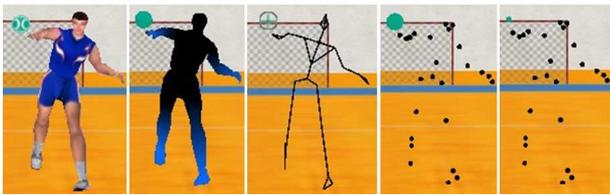


Figure 2. Niveaux de détails de N0 à N4

Chaque sujet a tout d'abord suivi une période de familiarisation avec la tâche et l'environnement virtuel. Au cours de celle-ci, chaque gardien a fait face à quatre tirs par niveau de détails. Aucun de ces tirs n'a été intégré au traitement des données.

Au cours de l'expérimentation, trois différentes trajectoires de tir étaient présentées pour chacun des niveaux de détails. Elles correspondaient aux zones 1, 6 et 7 dans le but. La vitesse du ballon, définie d'après les captures de mouvement des tirs réels, était presque la même pour chaque action virtuelle ($20 \pm 0.2 \text{ m.s}^{-2}$). Ces trois trajectoires du ballon étaient répétées 5 fois par niveau de détails, ce qui fait un total de 75 tirs (3 cibles \times 5 répétitions \times 5 niveaux). Nous avons rajouté 10 autres tirs à différents endroits dans le but de façon aléatoire afin de renforcer l'incertitude des gardiens de but à chaque tir. Les 85 tirs étaient des tirs en appuis à 12 m avec une disparition du ballon 6 m avant la ligne de but. Au début de chaque tir, le gardien de but portant les lunettes de stéréovision se tenait au centre du vrai but de handball positionné à l'endroit exact du but virtuel. Après chaque action de tir virtuel, la tâche du gardien était de prédire la position finale du ballon dans le but avec sa main. C'est à ce moment que l'on enregistrait la position de la main grâce au système Vicon.

3 RÉSULTATS

La première partie du traitement concerne l'efficacité du jugement des gardiens de but de handball en fonction des différents niveaux de détails. Afin d'évaluer le taux de réussite du jugement, nous avons représenté la main et le ballon par des sphères (figure 3). Une prédiction était alors considérée comme

réussie lorsque la sphère schématisant la main était en contact avec la sphère représentant le ballon.

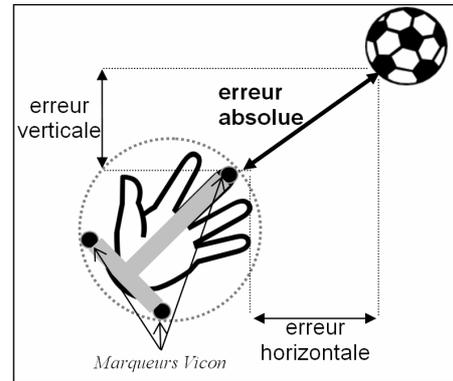


Figure 3. Représentation des erreurs verticale, horizontale et absolue

Les moyennes des pourcentages de réussite montrent qu'il n'y a aucune différence significative de jugement entre les niveaux de détails de l'animation. La seule tendance que l'on peut observer est un plus faible pourcentage de réussite pour le niveau N4 par rapport aux autres niveaux de détails (N0 = $22,7\% \pm 4,4$; N1 = $23,3\% \pm 5,5$; N2 = $20,9\% \pm 5,7$; N3 = $20,4\% \pm 5,2$; N4 = $11,6\% \pm 3,1$) (figure 4). Cependant cette tendance n'est pas significative après un test statistique d'analyse de variance à un facteur (ANOVA à une voie) ($F(4,55)=0.93$; $p=0.46$).

