



**HAL**  
open science

## Évaluation de la perception du gardien de handball : mise en place d'un cadre de travail en environnement virtuel

Nicolas Vignais, Benoit Bideau, Cathy Craig, Franck Multon, Richard Kulpa,  
Reinoud J. Bootsma, Julien Bilavarn

### ► To cite this version:

Nicolas Vignais, Benoit Bideau, Cathy Craig, Franck Multon, Richard Kulpa, et al.. Évaluation de la perception du gardien de handball : mise en place d'un cadre de travail en environnement virtuel. Journée de l'Association Française de Réalité Virtuelle (AFRV), 2006, Paris, France. hal-04783373

**HAL Id: hal-04783373**

<https://hal.science/hal-04783373v1>

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

# Evaluation de la perception du gardien de handball : mise en place d'un cadre de travail en environnement virtuel

Nicolas Vignais

LPBEM Rennes2

Richard Kulpa

LPBEM Rennes2

Benoit Bideau

LPBEM Rennes2

Reinoud Bootsma

IFR Marey Marseille

Cathy Craig

Queens University Belfast

Julien Bilavarn

IRISA

Franck Multon

IRISA / Rennes2

## RESUME

L'objectif de cette étude est de présenter un cadre de travail méthodologique en environnement virtuel pour étudier la perception des gardiens de handball dans une tâche de duel. Nous présentons ainsi le processus d'évaluation qui se compose de quatre étapes : la première consiste en l'animation d'un tireur virtuel à partir de données réelles, les trois suivantes concernent l'immersion du gardien dans des situations d'évaluation. Afin d'analyser la perception du gardien, nous analysons donc trois situations différentes : le gardien face à une balle virtuelle seule, face à un tireur virtuel seul et enfin face à ces deux éléments réunis (situation de référence). Pour chacune de ces situations, les gardiens estiment la position finale de la balle dans le but. Pour évaluer cette position les coordonnées du centre de la main du gardien sont obtenues par capture de mouvement. La position de la main est ensuite comparée à la position réelle de la balle dans le but. Ainsi il est possible d'évaluer finement les erreurs de prédiction du gardien dans les trois situations. Une étude préliminaire sur 3 gardiens semble montrer une amélioration de la perception lorsque le sujet est soumis au mouvement complet (mouvement du tireur et balle) en comparaison à la trajectoire de balle seule.

**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.

**Keywords:** Sports application, presence, virtual experiment.

## 1 INTRODUCTION

La réalité virtuelle est de plus en plus utilisée dans de nombreux domaines. Les progrès de la technologie, l'apparition de nouvelles interfaces et l'augmentation des puissances de calcul des ordinateurs permettent en effet aujourd'hui de la mettre en œuvre dans des applications complexes. Parmi tous les domaines possibles d'application, celui du sport est encore peu exploré. L'une des difficultés rencontrées pour appliquer la réalité virtuelle dans le domaine sportif est de modéliser et de restituer la complexité du mouvement humain. De plus, de nombreux sports impliquent des interactions entre plusieurs acteurs. Celles-ci nécessitent des interfaces intervenant de manière réaliste. La création de ces interfaces passe par l'analyse de la complexité des relations entre les différents protagonistes sportifs. On sait par exemple que ces interactions sont particulièrement importantes dans les sports de duel où les différents acteurs vont chercher à anticiper le mouvement des adversaires. Plus concrètement, lors

d'un duel entre un gardien et un tireur au handball, le gardien va chercher à anticiper la parade d'après les informations perçues chez le tireur. Or cette capacité des athlètes à anticiper l'action des adversaires et abaisser leur temps de réaction détermine le niveau d'expertise dans de nombreux sports [17]. De nombreuses entrées sensorielles et la vision en particulier permettent cette anticipation. Ainsi la capacité de répondre de manière appropriée à une information visuelle est un facteur discriminant de performance [1]. Plusieurs études se sont donc intéressées à l'analyse des informations visuelles perçues lors d'une tâche d'interception de balle. Eggert et coll. [7] se sont intéressés aux différentes stratégies d'interception de balle permettant à des sujets de déterminer à l'avance la position finale d'un objet en mouvement. Dans le même ordre d'idée, Bastin et coll. [2] ont montré l'influence d'une trajectoire de balle curviligne sur le déplacement des sujets. Dans le sport, différents auteurs ont étudié les stratégies visuelles d'anticipation de trajectoires de balle comme pour le baseball [15], le hockey [19], le tennis [9], le football [13] et le karaté [18]. Dans la majorité de ces études les auteurs imposent une situation standardisée aux sportifs à l'aide de vidéo projections. Ainsi il est possible d'arrêter la vidéo à un instant donné et demander au sujet de définir le reste de la séquence. Ces techniques ont généralement été couplées à des systèmes oculométriques de manière à identifier les stratégies visuelles employées [8]. Les systèmes oculométriques permettent de faire un inventaire des éléments visuels pris en considération par les sujets et suggérer lequel d'entre eux apparaît comme le paramètre majeur. Cependant avec ce type de méthodes il reste difficile de tester séparément les éléments visuels considérés comme primordiaux.

