

Validation d'un processus de traitement allant de la capture du mouvement à l'immersion de sujets en réalité virtuelle : application au tir au handball

Benoit Bideau⁽¹⁾, Laetitia. Fradet⁽¹⁾, Franck Multon⁽¹⁾, Stéphane Ménardais⁽²⁾, Richard Kulpa⁽¹⁾, Bruno Arnaldi⁽²⁾

1-Laboratoire de physiologie et de biomécanique de l'exercice musculaire av charles Tillon
350044 Rennes

2-IRISA projet SIAMES campus universitaire de Beaulieu 35042 Rennes

Benoit.Bideau@uhb.fr

Résumé : *Cet travail consiste à évaluer toute la chaîne allant de la capture du mouvement à l'immersion de sujets en réalité virtuelle. En effet, de nombreux paramètres peuvent faire que le sujet ne réagisse pas comme dans le monde réel : qualité des modèles géométriques, mise à l'échelle de la scène projetée, réalisme des mouvements, comportement des humanoïdes... Dans la littérature, l'impact global de ces paramètres a été étudié en évaluant la présence. Cependant, encore peu d'études ont cherché à évaluer chaque paramètre isolément. Nous proposons une nouvelle méthode pour évaluer un processus particulier permettant d'immerger un gardien de handball dans un environnement virtuel habité de joueurs synthétiques. Une étude préalable de la gestuelle du gardien en situation réelle nous permet de vérifier que ses réactions dans l'environnement virtuel sont réalistes. Dans cet article, nous insistons sur le processus qui a permis d'animer les joueurs synthétiques afin de montrer que ces techniques d'animation produisent des mouvements suffisamment réalistes pour déclencher des réponses réalistes du gardien de but.*

Mots-clés : Evaluation de la présence, capture du mouvement, application sportive, réalité virtuelle, animation

1. Introduction

L'utilisation de la réalité virtuelle est de plus en plus répandue. Cependant, on peut s'interroger sur la manière dont les sujets perçoivent l'environnement virtuel. La présence dénote la sensation subjective d'un sujet d'être dans le monde virtuel. Cette sensation a été souvent étudiée au travers d'études comportementales [SVK01]. L'environnement virtuel doit être le plus proche possible du monde réel, comme la montré Hodgins [HOT 98]: la qualité du model géométrique semble jouer un rôle important dans le réalisme des scènes animées. En plus du réalisme graphique, les humanoïdes synthétiques peuplant l'environnement virtuel doivent agir comme des acteurs réels.

Le mode d'interaction avec l'environnement virtuel a aussi un rôle important à jouer. Différentes formes d'interactions peuvent avoir lieu entre les différents agents. Noser [NPCM96] a expérimenté l'interaction entre un joueur de tennis réel (représenté par son avatar) et un joueur virtuel. Le joueur virtuel était un agent perceptif et interactif guidé par un modèle comportementale. Cependant l'avatar était simplement représenté par une partie du corps composé du bras et de la raquette. Le mouvement capturé du joueur réel était rejoué avec ce bras virtuel sans tenir compte des détails du geste. De même, les effets donnés à la balle ainsi que les déplacements complexes du joueur sur le cours n'étaient pas pris en compte. Molet [MBT96] a réalisé une expérience avec deux joueurs qui interagissent entre eux dans un environnement distribué via VLNET [CPNMT97]. Les deux joueurs voyaient leur propre avatar (bras et raquette) jouer avec l'humanoïde virtuel. Comme dans l'étude précédente, l'utilisateur ne pouvait pas jouer au tennis comme dans le monde réel. Cette forme de jeu virtuel ne peut pas être directement appliquée à l'étude de mouvement sportif d'athlètes de haut niveau.

D'autres applications sont dédiées à l'évaluation et l'entraînement de sportifs. Par exemple la réalité virtuelle a été utilisée pour tester des stratégies en sport collectif en immergeant un entraîneur dans une phase de jeu simulée [MM00]. Dans ce jeu l'entraîneur doit donner des ordres aux joueurs synthétiques pendant que les opposant sont dirigé par un modèle comportementale. Cependant les comportements simulés ne sont pas comparés à une situation réelle et l'entraîneur ne réagit pas comme dans une vrai match mais utilise des métaphores pour diriger son équipe. D'une autre manière des bobsleigheurs se sont entraîné sur un simulateur pour les jeux olympiques d'hiver [HH96]. Dans cette étude le simulateur a été créé pour que le conducteur du bobsleigh réagisse comme dans le monde réel, sans vraiment le vérifier.

