



HAL
open science

Traversées des frontières

Georges Gagneré, Cédric Plessiet

► **To cite this version:**

Georges Gagneré, Cédric Plessiet. Traversées des frontières. Hakim Hachour; Nasreddine Bouhai; Imad Saleh. Frontières numériques et artéfacts, L'Harmattan, 2015, 978-2-343-07623-2. hal-04025004

HAL Id: hal-04025004

<https://univ-paris8.hal.science/hal-04025004>

Submitted on 11 Mar 2023

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 - NoDerivatives 4.0 International License

Traversées des frontières

Georges Gagneré* — **Cédric Plessiet****

* EA1573 « Scènes du monde, création, savoirs critiques », Université Paris 8
2 rue de la liberté Saint Denis 93526 Saint-Denis

{georges, gagnere}@univ-paris8.fr

** EA 4010 INREV, Université Paris 8
2 rue de la liberté Saint Denis 93526 Saint-Denis

{cedric, plessiet}@univ-paris8.fr

RÉSUMÉ. Nous présentons une plate-forme d'immersion virtuelle permettant à des comédiens d'interagir avec des avatars dans plusieurs dispositifs. Ces dispositifs mettent en évidence les frontières entre le corps physique du comédien, celui de l'avatar qu'il incarne et des avatars qu'il rencontre, ainsi que celles entre les espaces scéniques physique et immersif. Leurs traversées invitent à l'appropriation de nouveaux enjeux de création et de dialogue entre créateurs.

ABSTRACT. We introduce a immersive virtual platform allowing physical actors to interact with avatars in two specific setups. These setups bring forwards frontiers between comedian's physical body, the bodies of the avatars that he plays and he encounters, and also between physical and virtual sets. Their crossings invite to discover new performing and theatrical writing issues.

MOTS-CLÉS : interactions entre comédiens et avatars, scénographiques hybrides, théâtre, arts numérique, échanges créatifs inter disciplinaires

KEYWORDS: avatars, human-computer interfaces, interaction design, mixed reality, performing arts

1. Introduction

Le théâtre délimite pendant la représentation une séparation entre la scène et la salle, avec d'un côté des comédiens qui jouent et de l'autre des spectateurs qui regardent et écoutent. Par ailleurs, le comédien doit habiter un ou plusieurs personnages pour participer à la représentation. Ce processus de jeu théâtral a fait l'objet d'innombrables analyses et reste encore assez mystérieux et empirique (Dusigne 2015). Ces deux paradigmes sont aujourd'hui réinterrogés par de nouvelles pratiques récréatives et culturelles, dont le jeu vidéo offre le meilleur exemple : un nouveau rapport s'instaure entre le joueur et une scène virtuelle, à laquelle il accède par le truchement d'un avatar (Amato, Perény 2013). Cette scène virtuelle a désormais atteint une qualité de présence rivalisant avec la réalité physique grâce à des procédés qui permettent d'immerger les acteurs-spectateurs dans l'image (Bourassa, Poissant 2013). Par ailleurs, on constate l'émergence d'écritures scéniques utilisant des moyens numériques, au cœur des processus d'écriture et de réalisation, qui ouvrent de nouvelles pistes de recherche-crédation (Dixon 2007, Salter 2010).

L'émergence de la réalité virtuelle et des avatars transforme donc la relation du spectateur et des comédiens à la représentation théâtrale, brouillant les frontières entre scène et salle, et entre personnage et comédien. Ce dernier est notamment amené à dialoguer avec des avatars dont l'autonomie troublante bouscule les fondements de sa propre activité (Fourmentaux 2011). De nouveaux dispositifs d'immersion des spectateurs sont explorés dans des laboratoires ou des entreprises explorant des formes d'interactions recourant à l'intelligence artificielle et aux dernières avancées cognitives en vue d'amplifier les sensations des utilisateurs (Klimmt 2012). Cependant, un travail important d'intégration technologique semble encore à réaliser pour fabriquer des dispositifs grand public et réaliser des contenus créatifs stimulants.