Récemment la réalité virtuelle a été utilisée pour évaluer les trajectoires de balle sur la perception humaine dans des activités sportives car elle permet de bénéficier d'un environnement standardisé et totalement sous contrôle [4]. Avec ces techniques il est possible de modifier seulement un élément de la simulation et de mesurer les changements adoptés par les sujets. Au football l'influence de la trajectoire de balle sur le jugement du gardien a été évaluée à l'aide de la réalité virtuelle [6]. Dans cette étude les auteurs concluent que le système visuel n'est pas sensible à l'effet Magnus, ce qui explique les erreurs de jugement sur la position finale de la balle lors de coups francs. Dans cette expérimentation seule la balle est animée, il n'y a pas de simulation de mouvement du tireur.

L'utilisation de la réalité virtuelle pour étudier les comportements humains est un outil intéressant car il permet de maîtriser tous les paramètres d'une situation de jeu. Néanmoins l'utilisation des environnements virtuels à la place de réaliser des expériences dans le réel pose de nouvelles questions. Tout d'abord il est important d'évaluer la présence. La présence est définie comme la

sensation subjective « de se représenter dans le monde virtuel » [16] et a souvent été évaluée au travers d'analyses comportementales [14] ou de réalisation de la tâche [3]. Pour ces derniers, la présence a été évaluée au handball lors du duel entre un gardien et un tireur. Ces mêmes auteurs ont développé un environnement de travail en réalité virtuelle pour étudier le comportement du gardien de handball. Pour valider l'animation du tireur virtuel, un processus de comparaison de mouvements en deux étapes a été développé. Tout d'abord le mouvement d'un tireur réel a été capturé de manière à animer le personnage virtuel. Dans un second temps les auteurs se sont focalisés sur l'évaluation de la présence lorsque le gardien fait face à l'humanoïde de synthèse. Enfin les mouvements du gardien ont été comparés pour les deux situations (réelle et virtuelle). Les résultats montrent que les mouvements du gardien sont similaires quelque soit la situation [3, 4, 5, 10]. De ce fait l'animation du tireur fournit des mouvements réalistes et peut être utilisée pour évaluer les comportements des gardiens.

Nous proposons ici un cadre méthodologique en environnement virtuel pour évaluer si le jugement d'un gardien de handball est sensible à la trajectoire de balle ou au mouvement du tireur. Pour cela il est nécessaire de soumettre au gardien une trajectoire de balle seule, le mouvement du tireur seul et enfin les deux réunis (situation de référence).

## 2 METHODOLOGIE

Le protocole d'évaluation se décompose en deux phases. Une première phase en réel pour obtenir les mouvements nécessaires à l'animation du tireur et de la balle. Une seconde phase en environnement virtuel pour évaluer le comportement du gardien. Cette phase se décompose en trois sous étapes : animation de la balle seule, du tireur seul, et du mouvement complet (balle et tireur). Les différentes étapes sont décrites ci-dessous.

### 2.1 De la capture de mouvement à l'animation en environnement virtuel

De manière à animer le personnage virtuel et la balle, il est nécessaire de capturer des mouvements réels de tirs. Pour cela nous avons réalisé le protocole suivant : nous avons demandé à un joueur de handball de tirer à 12 mètres du but dans différentes cibles (sans gardien).