Pour résumer, les travaux antérieurs sur la réalité virtuelle sont généralement basés sur des métaphores pour animer les avatars. Toutefois, on peut s'interroger sur le réalisme des réactions des sujets, avec ce type d'interaction. Nous proposons de mettre en place une expérimentation entre un gardien de but de handball réel et un tireur virtuel. Cette expérimentation vise à valider les choix techniques qui sont mis en œuvre pour immerger le sujet dans un terrain virtuel de handball. En particulier, la qualité de l'animation de l'avatar est essentielle pour assurer un bon niveau de présence.

Pour animer les acteurs virtuels, plusieurs techniques peuvent être envisagées. Les techniques de motion warping ont été expérimentées en modélisant les trajectoires dans le domaine temporel [WP95] ou fréquentiel [UAT95]. L'inconvénient principal du domaine fréquentiel est le manque de la contrôlabilité du mouvement résultant. En effet changer le poids d'une harmonique n'est pas intuitif et nous conduit à un processus itératif d'essai-erreur. Le fait d'utiliser des points de contrôle ou d'ajouter des contraintes spatio-temporelles [WK88] est plus intuitif. Les mouvements capturés doivent être corrigés afin de pouvoir être employés pour une telle méthode. Par exemple, le bruit doit être filtré et des corrections anatomiques doivent être exécutées [MBT96][BRRP97]. Pour notre application, l'animation procédurale [Z82][BMT90][BC96] et la simulation dynamique [ADHMT89][HWBO95][MNH99] ne sont pas appropriées. En effet, même pour des modèles précis, les mouvements synthétiques ne peuvent pas être comparés à ceux mesurés dans de vrais phases de match.

Une dernière approche consiste à adapter des mouvements capturés à l'environnement virtuel mais cela pose un certain nombre de problèmes techniques : conserver le contact des pieds avec le sol, s'adapter au squelette synthétique, éviter les glissements sur le sol, gérer une animation complète à partir de plusieurs petites séquences... L'adaptation de mouvements capturés à des squelettes et des environnements synthétiques est, toutefois, une étape préliminaire à toutes les précédentes approches. Gleicher [G98] propose une méthode permettant d'adapter un mouvement capturé à un personnage de morphologie différente et à un environnement différent [GL98]. Le problème de l'adaptation d'un mouvement à une morphologie différente est de respecter les contraintes particulières de ce mouvement. Par exemple, un pointage ou une préhension contraignent la position cartésienne d'un ou de plusieurs éléments du squelette. A l'inverse, un mouvement de gymnastique doit garantir une posture globale répondant à des contraintes sur les angles aux articulations. Les contraintes à respecter doivent être spécifiées pour chaque mouvement étudié et aucune méthode générale ne semble répondre, à l'heure actuelle, à tous les cas de figure.

En plus d'adapter un mouvement élémentaire à un squelette et à un environnement, l'animation de personnages synthétiques nécessite généralement de générer des mouvements complexes. Ceci peut être obtenu en mélangeant des mouvements élémentaires [BBE97]. Dans ce cas, plusieurs problèmes se posent : gérer la continuité du mouvement, assurer que les contraintes géométriques et non-holonomes sont respectées...

Toutes ces techniques d'animation modifient les trajectoires capturées originelles et peuvent donc dégrader le réalisme du mouvement. Un moyen de vérifier la validité des mouvements ainsi modifiés est d'utiliser la réalité virtuelle. Nous proposons, dans une application liée au handball, de vérifier qu'un gardien de but réagit de la même manière à des tirs virtuels ainsi modifiés qu'à ceux (réels) qui ont servi à calculer les mouvements de l'avatar. Dans un premier temps, nous présentons la démarche générale de cette approche. Nous décrivons ensuite les différentes phases utilisées pour animer l'adversaire synthétique du gardien de but. Nous présentons ensuite les résultats de cette expérimentation pour conclure sur l'intérêt de ce type d'expérimentation

2. Organisation générale

La première partie de cette étude est une expérience préliminaire impliquant le gardien de but et le tireur de handball lors d'une rencontre sur un terrain réel de handball. Les deux protagonistes étaient équipés de marqueurs infrarouges qui permettaient de capturer leurs mouvements en 3D. Le système utilisé était un Vicon370 (Oxford Metrics) composé de 7 caméras infrarouges, synchronisées à 60Hz. Le but de cette étude était de capturer le tir au but d'un vrai joueur de handball ainsi que le mouvement correspondant du gardien (cf. figure 1). Par conséquent, nous avons analysé la réaction du gardien face à différents tirs. Pour chaque catégorie de tir, nous avons identifié les contraintes spatio-temporelles qui lient les mouvements du tireur et du gardien.