C'est dans ce contexte que nous présentons ici une expérimentation en cours menée à l'université Paris 8 par les départements Théâtre et Arts et Technologies de l'Image de l'UFR Arts, et qui concerne la relation du comédien à l'avatar numérique, et du comédien et du spectateur à l'espace scénique. Après avoir présenté les outils numériques utilisés, nous décrirons le processus d'habitation d'un avatar par un comédien sous l'angle du franchissement expressif de la frontière corporelle physique du comédien à celle virtuelle de l'avatar. A notre connaissance, la problématique de direction d'avatar, au sens où on parle de direction d'acteur dans le champ théâtral, n'a encore jamais été abordée. Nous exposerons les enjeux d'un dialogue, nécessaire pour stimuler la création, entre des disciplines artistiques numérique et théâtrale qui portent des regards différents sur des matériaux partagés. Nous nous inscrivons par ailleurs en complémentarité d'expériences menées sur l'expressivité faciale dans le dialogue théâtral (Barbulescu et al. 2014) en privilégiant l'expression corporelle globale et le rapport à l'espace. Nous aborderons ainsi les modalités de la relation entre avatars et comédiens, sous l'angle

scénographique, en décrivant un dispositif qui permet d'expérimenter la traversée de l'espace physique partagé par le comédien, le metteur en scène et les spectateurs vers l'espace virtuel de l'avatar.

Il s'agit ici de décrire une appropriation théâtrale des enjeux d'hybridation avec de nouveaux espaces de création numérique. Notre objectif est de trouver des points de passage au travers de cette frontière numérique trop souvent perçue comme infranchissable pour l'incarnation humaine. Nous prolongeons en cela les réflexions concernant la frontière entre l'humain et son au-delà qui fait l'objet de questionnements artistiques en écho aux profondes mutations sociétales en cours (Moindrot, Shin 2013).

2. Présentation de l'architecture logicielle et des briques existantes

Nous avons construit une bibliothèque de développement, baptisée AKeNe, autour de moteurs temps réel 3D de jeux vidéos (Ogre, Unity, Unreal Engine). Cette bibliothèque dispose d'outils pour la programmation d'intelligence artificielle pour le jeu vidéo (automate à états finis, arbre de décisions, arbre de comportements, logique floue, réseau de neurones), et la gestion de périphériques de réalité virtuelle (Kinect, dispositif de capture de mouvements Optitrack, reconnaissance vocale...) (Becheiraz, Thalmann 1996). Elle est dotée d'une architecture modulaire permettant de prototyper rapidement des dispositifs interactifs.

AKeNe organise l'ensemble des différentes frontières entre le moteur 3D et les Software Development Kits (SDK) tiers en créant des passerelles garantissant le fonctionnement global (Gamma et al. 1994). Ainsi, le changement ou l'ajout de moteurs ou de périphériques équivaut à une simple modification des passerelles (cf. figure 1). Cette fluidification des communications numériques ne sera pas plus longuement développée dans l'article présent qui se concentre sur une mise en œuvre par des praticiens de théâtre. Elle constitue pourtant un préalable fondamental, et trop souvent sous-estimé, à la relation comédien physique / avatar numérique que nous allons présenter.

Par ailleurs, l'architecture d'AKeNe facilite la mise en connexion par réseau de modules distribués sur différents ordinateurs. Cet aspect nous permet de pouvoir utiliser sur un même projet un grand nombre de périphériques répartis sur plusieurs ordinateurs. Il s'agit d'une architecture Peer To Peer où chaque ordinateur est à la fois serveur et client. Un ordinateur ne s'occupe donc que de son propre affichage, mais il communique les paramètres de ses modules AKeNe aux ordinateurs auxquels il est relié. Le protocole utilisé est pour l'instant relativement sommaire et ne nous permet pas encore de transférer de gros volumes d'informations (comme un flux vidéo par exemple), mais il est adapté pour envoyer des informations captées par les périphériques présents dans le système.