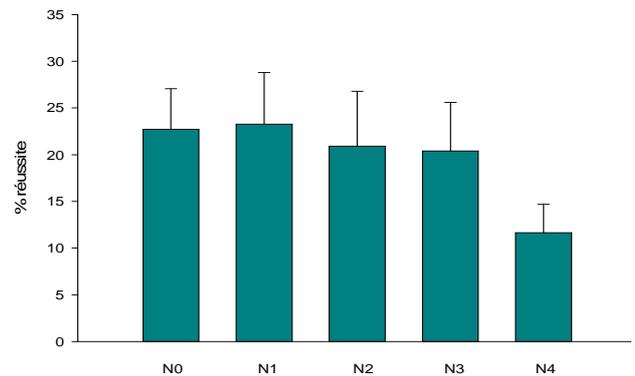


Figure 4. Pourcentage de réussite par niveau de détails

Pour chaque essai, nous avons comparé la position finale de la main du gardien de but avec la position réelle de la balle dans le but (enregistrée durant les captures de mouvements de tirs réelles). La différence entre ces deux positions correspondait à l'erreur de prédiction absolue (figure 3). Une analyse de variance à un facteur nous a permis de mettre en évidence une différence significative de l'erreur absolue entre les différents niveaux de détails ($F(4,863)=18.77$; $p<0.001$).

Après un test post-hoc de Tuckey, il est apparu que cette erreur absolue était significativement plus élevée pour le niveau N4 que pour les autres degrés d'animation (L0 = $0.147\text{m} \pm 0.072$; L1 = $0.115\text{m} \pm 0.070$; L2 = $0.135\text{m} \pm 0.073$; L3 = 0.130 ± 0.058 ; L4 = 0.221 ± 0.108) (figure 5).

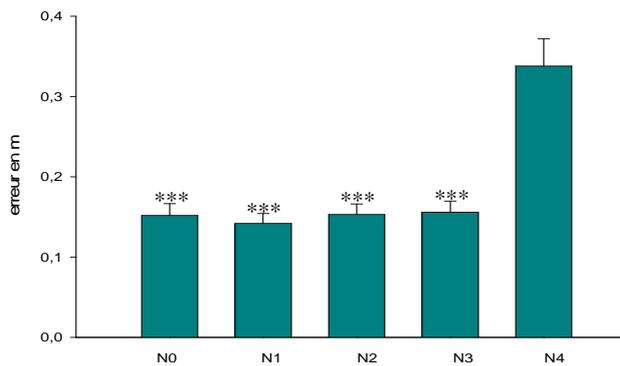


Figure 5. Erreur absolue de prédiction (en m) par niveau de détails (***) $p < 0.001$

DISCUSSION

Le but de cette étude était d'étudier l'influence de différents niveaux de détails d'une animation de tir virtuelle sur le jugement des gardiens de but de handball concernant la position finale du ballon dans le but. L'utilisation de la réalité virtuelle nous a permis de modifier l'animation pour isoler cinq niveaux de détails. Il a alors été possible, à partir de ces niveaux, d'identifier quelles informations visuelles ont servi aux jugements des gardiens de but.

Les résultats ont montré que les quatre premiers niveaux de détails de l'animation virtuelle (N0, N1, N2 et N3) n'affectaient pas significativement les jugements des gardiens de but. Comme le premier niveau N0 correspond au niveau de détail le plus évolué pour l'animation du tireur virtuel [7], nous pouvons affirmer que les niveaux de détails suivants N1, N2 et N3 fournissent des informations visuelles suffisantes pour évaluer la position finale de la balle dans le but. Cela laisse supposer que la représentation de l'action de tir et de la trajectoire du ballon pour ces niveaux permet une précision du jugement similaire à celle du niveau N0.

Dans le même domaine de recherche, les études précédentes qui se sont intéressées aux effets du niveau de détail dans la reconnaissance du mouvement [23] ont montré que de faibles représentations peuvent être suffisamment pertinentes pour une reconnaissance précise du mouvement. Ainsi, Ahlström et coll. [3] ont révélé qu'il était plus facile d'identifier un marcheur représenté en MLD qu'en vidéo brouillée. De même, certaines études ont mis en évidence le fait que la représentation en MLD pouvait être utilisée comme un indice fiable dans l'identification de la personnalité [24]. Cela signifie que les mouvements des points lumineux positionnés sur le corps reproduisent de manière précise les principales informations visuelles nécessaires à la reconnaissance de l'identité individuelle. Ces mêmes auteurs ont aussi prouvé que des informations suffisantes à l'identification de la posture étaient disponibles à travers d'autres représentations dégradées (lumière du jour simulée et obscurité).