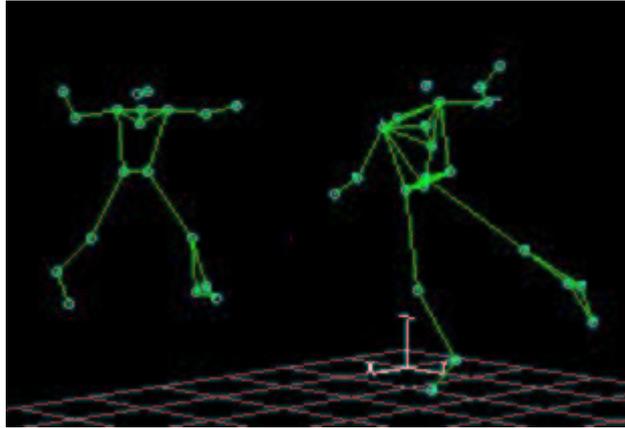


Figure 1 : capture des mouvements d'un gardien de but et d'un tireur.

Une fois les mouvements du tireur capturés, plusieurs traitements sont nécessaires pour animer un joueur synthétique de la même manière :

1. Adaptation des mouvements capturés à des humanoïdes synthétiques,
2. Animation temps réel de joueurs synthétiques de handball.

Notre objectif est de vérifier que les traitements génèrent un mouvement suffisamment réaliste pour engendrer les mêmes réactions chez le gardien de but. Ceci a fait l'objet d'une seconde expérimentation.

En effet, dans la deuxième partie de l'expérience nous avons placé le même gardien de handball dans un stade virtuel afin de jouer contre un tireur virtuel. Nous avons employé un système de réalité virtuelle composé d'une SGI Onyx2 InfiniteReality dont les sorties vidéo sont redirigées vers trois vidéoprojecteurs Barco 1208S synchronisés. L'image était projetée sur un écran semi-cylindrique (avec un rayon de 3,80m, une taille de 2.38m et un champ visuel 135°). Pour obtenir un vrai comportement du gardien nous avons reconstruit un environnement aussi réaliste que possible en reproduisant les repères visuels bien connus du joueur. Un des repères les plus importants était le but qui était physiquement placé au centre de la salle de réalité virtuelle. Une calibration entre l'environnement virtuel et réel a été effectuée. Ainsi, l'image retransmise sur grand écran permettait de reconstruire un stade à échelle 1. Pour étudier les mouvements du gardiens, nous avons une fois de plus utilisé le système de capture du mouvement Vicon370. La plate-forme de réalité virtuelle et le système Vicon n'étaient pas physiquement synchronisés et aucun signal de départ n'était donné au gardien. Celui-ci devait juste essayer de parer les tirs virtuels qui lui étaient proposés: vingt quatre tirs qui ont été choisis de manière aléatoire parmi l'ensemble des tirs capturés lors de la première expérimentation. Ces tirs ont été divisés en trois catégories :

- **Tirs à 6 mètres en appui**, dans cette catégorie nous avons utilisé trois tirs capturés.
- **Tirs à 6 mètres en suspension**, dans cette catégorie nous avons utilisé quatre tirs capturés.
- **Tirs à 9 mètres en appui**, dans cette catégorie nous avons utilisés quatre tirs capturés.

Tous les tirs ci-dessus ont été joués deux fois, mélangés aux autres essais, de manière à éviter que le gardien puisse identifier les tirs. Entre chaque tir, le gardien se repositionne dans son but et attend la prochaine épreuve. Nous décrivons maintenant les différentes phases qui ont permis de restituer les mouvements du tireur dans l'environnement virtuel.

3. Adaptation des mouvements capturés à des humanoïdes synthétiques

Les humanoïdes de synthèse utilisés pour cette expérimentation utilisent 26 degrés de liberté :

- Trois rotations à l'épaule
- Une rotation au coude,
- Trois rotations au niveau du torse,
- Trois rotations et trois translations au niveau du pelvis (considéré comme l'origine de la hiérarchie),
- Trois rotations à la hanche,
- Une rotation au genou,
- Une rotation à la cheville.

7 caméras infrarouges cadencées à 60 Hz (faisant partie du système Vicon370, Oxford Metrics) ont été placées de manière à couvrir un champ de mesure de 12 mètres par 6 mètres. Pour couvrir cet espace et mieux appréhender le mouvement du tireur et du gardien, nous avons disposé les caméras en cercle autour de la surface de jeu. Les sujets étaient ensuite équipés de 26 marqueurs infrarouges qui permettaient la reconstruction 3-D de repères anatomiques. La figure 2 représente, à gauche, le sujet vu grâce aux marqueurs infrarouges et, à droite, l'humanoïde synthétique utilisé pour l'expérimentation.