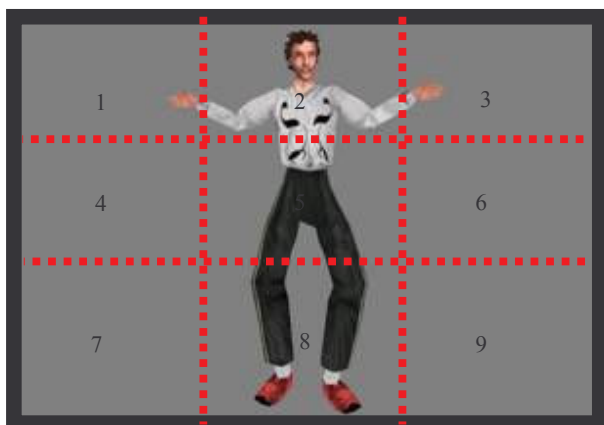


Figure 1: Zones de tir

Les cibles ont été placées de manière à diviser le but en 9 zones (fig. 1). Le tireur était équipé de 31 marqueurs réfléchissants placés sur des repères anatomiques permettant la reconstruction 3D des segments (fig. 2). 6 marqueurs étaient également utilisés pour définir la trajectoire de la balle. L'acquisition de mouvement a été réalisée à l'aide d'un système de capture composé de 12 caméras infrarouges cadencées à 200Hz.



Figure 2: Mouvement de tir réel

Les données sont ensuite utilisées par MKM [10, 11] pour animer le personnage de synthèse. MKM est une librairie d'animation des humanoïdes de synthèse en temps-réel. Elle permet une adaptation morphologique en proposant une représentation normalisée et hiérarchique du mouvement. Cette représentation s'appuie sur la structure hiérarchique classiquement utilisée en animation. Cependant, elle distingue trois types de chaînes cinématiques au sein de cette structure du squelette (figure 3) :

- les membres sont modélisés comme un seul segment de longueur variable (en rouge)
- la colonne vertébrale est modélisée par des splines (en bleu)
- et les autres segments, appelés les segments normalisés, sont composés d'un seul segment (en noir).

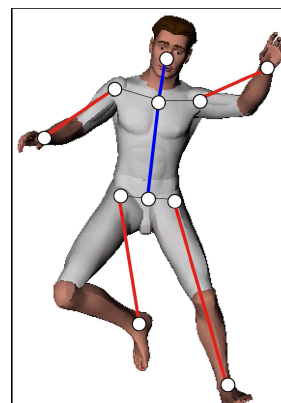


Figure 3: Représentation normalisée du squelette

La force de cette représentation réside dans le fait qu'elle intègre des données angulaires et cartésiennes. En effet, les chaînes cinématiques présentées ci-dessus sont calculées directement à partir des positions cartésiennes des articulations. Ainsi une chaîne cinématique CC composée des segments  $S_j$  est calculée en prenant l'articulation placée à son extrémité E, appelée articulation distale, relativement à sa racine R appelée articulation proximale. Ce vecteur (R,E) est alors normalisé en le divisant par la somme des longueurs initiales  $lg_j$  des segments  $S_j$  appartenant à la chaîne CC :

$$CCNorm = \frac{E - R}{\sum_j lg_j}$$

L'intérêt de cette normalisation est qu'elle permet de retrouver instantanément la position de l'extrémité en inversant le processus de normalisation avec la nouvelle morphologie de personnage. En effet, en multipliant par les longueurs  $lg'_j$  des segments de la nouvelle morphologie, on obtient la nouvelle position E' de l'extrémité par rapport à la racine :

$$E' = CCNorm \times \sum_j lg'_j$$

Cette représentation n'engendre donc aucune perte d'informations lorsque les mêmes données anthropométriques sont utilisées, c'est-à-dire lorsque  $lg$  est égal à  $lg'$ . Comme le montre la figure 4, les articulations des genoux, coudes et vertèbres ne sont pas intégrées dans la représentation normalisée.