La critique majeure que l'on peut faire à ces nombreuses études réside dans le fait qu'elles imposent toutes une reconnaissance du mouvement à travers une représentation en 2D du mouvement. Or l'utilisation d'une visualisation en 2D à la place d'un affichage en 3D peut introduire un certain biais méthodologique, notamment dans les études s'intéressant à la perception. En effet, il a été prouvé que l'information concernant le relief (apportée par une représentation 3D) améliore la

perception du mouvement [4] [19]. Le principal avantage de cette étude est donc de se servir de la technologie liée à la réalité virtuelle non seulement pour créer et modifier des animations 3D mais aussi pour analyser la contribution relative des différents niveaux de détails sur le jugement des gardiens de but.

Dans ce travail, nous avons modélisé à la fois le mouvement du tireur et la trajectoire du ballon pour obtenir nos différents niveaux de détails. Il se trouve que seul le niveau N4 comporte une influence significative par rapport aux autres niveaux. C'est effectivement pour ce niveau que l'erreur de prédiction est significativement la plus élevée par rapport aux autres niveaux. Or la seule différence qui existe entre le niveau N3 et N4 concerne la taille du ballon (N3 = 15cm ; N4 = 5cm) et donc la façon dont cette taille évolue au cours du temps. Cela signifie que la diminution de la taille du ballon affecte la précision avec laquelle le gardien de but estime la position finale du ballon dans le but. Ce résultat peut être expliqué par le phénomène d'expansion : le mouvement d'un objet en profondeur (en avant ou en arrière) dans le champ visuel entraîne la diminution ou l'augmentation de la taille de la projection de cet objet sur la rétine. Ainsi, l'image va s'agrandir sur la rétine quand l'objet se rapprochera de l'œil et inversement quand il s'en éloignera [10]. La taille du ballon pour le niveau N4 (5cm) suggère que le taux d'expansion en absolu n'est pas suffisamment élevé pour permettre aux gardiens de but d'utiliser correctement les informations visuelles sur la trajectoire du ballon. Les gardiens doivent donc compenser le manque d'informations issues du ballon par l'utilisation des indices visuels pris sur la représentation en MLD du mouvement du tireur, ce qui pourrait expliquer l'augmentation de l'erreur de prédiction pour ce niveau.

Les effets de la taille du ballon sur la perception et la coordination du gardien de but de handball sont en accord avec certaines données de la littérature. Ainsi Berthier et coll. [5] ont montré que les profils de vitesse de la main lors d'une tâche de préhension devenaient asymétriques à mesure que la taille de l'objet diminuait. Un autre facteur d'explication peut venir de l'expérience des gardiens. En effet les gardiens qui ont participé à cette étude étaient tous des experts et avaient donc tous l'habitude d'arrêter des ballons de 15cm de diamètre. Le fait que le niveau N4 mettait en jeu un ballon de taille inférieure sans indice supplémentaire, à cause de sa représentation en MLD, a pu affecter la précision du jugement des gardiens de but.

Pour conclure, les résultats présentés dans ce travail nous ont permis de clarifier et de quantifier l'influence que différents niveaux de détails d'une animation de tir ont sur le jugement des gardiens de but de handball quant à la position finale du ballon dans le but. Alors que la représentation du niveau de détails du personnage de synthèse en MLD n'affecte pas la précision de la prédiction des gardiens, le constat inverse peut être fait pour la modification de la taille du ballon.

REFERENCE

- [1] B. Abernethy. Expert-novice differences in perception: how expert does the expert have to be? *Canadian Journal of Sport Sciences*, 14:27-30, 1989.
- [2] B. Abernethy, D.P. Gill, S.L. Parks and S.T. Packer. Expertise and the perception of kinematic and situational probability information. *Perception*, 30:233-252, 2001.
- [3] V. Ahlström, R. Blake and U. Ahlstrom. Perception of biological motion. *Perception*, 26:1539-48, 1997.
- [4] J.A. Beintema, A. Oleksiak and R.J.A. Van Wezel. The influence of biological motion perception on structure-from-motion