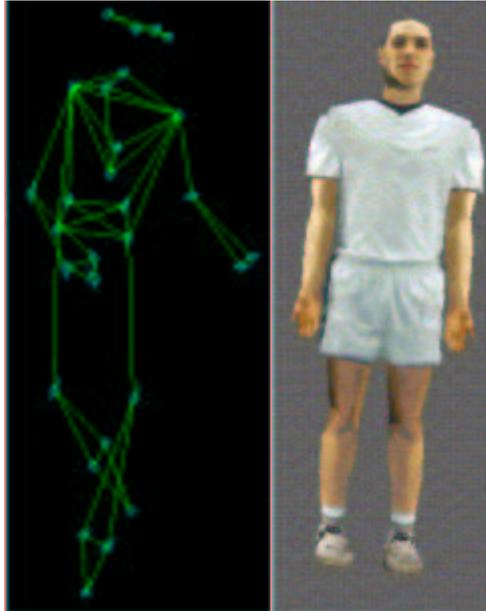


Figure 2 : Placement des marqueurs infrarouges et humanoïde synthétique utilisé lors des expérimentations.

A partir de ces marqueurs externes, placés sur des repères anatomiques peu sensibles aux glissements de la peau, nous développons maintenant le processus qui nous permet d'animer au plus juste le joueur synthétique. Ce processus se déroule en 4 étapes pour chaque animation capturée [MM01] :

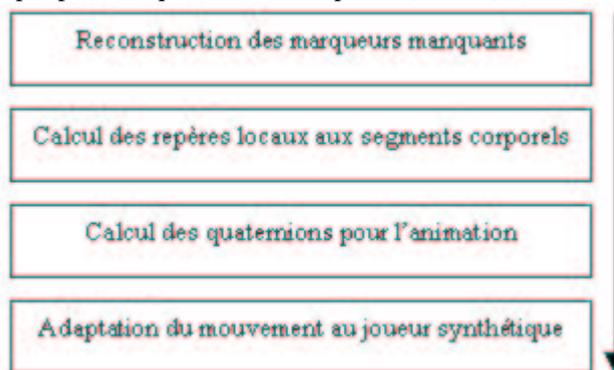


Figure 3 : processus de traitement des mouvements capturés pour l'animation de joueurs synthétiques.

1. à récupérer les points manquants qui sont dus à des occultations pendant la capture. Pour cela, nous utilisons un fichier de paramètres décrivant la structure du squelette humanoïde (mesurée lors de la capture du mouvement grâce à une posture pour laquelle les longueurs de chaque segment sont mesurées). Un graphe non-orienté définit des contraintes de distance entre deux marqueurs appartenant au même segment corporel. Les nœuds de ce graphe sont les marqueurs, les arcs entre deux nœuds représentent une notion de contrainte de distance. Les arcs sont associés à la longueur séparant les deux marqueurs. Ces longueurs, supposées constantes pendant le mouvement, permettent de calculer les points manquants en minimisant l'ensemble des contraintes avec ces voisins dans le graphe. Soient quatre marqueurs V_1 , V_2 , V_3 présents, et M , à reconstruire. d_1 , d_2 et d_3 représentent respectivement les distances séparant M de V_1 , V_2 et V_3 . M' est une approximation de M , à partir d'une interpolation naïve de M dans le temps. Cette première interpolation ne tient pas compte des contraintes de distance. M est reconstruit en modifiant M' pour qu'il corresponde au mieux (au sens des moindres carrés) aux distances d_1 , d_2 et d_3 (cf. figure 4).

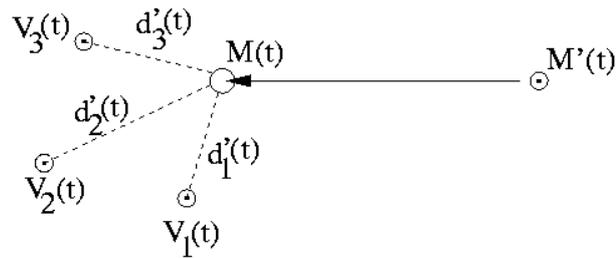


Figure 4 : reconstruction d'un point manquant à partir de ses trois voisins.

2. à reconstruire les repères associés à chaque segment corporel à partir des repères anatomiques. Par exemple, le centre du poignet est retrouvé à partir des deux marqueurs positionnés sur la tête de l'ulna et du radius. Le même type d'hypothèse est utilisé pour retrouver les autres centres articulaires qui composent ainsi les axes principaux des repères liés à chaque segment corporel [D95].