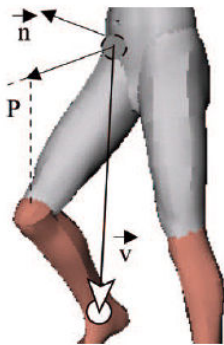


Figure 4: Représentation normalisée de la jambe

Cependant, leurs positions peuvent être retrouvées instantanément lorsque c'est nécessaire par exemple pour visualiser la posture du personnage dans un moteur de rendu. Des solutions analytiques sont alors utilisées. Pour les membres, ces dernières s'appuient sur la représentation de la chaîne cinématique :

- un repère qui définit à la fois le vecteur (R,E) qui va de sa racine R à son extrémité E et le demi-plan dans lequel se trouve l'articulation manquante, le genou ou le coude,
  - et une longueur variable qui est la norme du vecteur (R,E). La jambe est plus ou moins pliée en fonction de cette longueur.
- Pour leur part, les vertèbres sont directement retrouvées en discrétisant les splines qui représentent la colonne vertébrale.

Toutes les chaînes cinématiques sont ainsi définies et la position de la racine du squelette est normalisée par la longueur des jambes. Ainsi, le personnage est automatiquement placé à la

bonne hauteur par rapport au sol. Cependant, cet avantage est également un inconvénient puisqu'il ne permet pas de gérer des mouvements de marche sur les mains par exemple. La normalisation de la racine devrait donc être adaptée au type de mouvement effectué.

Néanmoins dans notre cas, nous avons fait correspondre les caractéristiques du personnage de synthèse aux données anthropométriques du tireur capturé. MKM permet également une adaptation environnementale en spécifiant un ensemble de contraintes par exemple des contraintes de pieds d'appuis qui permettent une bonne adaptation au sol et donc à l'environnement de synthèse. L'animation se décompose en 3 modules principaux.

Les contraintes liées à la nature de l'application (animation en temps réel) se traduisent par la nécessité de restreindre au maximum les échanges de données lors de l'exécution de celle-ci (en effectuant le maximum de chargement de données à l'initialisation).

- le chargement du scénario, des données de dribbles, des données de tirs et des descripteurs de points d'arrivée dans le but, sont effectués par des classes "Loaders" qui remplissent des structures de données propres au tireur dès l'initialisation.
- toutes les informations reçues par la balle sont transmises uniquement par le tireur, qui connaît désormais l'instant de lâcher de la balle dès l'initialisation.

Il existe plusieurs états communs au tireur et à la balle :

- un état où la balle est dans la main du tireur : tant que la balle est dans cet état, sa position est liée à la position de la main du tireur. En fait, ce sont la position du centre de la main et l'orientation de celle-ci, qui sont requises pour déterminer la position de la balle (la balle doit se loger dans la paume du gardien).
- un état où le joueur procède à un dribble : tant que la balle est dans cet état, sa position est liée à la position de la racine du tireur. En effet, pour s'assurer de la cohérence de la position de la balle par rapport au tireur (et notamment sa main) à la fin du dribble, celle-ci suit une trajectoire liée à celle du corps du tireur.
- un état où la balle est en l'air suite au tir effectué par le tireur : une fois que la balle est dans cet état, elle est totalement indépendante du tireur et suit une trajectoire définie.

Certaines informations doivent donc être transmises à la balle de manière continue pendant certains états : la position de la main du tireur et celle de la racine du tireur. La communication de ces données s'effectue donc par flots de données. En revanche, toutes les autres informations (paramètres de tirs, paramètres de dribbles) sont transmises par événements. Le schéma de communication pour cette version de la simulation est ainsi décrit par le modèle suivant (fig 5.) :

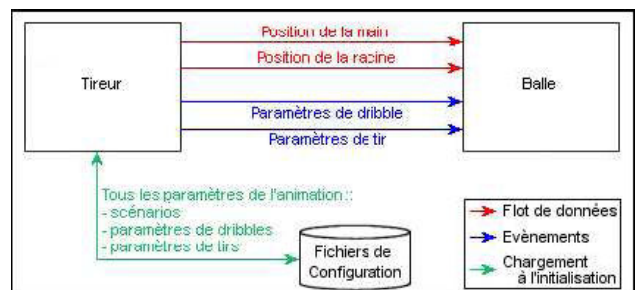


Figure 5: Organisation de l'animation

Lors d'une séquence de tir, l'animation se déroule donc de la manière suivante :

1. A l'initialisation, le tireur charge l'ensemble des données relatives au scénario, aux dribbles et aux tirs.
  2. Le tireur commence la séquence de tir avec la balle dans la main : il transmet à la balle, en continue, la position de sa main.
  3. A l'instant où le tireur commence son dribble, il transmet à la balle les paramètres de ce dribble.
  4. Pendant le dribble, le tireur transmet à la balle, en continue, la position de sa racine.
  5. Une fois le dribble terminé, le tireur continue son mouvement avec la balle dans sa main : il transmet donc à la balle, en continue, la position de sa main.
  6. A l'instant où le tireur lâche la balle pour effectuer son tir, il transmet à celle-ci les paramètres du tir.
  7. La balle est en phase de vol : elle est désormais totalement indépendante du tireur.
- L'animation est réalisée en temps réel à l'aide d'OpenMask [12].