Nous disposons ainsi d'une structure évolutive et adaptable à différentes problématiques. Cela a permis le prototypage rapide et réactif d'espaces d'échanges théâtraux physique/virtuel dans le cadre de cours de licence donnés au département

d'études théâtrales de l'université Paris 8 en 2013-14 et 2014-15 et à l'occasion d'un atelier-laboratoire Idefi-Creatic intitulé « Du geste capté au geste d'interactivité numérique » organisé par le département Arts et Technologie de l'Image de l'université Paris 8 en janvier 2015. Cet atelier laboratoire a notamment permis l'échange créatif entre cinq artistes numériques, un réalisateur sonore, deux comédiens et un metteur en scène.

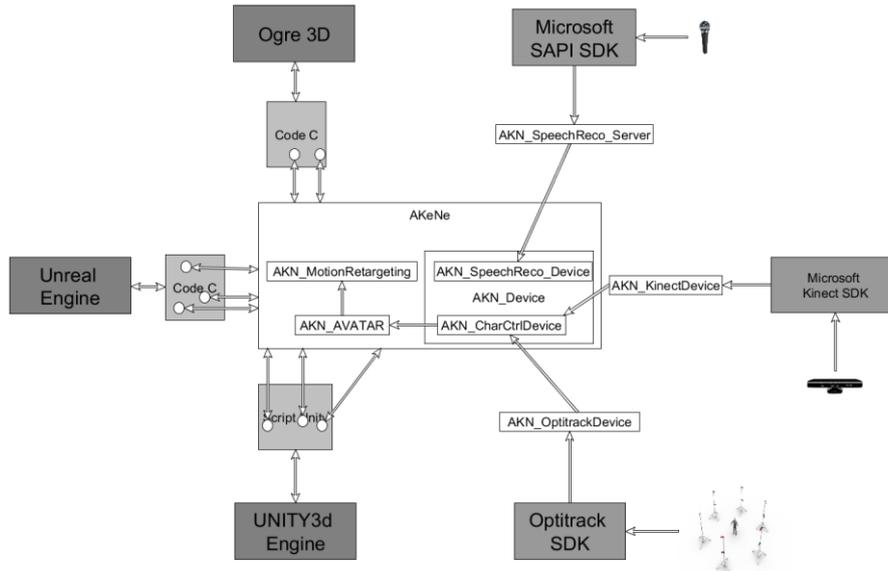


Figure 1. Structure de la bibliothèque AKeNe

3. Une reconstruction de la frontière du corps humain

Dans le cadre d'une expérience d'interaction entre un comédien et un avatar, la première chose à décrire au comédien est le moyen par lequel nous allons pouvoir utiliser des informations produites par son corps physique afin de mettre en mouvement le corps d'un avatar dans un monde virtuel. Il s'agit donc en quelque sorte de reconstruire une frontière qui semble « naturelle » et incontournable à chaque humain, la frontière qui le sépare de ce qui n'est pas lui.

Nous avons pour le moment utilisé deux méthodes basées sur des techniques différentes et qui supposent deux comportements différents de la part du comédien. Nous commencerons par décrire le processus de capture de mouvements, mis en place dans notre cas avec un dispositif Optitrack, puis celui correspondant à la Kinect, développé par Microsoft pour sa console de jeu Xbox.

3. 1. L'utilisation du dispositif de capture de mouvement Optitrack

Avec l'Optitrack, le comédien revêt une combinaison qui doit lui coller au corps, afin de suivre le plus précisément possible les mouvements de ses membres (cf. figure 2). La combinaison est constituée d'une matière particulière qui permet la fixation de scratchs sur lesquels sont fixés des petits capteurs sphériques réactifs à la lumière infrarouge. Ces capteurs doivent être posés d'une manière asymétrique sur les parties « solides » du corps du comédien afin de capturer ce que l'on appelle son « corps rigide ». Ce corps rigide correspond à des points d'articulation qui permettent de recalculer précisément la conformation du corps humain. On ne placera donc pas de capteurs sur un ventre, une poitrine ou bien encore une omoplate. Les cheveux du comédien sont bloqués par une casquette qui comporte aussi plusieurs capteurs sur sa surface extérieure. Nous expliquons ainsi au comédien que nous ne prendrons pas en compte l'intégralité de la frontière naturelle que dessine son corps dans l'espace, mais une frontière schématique constituée de 34 marqueurs en mouvement dans l'espace (soit 13 corps rigides : tête, torse, hanche, ainsi que bras, mains, cuisses, mollets et pieds droit/gauche). Ce processus de transfert d'enveloppe peut faire penser aux situations où l'on demande à un comédien de porter une prothèse sur le visage ou sur le corps, ou bien de porter un masque. Il s'agit de mettre en avant des points corporels qui serviront de base à l'utilisation expressive du corps. Il faut noter une grande curiosité chez les comédiens de pouvoir matérialiser la structure de leur corps, qui constitue un de leurs outils expressifs principaux.