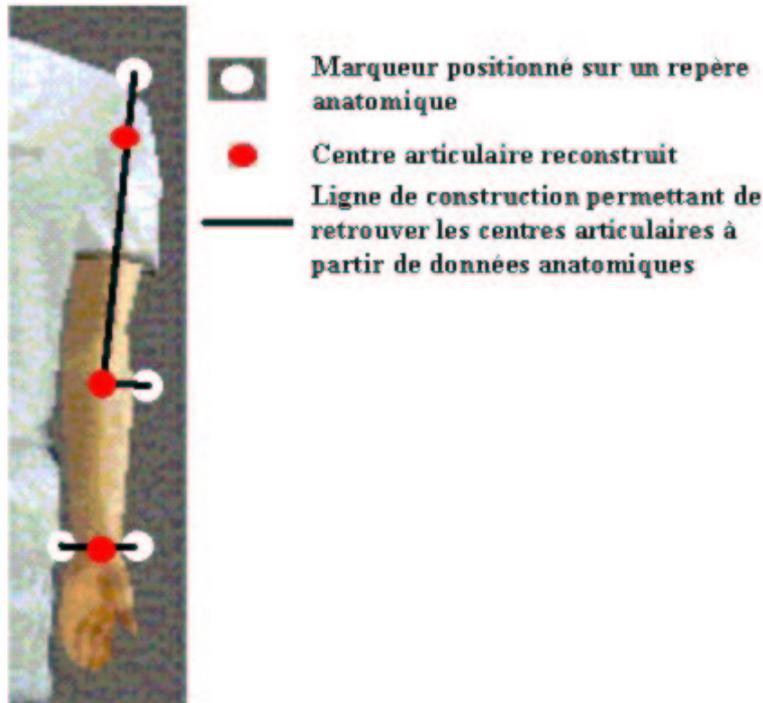


Figure 5 : reconstruction des centres articulaires à partir des marqueurs externes.

3. à calculer les quaternions à chaque pas de temps pour obtenir les trajectoires articulaires nécessaires à l'animation du personnage synthétique.
4. à adapter le mouvement au squelette synthétique qui a, en général une taille différente de celui du sujet [MM01].

En sortie de ces étapes, plusieurs mouvements, adaptés à l'humanoïde synthétique, sont disponibles.

4. Animation temps réel de joueurs de handball

Les étapes présentées ci-dessus doivent être effectuées pour tout mouvement capturé. Afin d'offrir une plus grande liberté de mouvement au joueur synthétique, nous avons capturé des trajectoires de course, de marche et de tir au but. Ces trajectoires sont capturées indépendamment les unes des autres.

Le joueur synthétique doit être capable d'enchaîner et de mélanger ces trajectoires pour obtenir un mouvement complexe qui corresponde à une situation réaliste de jeu. Cette situation inclut le déplacement du joueur, le tir et son remplacement sur le terrain. Il est donc nécessaire d'enchaîner ces actions de manière réaliste.

Pour cela, des priorités sont associées à chaque mouvement et évoluent continûment au cours du temps en fonction des besoins de l'animation [M03]. Ces priorités indiquent, pour chaque degré de liberté l'importance relative de chaque mouvement. Prenons l'exemple d'une marche normale, suivie d'une marche fatiguée puis d'une course (figure 6).



Figure 6 : mélange de mouvements capturés (marche normale, marche fatiguée et course) appliqués à un personnage synthétique.

La locomotion fait intervenir principalement les membres inférieurs. Les trois mouvements de locomotion ont donc une priorité importante sur les articulations de la hanche, du genou et de la cheville. Inversement, ils ont une importance plus relative pour le haut du corps qui peut donc effectuer une autre tâche en parallèle. Supposons maintenant que, pendant la séquence de la figure 6, un lancer de ballon doit être effectué. Le lancer de ballon fait principalement intervenir le haut du corps. Par contre, le bas du corps intervient moins dans ce lancer. En résultat, le bas de corps est principalement animé grâce aux mouvements de locomotion (priorité importante) même si ces mouvements sont légèrement modifiés par le lancer. A l'inverse, sur le haut du corps, le lancer a une priorité importante mais le mouvement est légèrement modifié par la locomotion.

En plus de ce mélange de mouvements, il est possible de séquencer les animations. Pour cela, la priorité de chaque mouvement augmente et diminue continûment respectivement en début et en fin de séquence. Cette augmentation (resp. diminution) continue permet de lisser les transitions entre deux gestes.

Cette technique ne fonctionne que si les postures de début et de fin sont suffisamment proches, sans quoi, même avec une interpolation linéaire, la séquence résultante est totalement irréaliste. Dans notre application, nous séquencions des mouvements proches : différentes locomotions et un tir. Les différentes locomotion sont séquencées en prenant soin que le pied d'appui en fin de mouvement corresponde bien au même appui au débuts de l'autre. Le tir au but s'effectue toujours avec un pied l'un devant l'autre (le pied avant est aussi appelé pied d'appui). De plus, le tir s'effectue généralement après une locomotion si bien que le séquencement d'une marche ou d'une course avec un tir s'effectue sans discontinuité majeure.