## 2.2 Expérimentation 1 : Influence de la trajectoire de balle sur le jugement du gardien (B).

Dans cette phase expérimentale les gardiens de handball sont placés dans une salle de projection immersive pour la réalité virtuelle. Cette salle est composée de machines de calculs numériques et graphiques, d'un système de projection sonorisée, et de périphériques de réalité virtuelle. Dans le cadre de ces simulations, le matériel sollicité est le suivant :

- 3 PCs Dell Precision 650 bi-processeurs, équipés chacun d'une carte graphique Nvidia FX3000G. Chaque PC est une source vidéo. Ces trois sources peuvent être synchronisées pour composer un mur de trois images, éventuellement en stéréovision.
- un écran semi-circulaire, d'une longueur de 8m50 et d'une hauteur de 2m40 ;
- 3 projecteurs Barco 1208S, technologie CRT, assurant un recouvrement d'images sans sur-luminance, ainsi qu'une projection mono (60 Hz) ou stéréoscopique (96 Hz ou 120 Hz)
- des lunettes actives, pour la vision stéréoscopique
- un ordinateur AMX avec écran tactile, qui assure, via une grille de commutation, le multiplexage des sources vidéo sur les projecteurs ou les écrans de contrôle.

Le matériel décrit précédemment permet la projection de l'animation sur un écran étendu qui couvre donc un champ de vision assez large (135° de vision), avec stéréoscopie (vision de la scène en 3D, grâce au port de lunettes actives)

Un système de capture de mouvement (Vicon MX, Oxford Metrics) composé de 12 caméras infrarouges est synchronisé avec la plate-forme de réalité virtuelle. Cette synchronisation permet de définir la position du gardien à la fois dans l'environnement réel et virtuel. Ainsi il est possible, en capturant les mouvements de tête du gardien, de réadapter son point de vue en temps réel avec un délai de communication inférieur à 20 millisecondes.

Nous avons placé dans cet environnement un but réel. Le but a été calibré de manière à ce que la position finale du ballon dans le but virtuel corresponde à sa position dans le but réel. Pour ce faire nous avons positionné des marqueurs réfléchissants aux quatre coins du but. Ces marqueurs ont une position à la fois dans le monde réel et dans le monde virtuel, nous avons donc fait correspondre à l'aide de ces points un but virtuel et un but réel.

Cette dernière opération permet d'assurer que le tir du joueur dans l'environnement virtuel soit réalisé à 12 mètres du but réel et que la position finale de la balle soit préservée.

Dans cette première expérimentation le gardien était équipé de 11 marqueurs réfléchissants. Quatre sont placés au niveau de la tête pour permettre l'adaptation du point de vue du sujet. Les sept autres marqueurs sont positionnés sur les mains : trois sur la main droite du gardien (trièdre rigide, fig. 6) et quatre sur sa main gauche (trièdre rigide + marqueur de dissymétrie). Le centre du trièdre de chaque main sert à indiquer la position de la balle dans le but (poignet interne, poignet externe, prolongement du majeur).

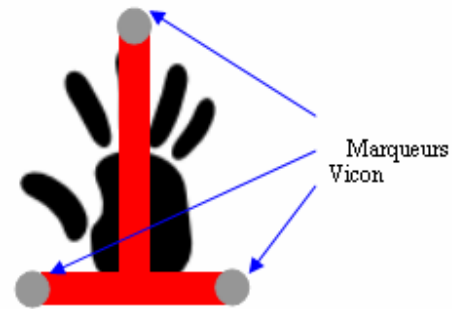


Figure 6: Positionnement des marqueurs sur la main

Lors de cette première étape les gardiens se familiarisent tout d'abord avec l'environnement virtuel. Ensuite nous demandons aux sujets de définir le plus précisément possible la position de la balle dans le but pour neuf trajectoires (une dans chaque zone). Dans cette première expérimentation les gardiens sont soumis uniquement à la trajectoire de la balle. Pour chaque trajectoire la position initiale de la balle se situe à 12 mètres du but. Cette trajectoire est occultée sur les 6 derniers mètres, ce qui donne une distance de vision de 0.4 secondes en moyenne. La hauteur de la balle ainsi que sa vitesse sont dépendantes du tir original capturé dans le réel. Les neuf tirs sont joués dix fois dans un ordre aléatoire soit un total de 90 tirs.