- interpretations at different speeds. *Journal of Vision*, 6:712-726, 2006.
- [5] N.E. Berthier, R.K. Clifton, V. Gullapalli, D.D. McCall and D.J. Robin. Visual information and object size in the control of reaching. *Journal of Motor Behavior*, 28:187-197, 1996.
- [6] B. Bideau, R. Kulpa, S. Ménardais, L. Fradet, F. Multon, P. Delamarche and B. Arnaldi. Real handball goalkeeper vs virtual handball thrower. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 12 (4):412-421, 2003.
- [7] B. Bideau, F. Multon, R. Kulpa, L. Fradet, B. Arnaldi and P. Delamarche. Using virtual reality to analyse links between handball thrower kinematics and goalkeeper's reactions. *Neuroscience Letters*, 372:119-122, 2004.
- [8] R.J. Bootsma, R.G. Marteniuk, C.L. MacKenzie and F.T.J.M. Zaal. The speed-accuracy trade-off in manual prehension: effects of movement amplitude object size and object width on kinematic characteristics. *Experimental Brain Research*, 98:535-541, 1996.
- [9] S. Brownlow, A. Dixon, C. Egbert and R. Radcliffe. Perception of movement and dancer characteristics from point-light displays of dance. *Psychological Record*, 47:411-421, 1997.
- [10] C.W.G. Clifford, S.C. Beardsley and L.M. Vaina. The perception and discrimination of speed in complex motion. *Vision Research*, 39:2213-27, 1999.
- [11] C.M. Craig, E. Berton, G. Rao, L. Fernandez and R.J. Bootsma. Judging where a ball will go: The case of curved free kicks in football. *Naturwissenschaften*, 93:97-101, 2006.
- [12] J.E. Cutting and L.T. Kozlowski. Recognizing friends by their walk: Gait perception without familiarity cues. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 9:353-356, 1997.
- [13] J. Hodgins, J. O'Brien and J. Tumblin. Perception of human motion with geometric models. *IEEE Transaction on Visualisation and Computer Graphics*, 4:307-316, 1998.
- [14] G. Johansson. Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception & Psychophysics*, 14:201-211, 1973.
- [15] L.T. Kozlowski and J.E. Cutting. Recognizing the sex of a walker from dynamic point-light display. *Perception & Psychophysics*, 21:575-580, 1997.
- [16] R. Kulpa, F. Multon and B. Arnaldi. Morphology-independent representation of motions for interactive human-like animation. *Computer Graphics Forum*, 24(3), 2005.
- [17] D.N. Lee. A theory of visual control braking based on information about time-to-collision. *Perception*, 5:437-459, 1976.
- [18] R.G. Marteniuk, J.L. Leavitt, C.L. Mackenzie and S. Athenes. Functional relationships between grasp and transport components in a prehension task. *Human Movement Science*, 9:149-176, 1990.
- [19] L.I.N. Mazin, M. Lenoir, G. Montagne and G.J.P. Savelsbergh. The contribution of stereo vision to handed catching. *Experimental Brain Research*, 157:383-390, 2004.
- [20] Y. Paulignan, V.G. Frak, I. Toni and M. Jeannerod. Influence of object position and size on human prehension movements. *Experimental Brain Research*, 114:226-234, 1997.
- [21] J. Shim, L.G. Carlton and Y.H. Kwon. Perception of kinematic characteristics of tennis strokes for anticipating stroke type and direction. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 77:326-339, 2006.
- [22] M. Slater, V. Linakis, M. Usoh and R. Kooper. Immersion, presence, and performance in virtual environments: an experiment in tri-dimensional chess. In M. Green, editor, *Proceedings of VRST'96* (Hong-Kong, 1996), Virtual Reality Software and Technology Proceedings, Annual Conference Series, pages 163-172. ACM VRST, ACM Press, 1996.
- [23] W.A. Sparrow, J. Shemmell and A.J. Shinkfield. Visual perception of action categories and the "bowl-throw" decision in cricket. *Journal of Sciences Medicine in Sport*, 4:233-44, 2001.
- [24] S.V. Stevenage, M.S. Nixon and K. Vince. Visual analysis of gait as a cue to identity. *Applied Cognitive Psychology*, 13:513-526, 1999.
- [25] M.J. Tarr and W.H. Warren. Virtual reality in behavioural neuroscience and beyond. *Nature Neuroscience*, 5:1089-92, 2002.
- [26] P. Ward, A. M. Williams and S. J. Bennett. Visual search and biological motion perception in tennis. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 73:107-112, 2002.
- [27] A.M. Williams and D. Elliot. Anxiety, expertise, and visual search strategy in karate. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 21:362-375, 1999.
- [28] A. M. Williams, N. J. Hodges, J. S. North, and G. Barton. Perceiving patterns of play in dynamic sport tasks: investigating the essential information underlying skilled performance. *Perception*, 35, 317-32, 2006.