Nous aurions pu utiliser des techniques de séquencement de mouvement comme ceux proposés par Gleicher [G98] mais nous avons préféré cette solution qui garantit une réponse rapide de l'humanoïde aux consignes, tout en assurant une fluidité et une continuité dans le geste.

Lors des expérimentations, il a été impossible de capturer correctement le mouvement du ballon sur la totalité du volume de capture. De plus, en réalité virtuelle, nous voulions être capables de modifier la trajectoire du ballon soit de manière artificielle, soit pour répondre à une adaptation du geste du tireur. C'est pourquoi nous avons choisi de modéliser le ballon comme un système mécanique, en négligeant les forces de frottement. Pour ce modèle, les paramètres d'entrée sont :

- la vitesse du ballon mesurée grâce à un radar à main Radargun (V_r),
- la position du ballon au moment du lâcher (X_0),
- et la destination du ballon dans le but (mesurée lors des expérimentations) (X_f).

Avec ces paramètres, il est possible de connaître la trajectoire du ballon à chaque instant :

$$\begin{cases} x=V_0^x t+x_0 \\ y=V_0^y t+y_0 \\ z=-\frac{1}{2}gt^2+V_0^z t+z_0 \end{cases} \quad (1)$$

où g est l'accélération de la gravité, et $X_0=(x_0, y_0, z_0)$. Le radar était placé dans la direction du tir et mesurait donc $\sqrt{(V_0^x)^2+(V_0^y)^2}$ alors que la balle suivant une trajectoire longue de $l=\sqrt{(x_f-x_0)^2+(y_f-y_0)^2}$ mètres dans le plan horizontal. Ainsi, le temps requis pour atteindre le but est de $\Delta t=\frac{l}{V_r}$. Si on considère $t=0$ au moment du lâcher, V_0^z est égal à :

$$V_0^z=\frac{z_f-z_0+\frac{1}{2}g\Delta t^2}{\Delta t} \quad (2)$$

Le modèle de ballon, ainsi que le module responsable de l'animation du tireur synthétique ont été embarqués dans la plate-forme Openmask [DCDK98]. OpenMask est une plate-forme logicielle qui permet des communications et des interactions entre des entités autonomes qui évoluent dans l'environnement virtuel. Le ballon et le tireur sont deux entités autonomes communicantes. Les paramètres initiaux du ballon sont donnés par le module de tireur au moment du lâcher. Avant cet instant, le module de tireur fournit la position de la main qui tient le ballon à ce dernier pour qu'il suive parfaitement cette même trajectoire.

5. Résultats

En résultat, nous présentons les comparaisons entre les mouvements du gardien face au tireur virtuel et face au tireur réel. Dans cette étude nous nous sommes intéressés à la qualité de l'animation du tireur virtuel. Pour cela, nous avons utilisé des données biomécaniques pour évaluer le comportement du gardien. Ainsi, nous avons choisi de nous intéresser au déplacement du centre de masse (CM) du bras du gardien dans les deux situations (réelle et virtuelle). Nous avons choisi le centre de masse du bras car dans les situations étudiées le gardien a paré les tirs avec le membre supérieur.

Pour comparer les trajectoires du CM du bras dans les deux situations, il nous faut tout d'abord normaliser le temps. Pour cela, nous avons choisi de prendre l'instant zéro à un événement particulier que l'on retrouve dans tous les tirs : l'instant où le gardien réagit au tir. Cet instant est calculé à partir du pic d'accélération du bras du gardien dans toutes les situations. Nous définissons une plage d'étude de $-0.3s$ à $+0.3s$ autour de ce pic.

Nous avons étudié 24 tirs divisés en trois catégories. Pour chaque tir, nous comparons les paramètres suivants pour le tir en situation d'origine (dans le réel) et dans la salle de réalité virtuelle :

- la position initiale du CM du bras,
- la position finale du CM du bras,
- son déplacement,
- la différence en pourcentage entre le déplacement face au tir virtuel et celui lié au tir réel,
- la corrélation point à point entre les deux trajectoires.

Pour l'ensemble des tirs étudiés, les trajectoires étaient identiques aussi bien du point de vue des valeurs que de la forme. Le tableau 1 présente les résultats liés à la trajectoire du CM du bras selon l'axe vertical. Ces valeurs sont obtenues pour le tir où les variations par rapport à la situation d'origine étaient les plus importantes. Ainsi nous pouvons dire que les variations les plus importantes sont de 11,9% et que le coefficient de corrélation le plus faible entre les deux courbes est de 0.96. Il semble important de souligner que lorsque l'on compare deux tirs réels considérés comme quasiment identiques, les variations sont de l'ordre de 20% et le coefficient de corrélation est nettement inférieur (de l'ordre de 0.9).