Pour chaque essai la position de la main du gardien est enregistrée à l'aide du système optoélectronique. Cette position est ensuite comparée à la position théorique du ballon.

## 2.3 Expérimentation 2 : Influence du mouvement du tireur sur le jugement du gardien (T)

Lors de cette expérimentation les gardiens sont confrontés au mouvement du tireur seul (sans balle). Plus précisément la balle disparaît au moment du lâcher. Comme lors de l'expérimentation précédente nous demandons au gardien de définir la position finale, supposée, de la balle dans le but pour les 90 tirs. L'ensemble du protocole de mesure est identique à celui de l'expérimentation précédente.

## 2.4 Expérimentation 3 : Influence du mouvement du globale (BT) sur le jugement du gardien

Enfin lors de la troisième expérimentation, nous étudions l'influence de la balle et du tireur sur la prédiction du gardien. Pour cela nous avons couplé la trajectoire de la balle au

mouvement du tireur correspondant en environnement virtuel (fig. 7). La méthode est identique aux autres expérimentations.

### 3 RESULTATS PRELIMINAIRES

Les résultats présentés ici sont issus d'un groupe de gardiens de handball très restreints (trois gardiens seulement) et vont servir à illustrer la méthode d'analyse mise en place. Dans un premier niveau d'analyse, nous regardons quel est le pourcentage de réussite du positionnement de la main par zone. On observe un pourcentage de réussite de 78% pour l'expérimentation B, de 24% pour l'expérimentation T et de 85% pour l'expérimentation BT. Etant donné le très faible taux de réussite constaté pour l'expérimentation T, on peut dire que les gardiens estiment très difficilement la position de la balle dans le but lorsqu'ils ne voient que le mouvement du tireur. La pertinence de la présence du tireur dans l'action peut alors être remise en cause. Cependant l'amélioration du taux de réussite entre les expérimentations B et BT semble montrer l'utilité de la visualisation de cette action. Le second niveau d'analyse concernant la différence entre la position prédite par le gardien et la position réelle de la balle dans le but selon l'axe horizontal et l'axe vertical peut nous aider à confirmer cette tendance.

Nous évaluons donc les variations de prédiction selon l'axe horizontal et l'axe vertical (tableau 1). Ces deux axes nous permettent de retrouver la troisième composante que nous avons appelé « distance » puisqu'il s'agit de la distance (en mètre) entre la position finale de la balle prédite par le gardien et la position réelle de la balle dans le but.

	Exp 1 (en mètre)			Exp 3 (en mètre)		
	latéral	vertical	distance	latéral	vertical	distance
S1	0,17	0,51	0,54	0,09	0,37	0,38
S2	0,11	0,13	0,17	0,08	0,13	0,15
S3	0,14	0,24	0,28	0,15	0,19	0,25
Moyenne	0,14	0,29	0,33	0,11	0,23	0,26

Tableau 1 : différences entre la prédiction et la position réelle de la balle en latéral, vertical et absolu (distance).

Sur l'axe horizontal (latéral), on observe une diminution de la différence entre la prédiction et la position réelle pour les deux premiers sujets entre les deux expérimentations (0.17 vs 0.09 et 0.11 vs 0.08). Pour le troisième, l'estimation de position est à peu près équivalente (0.15 vs 0.14). Par conséquent nous retrouvons cette tendance pour la moyenne horizontale calculée sur ces trois sujets (0.14 vs 0.11). Le même constat peut être effectué sur l'axe vertical : le premier et le troisième sujet diminuent la position de leur prédiction entre les deux expérimentations (0.51 vs 0.37 et 0.24 vs 0.19) alors que le second sujet prédit la position de la balle

de manière identique (0.13). De ce fait la moyenne suit cette diminution (0.29 vs 0.23). Comme on a une augmentation de la précision sur l'axe horizontal et vertical, on retrouve cette évolution pour la distance entre la prédiction et la position réelle de la balle entre les expérimentations B et BT. En effet chacun des trois sujets se rapproche de la position réelle de la balle dans le but (0.54 vs 0.38, 0.17 vs 0.15 et 0.28 vs 0.25) ce qui donne une amélioration de 7 cm environ entre ces deux expérimentations.