Le dispositif de capture de mouvements fonctionne avec des caméras infrarouges disposées à différentes hauteurs autour d'une aire de jeu, que nous avons eu besoin de délimiter par un tapis pour éviter des réflexions lumineuses sur le sol brillant du studio de théâtre de Paris 8 où nous avons travaillé. Ces caméras émettent un rayonnement infrarouge qui se reflète sur les petits capteurs sphériques, puis est capté par la caméra et envoyé à un ordinateur par un câble usb. Toutes les caméras sont aussi reliées en série à l'ordinateur par un câble de synchronisation. L'ensemble du système doit être ensuite précisément calibré et tout rayonnement parasite autour d'un espace central délimité par la surface du tapis doit être éliminé. Nous informons le comédien de cette frontière physique de son espace de jeu dans lequel la frontière schématisée de son corps sera visible de manière pertinente par le système de capture. Bien entendu, cet espace de jeu ne doit pas être perturbé par des traversées de personne portant des marques susceptibles d'être repérées par les caméras infrarouges. La disposition circulaire des caméras et leur synchronisation permettent au logiciel associé de suivre précisément l'évolution des 34 marqueurs, même si le comédien fait des tours sur lui-même. Le comédien est libre de ses mouvements dans la zone de jeu. Toutefois les mouvements au sol ne sont pas conseillés par rapport à la présence d'objets en relief sur la combinaison.

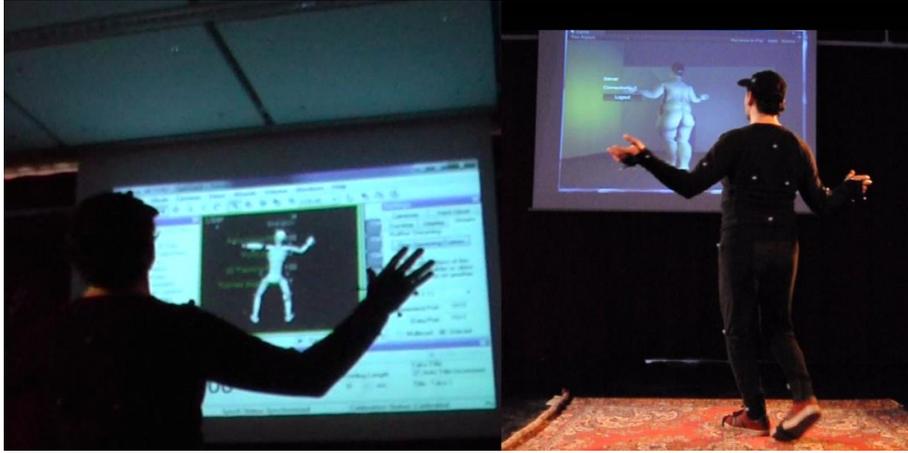


Figure 2. *Appropriation de la marionnette et de l'avatar. Crédits : G. Gagneré.*