Mouvement	Position initial du bras (m)	Position finale du bras (m)	Déplacement (m)	Différence par rapport à l'action réelle (%)	R ²
Réelle	0.546	0.706	0.16	**	
Virtuelle 1	0.526	0.667	0.141	11.9	0.96
Virtuelle 2	0.519	0.668	0.149	6.9	0.98

Tableau 1 : Variations cinématique du CM du bras suivant l'axe vertical

6. Discussion

Dans cet article, nous avons présenté une expérimentation virtuelle mettant en jeu un gardien de but de handball réel immergé dans un stade de handball virtuel. Un joueur virtuel effectue une série de tirs que le gardien est censé arrêter, comme lors d'un match réel. Cette application implique que le gardien reconnaisse son environnement et réagisse de la même manière que lors d'un match réel. Plusieurs phénomènes peuvent dégrader la perception qu'a le sujet de son environnement. L'aspect géométrique semble jouer un rôle important puisqu'il intervient, semble-t-il [HOT98], sur la perception qu'a le sujet du mouvement synthétisé. Le calibrage de l'environnement virtuel joue lui-aussi un rôle important puisqu'il fait garantir que l'environnement soit correctement perçu. Nous nous sommes principalement intéressés aux animations produites pour l'environnement virtuel. En effet, un gardien de but est habitué à intercepter des tirs et réagit à des stimuli qui semblent plus liés aux mouvements du tireur qu'à celui du ballon. Ceci est spécialement vrai à haut niveau où les vitesses de balle sont tellement importantes que le temps séparant la perception d'un événement intervenant après le lâcher du ballon et la réaction est trop long. L'animation est donc un élément crucial pour assurer que le gardien se sente effectivement immergé dans le jeu virtuel.

La méthode de validation que nous avons mise en œuvre dans cet travail ne permet pas d'isoler la qualité du modèle d'animation. En effet, nous jugeons de la présence du sujet dans sa globalité : est-ce que le sujet réagit de la même manière dans le réel et dans une représentation virtuelle de la même scène ? La réponse donnée par cette expérimentation pilote est positive. Des travaux sont en cours pour reproduire ce travail sur un plus grand nombre de sujets. Comme nous pouvons conclure que la présence est vérifiée pour cette expérimentation, nous pouvons aussi conclure que l'animation (qui était un élément entrant dans cette expérimentation) est de qualité suffisante.

Cette animation est le produit d'une chaîne de traitements qui vont de la capture du mouvement à sa restitution sur un personnage synthétique de taille différente, en passant par une interpolation des points manquants, par un calcul des repères associés aux segments corporels et par une adaptation du mouvement à un squelette de taille différente. Lors de ces traitements, le mouvement capturé subit un certain nombre de dégradations et de modifications qui auraient pu altérer les réactions du gardien de but. Or, nos résultats tendent à montrer que ce n'est pas le cas. De futurs travaux sont à envisager pour juger de la sensibilité des gardiens aux modifications apportées aux mouvements. Ainsi, nous envisageons de définir un modèle cinématique et dynamique de tir au handball à partir des mesures déjà effectuées. Ce modèle permettrait d'obtenir des tirs proches de ceux capturés et de vérifier si les réactions des gardiens sont altérées.

Le fait que les gardiens de but réagissent positivement à ce type d'expérimentation ouvre un grand champ d'applications de la réalité virtuelle. Il est possible d'envisager des entraînements virtuels, de mener des expériences pour mieux cerner les paramètres pris en compte par le gardien pour réagir...

Remerciements

Ce travail a été soutenu par le Ministère des Sports, la Préparation Olympique et le Conseil Régional de Bretagne. Merci à Dominique Favotti pour son modèle géométrique de joueur de handball.

Références

- [ADHMT89] Arnaldi, B., Dumont, G., Hégron, G., Magnenat-Thalmann, N., Thalmann, D. *Animation control with dynamics*. Proceedings of Computer Animation'89, 113-123.(1989).
- [BBE97] Boulic R, P Becheiraz, L Emering, D Thalmann. *Integration of motion control techniques for virtual human an avatar real-time animation*. Actes de VRST '97 111-118 septembre 97 (1997)
- [BC96] Bruderlin, A., Calvert, T. *Knowledge-driven, interactive animation of human running*. In Proceedings of Graphics Interface'96, 213-221(1996).
- [BMT90] Boulic, R., Magnenat-Thalmann, N., Thalmann, D. *A Global human walking model with real-time kinematic personification*. The Visual Computer, 6(6), 344-358.(1990).
- [BRRP97] Bodenheimer, B., Rose, C., Rosenthal, S., Pella J. *The process of motion capture: dealing with the data*. Proceedings of Eurographics Workshop on Computer Animation and Simulation, 3-18.(1997).