### 4 DISCUSSION

Le but de ce travail était de présenter un cadre de travail permettant d'analyser la perception du gardien de but de handball lors d'un duel en environnement virtuel. La première étape concernant le processus d'animation d'un tireur virtuel montre qu'il est possible de simuler de manière réaliste le mouvement humain dans son intégralité. En ce qui concerne l'animation propre du tireur, on pourrait envisager d'affiner l'adaptation faite par MKM en améliorant la position des centres articulaires vis-à-vis des marqueurs externes situés sur la peau. La définition de ces centres articulaires sont effectivement à l'origine des nœuds d'animation relatifs au personnage de synthèse. De plus, l'expérimentation T met en évidence une difficulté de prédiction de la part des gardiens qui peut émaner d'une situation inhabituelle (prédire la trajectoire d'un objet pas visible initialement) ou de l'animation virtuelle. Dans ce dernier cas, même si il a été prouvé que notre module d'animation permet d'obtenir des mouvements de la part des gardiens qui sont similaires à ceux enregistrés dans une situation réelle de tir [3], on pourrait envisager d'augmenter les degrés de liberté des articulations du tireur virtuel, notamment au niveau de sa main (mouvement du poignet).

En ce qui concerne la mise en place pratique des expérimentations, on peut dire que le fait de synchroniser en temps réel les deux systèmes que sont la plateforme de réalité virtuelle et l'outil de capture de mouvement entraîne une excellente simulation d'une situation réelle grâce à l'adaptation, par exemple, du point de vue de la tête. De plus cette synchronisation diminue grandement le temps de traitement des résultats. En effet il n'est plus nécessaire de passer par la reconstruction du mouvement (liée au logiciel de capture de mouvement) souvent fastidieuse car le repérage des marqueurs Vicon dans l'environnement virtuel nous permet d'extraire les données de position de ces marqueurs. Il est en outre possible d'effectuer des calculs en temps réel à partir de ces données (calcul du centre de la main). A l'avenir, il serait même envisageable d'évaluer le temps de réaction du sujet lors d'une parade. Nous pourrions également définir un critère de réussite en observant si l'un des segments du sujet et la balle rentrent en contact.

Enfin pour ce qui est des résultats fournis par cette étude préliminaire, il semble que le jugement effectué par des gardiens de but de handball sur la future position de la balle dans le but est



Figure 7: Tireur et balle en environnement virtuel

influencé par le nombre et le poids de chacun des éléments présents dans l'action. On observe ainsi un taux de réussite par zone très faible pour l'expérimentation T, ce qui nous laisse suggérer que les gardiens ont du mal à faire face à une situation à laquelle ils ne sont pas habitués. On pourrait aussi penser que le mouvement du tireur seul n'est pas un indice pertinent dans la prédiction effectuée par le gardien. Or cette idée ne se vérifie pas lorsqu'on interprète les résultats des expérimentations B et BT. En effet le premier niveau d'analyse montre une diminution du taux de réussite par zone entre ces deux expérimentations (78% vs 85%). Cette tendance se confirme après l'analyse fine et précise des résultats. Pour l'ensemble des trois sujets qui ont fait parti de cette étude, on constate une amélioration de la prédiction d'environ 7 cm. Le mouvement du tireur au cours d'un face à face avec un gardien de but de handball semble donc avoir un rôle important dans le jugement fait par ce dernier.

En conclusion, on peut dire que le cadre de travail méthodologique mis en place permet l'analyse de la perception des gardiens lors d'une tâche de duel en environnement virtuel.

#### REMERCIEMENTS

Ce travail a été partiellement financé par la région Bretagne, le conseil général d'Ille et Vilaine, Rennes Métropole. Les auteurs tiennent à remercier la Fédération Française de Handball ainsi que le Ministère des Sports pour leur soutien dans ce projet.