- [CPNMT97] Capin, T., Pandzic, I., Noser, H., Magnemat-Thalmann, N., Thalmann, D. *Virtual Human Representation and Communication in VLNET Networked Virtual Environments*. IEEE Computer Graphics and Applications, Special Issue on Multimedia Highways, 17(2), 42-53, 1997.
- [D95] Dempster WT . *Space requirements of the seated operator*. WADC-TR-55-159. Wright-Patterson Air Force Base, Ohio (1995).
- [DCDK98] Donikian, S., Chauffaut, A., Duval, T., Kulpa. R. *GASP: from Modular Programming to Distributed Execution*. Computer Animation'98, IEEE, Philadelphie, USA, Juin.(1998).
- [G98] Gleicher M *Retargetting motion to new characters*. Actes de ACM siggraph 33-42 Juillet (1998)
- [GL98] Gleicher M, Litwinowicz *Lconstraint based motion adaptation* . Journal of Visualization and computer animation, 9 (2) 65-94(1998).
- [HH96] Huffman, K., Hubbard, M. *A motion based virtual reality training simulator for bobsled drivers*. The engineering of sport, 195-203, Balkema Rotterdam, July (1996).
- [HOT98] Hodgins, J., O'Brien, J. , Tumblin, J. *Perception of human motion with geometric models*. IEEE Transaction on Visualisation and Computer Graphics, Vol 4, No. 4, 307-316 (1998).
- [HWBO95] Hodgins, J., Wooten, W., Brogan, D., O'Brien, J. *Animating human athletics*. In Proceedings of ACM SIGGRAPH, 71-78.(1995).
- [M03] Ménardais *Fusion et adaptation temps réel de mouvements acquis pour l'animation d'humanoïdes synthétiques*. Thèse de l'Université de Rennes 1, janvier 2003 (à paraître).
- [MAC99] Molet, T., Aubel, A ., Capin, T., Carion, S., Lee, E., Magnemat-Thalmann, N., Noser, H., Pandzic, I., Sannier, G., Thalmann, D. *Anyone for tennis?* Presence, MIT, Vol. 8, No. 2, 140-156 (1999).
- [MBT96] Molet, T., Boulic, R., Thalmann, D. *A real-time anatomical converter for human motion capture*. Eurographics Workshop on Computer Animation and Simulation, 79-94, september(1996).
- [MM00] Metoyer, R., Hodgins, J. *Animating athletic motion planning by example*. Proceeding of graphics interface 2000, Montreal, Canada, 61-68, May 15-17 (2000).
- [MM01] Menardais S, Multon F *Amélioration des trajectoires acquises par des systèmes optiques pour l'animation de personnages synthétiques*. Revue internationale de CFAO, 99-113, 2001.
- [MNH99] Multon, F., Nougaret, JL., Hegron, G., Millet, L., Arnaldi, B. *A software toolbox to carry-out virtual experiments on human motion*. Computer Animation, Genève, 16-23, May 1(1999).
- [NPCM96] Noser, H., Pandzic, I., Capin, T., Magnemat-Thalmann, N., Thalmann, D. *Playing Games through the Virtual Life Network*. ALIFE V, Oral Presentation , Nara, Japan, 114-121(1996).
- [SVK01] Mj, Schuemie, P Van der Straaten, M Krijin, C Van Der Mast. *Research on presence in Vr: a survey*. cyberpsychology and behavior. 4(2), 183-202 (2001).
- [T.96] Thalmann. D. *A new generation of synthetic actors: the Interactive Perceptive Actors*. Proceedings of Pacific Graphics'96, Taipei, Taiwan, 200-219 (1996).
- [UAT95] Unuma, M., Anjyo, K., Takeuchi, R. *Fourier principles for emotion-based human-figure animation*. Proceedings of ACM SIGGRAPH, 91-96 .(1995).
- [W79] Winter, D. *A new definition of mechanical work done in human movement*. Journal of applied physiology, 46(1), 78-83 (1979).

- [WK88] Witkin, A., Kass, M. *Spacetime constraints*. Proceedings of ACM SIGGRAPH, Atlanta, Georgia, 159-168 (1988).
- [WP95] Witkin, A., Popovic, Z. *Motion warping*. Proceedings of ACM SIGGRAPH, 105-108.(1995).
- [Z82] Zeltzer, D. *Motor control techniques for figure animation*. IEEE Computer Graphics and Applications. 2(9), 53-59.(1982).