#### REFERENCE

- [1] B. Abernethy, J. Wood et S. Parks. Can the anticipatory skills of experts be learned by novices? *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 70 (3), 313-318, 1999.
- [2] J. Bastin, C. Craig et G. Montagne. Prospective strategies underlie the control of interceptive actions. *Human Movement Science*, 24, 2006.
- [3] B. Bideau, R. Kulpa, S. Ménardais, L. Fradet, F. Multon, P. Delamarche et B. Arnaldi. Real handball goalkeeper vs virtual handball thrower. *Presence : teleoperators and virtual environments*, 12 (4):412-421, 2003.
- [4] B. Bideau, F. Multon, R. Kulpa, L. Fradet, B. Arnaldi et P. Delamarche. Using virtual reality to analyze links between handball thrower kinematics and goalkeeper's reactions. *Neuroscience Letters*, 372 (1-2):119-122, 2004.
- [5] B. Bideau, F. Multon, R. Kulpa, L. Fradet et B. Arnaldi. Virtual reality applied to sports: do handball goalkeepers react realistically to simulated synthetic opponents?, *Simulation & Gaming*, Accepted in June 2005, 2005.
- [6] C. Craig, E. Berton, G. Rao, L. Fernandez et R. Bootsma. Judging where a ball will go: The case of curved free kicks in football. *Naturwissenschaften*, 93, 97-101, 2006.
- [7] T. Eggert, F. Rivas et A. Straube. Predictive strategies in interception tasks : differences between eye and hand movements. *Experimental Brain Research*, 160(4):433-49, 160(4):433-49, 2005.
- [8] M. Fairchild, G. Johnson, J. Babcock et J. Pelz. Is your eye on the ball?: Eye tracking golfers while putting. *Unpublished manuscript*, Rochester Institute of Technology, 2001.
- [9] C. Goulet, C. Bard et M. Fleury. Expertise differences in preparing to return a tennis serve : a visual information processing approach. *Journal of Sport and Exercise, Psychology*, 11:382-398, 1989.
- [10] R. Kulpa, Adaptation interactive et performante de mouvements d'humanoïdes synthétiques : aspect cinématique, cinématique et dynamique. *Thèse de l'IRISA - INSA de Rennes*, 2005.
- [11] R. Kulpa, F. Multon, B. Arnaldi, Morphology-independent representation of motions for interactive human-like animation, *Computer Graphics Forum*, 24(3), 2005.
- [12] D. Margery, B. Arnaldi, A. Chauffaut, S. Donikian et T. Duval. OpenMASK: Multi-Threaded or Modular Animation and Simulation Kernel or Kit : a General Introduction. In *VRIC 2002 Proceedings*, edited by S. Richir, P. Richard et B. Taravel, pages 101-110, 2002.
- [13] G.J.P. Savelsbergh, A.M. Williams, J. Van der Kamp et P. Ward. Visual search, anticipation and expertise in soccer goalkeepers. *Journal of Sport Sciences*, 20, 279-287, 2002.
- [14] M. Schuemie, M., van der Straaten, P., Krijn, M., and van der Mast, C. (2001). *Research on presence in vr: a survey*. *ACM Virtual Reality Software and Technology (VRST)*, 4(2):335--341. Schuemie et coll., 2001.
- [15] M.D. Shank et K.M. Haywood. Eye movements while viewing a baseball pitch. *Perceptual and Motor Skills*, 64:1191-1197, 1987.
- [16] M. Slater, V. Linakis, M. Usoh et R. Kooper. Immersion, presence, and performance in virtual environments : an experiment in tri-dimensional chess. In *Proceedings of VRST'96*, Hong Kong, 1996.
- [17] A.M. Williams K. Davids, L; Burwitz et J.G. Williams. Visual search strategies in experienced and inexperienced soccer players. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 65(2) : 127-35, 1994.
- [18] A.M. Williams et D. Elliot. Anxiety, Expertise, and Visual Search Strategy In Karate. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 21: 362-375, 1999.
- [19] A. M. Williams et P. Ward. Perceptual expertise in sport : Development. In *A. Ericsson & J. Starkes (Eds.) Expert performance in sports : Advances in research on sport expertise* (pp. 220-249). Champaign, Illinois: Human Kinetics, 2003.