3. 2. *L'utilisation de la Kinect*

Nous allons maintenant décrire les différences qui caractérisent l'utilisation d'une Kinect à la place d'un dispositif Optitrack pour repérer les données de mouvement du comédien. La Kinect rassemble une caméra de profondeur et une caméra plus classique de type webcam dans un même boîtier que nous avons placé à une quinzaine de centimètres en hauteur devant la zone de jeu du comédien. Cette zone, située environ un mètre devant le boîtier, correspond à un trapèze au sol dont le plus petit côté, proche de la caméra, mesure 1,5 m et le plus grand, éloigné, 5 m, avec une hauteur d'environ 3-4 m. Grâce à l'envoi d'un faisceau de rayons infrarouges, une caméra infrarouge capte une carte de profondeur des objets dans son champ de vision : cette carte représente des nuances de gris permettant de repérer la plus ou moins grande proximité des objets. La webcam permet de capturer une carte des couleurs des objets. Ainsi, il est possible de représenter en relief la partie avant du comédien située en face de la caméra. La partie arrière n'est pas vue par la caméra contrairement au dispositif Optitrack. Les informations en couleurs de cette moitié visible peuvent être ajoutées à une représentation 3D du corps. Il s'avère cependant que cette représentation n'est pas très commode pour prendre la mesure des potentialités expressives du corps d'un comédien dans le champ de la Kinect. Nous lui avons substitué une représentation d'un « squelette » reconstituant les principales articulations en mouvement (poignet, coude, épaule, tête, bassin, genoux, pied), calculé directement par la Kinect à partir du moment où la personne devant le boîtier forme un T avec son corps vertical et ses deux bras étendus de part et d'autre à l'horizontale. Ce squelette est calculé statistiquement à partir de l'enveloppe corporelle captée par la caméra, alors qu'il correspondait à des points précis du corps du comédien dans le dispositif Optitrack.

3. 3. Appropriation d'une première frontière spatio-dynamique

En comparant les deux systèmes, nous pouvons mettre en évidence une frontière spatiale et dynamique qui correspond à la délimitation dans l'espace d'une aire de jeu pertinente et d'une nature des mouvements possibles (par exemple rotation du corps possible ou non). Cette frontière spécifique à chaque système contraint les modalités de jeu du comédien. Elle évolue en fonction des avancées technologiques des systèmes de captation proposés. Par exemple, le système Optitrak offre une plus grande liberté de mouvement, mais il était limité à la captation d'une seule personne, alors que le système Kinect pouvait reconnaître plusieurs personnes (ce que nous n'avons cependant pas utilisé dans nos expérimentations). Nous nous sommes efforcés de rendre perceptible cette frontière invisible, comme lorsque sur un plateau de théâtre le régisseur pose des marques pour aider les comédiens à se repérer.

Nous avons constaté que le passage d'un système à l'autre constituait un bon exercice d'appropriation de cette frontière spatio-dynamique lorsqu'il s'agissait d'obtenir des contrôles similaires de l'avatar marionnette. Traverser cette frontière, c'est-à-dire l'intégrer comme une contrainte d'expressivité corporelle, constitue un préalable incontournable à la pratique artistique créative. On constate aussi que les systèmes de captation sont très sensibles à l'environnement global de jeu (luminosité, passage de personnes, éléments de décor) et que cela affecte directement la nature, voir l'existence de cette frontière de jeu.

4. Appropriations de la frontière corporelle numérique de l'acteur

Après avoir mis en route le système, calibré les caméras, revêtu la combinaison et placé les capteurs, ou bien encore après avoir formé un T devant la Kinect pour être reconnu, le comédien peut enfin évoluer dans l'espace de jeu et piloter un squelette virtuel. Se pose alors la question de la visibilité de la frontière numérique dessinée par le nuage de capteurs posés sur son corps, en ce qui concerne par exemple le dispositif Optitrack, dans lequel nous nous situerons pour la suite de notre réflexion.

4. 1. Mise en évidence d'une seconde frontière corporelle

L'ensemble des données corporelles captées du comédien est généralement visualisé par l'artiste numérique à partir des interfaces de contrôle des systèmes choisis. Mais dans un processus de capture de mouvements, il est habituellement demandé à un comédien de faire des mouvements spécifiques, qui sont enregistrés pour être utilisés ultérieurement dans une animation virtuelle (après diverses opérations d'affinement), sans partager nécessairement avec lui la nature des informations collectées. Or celle-ci peut être très différente d'un système à l'autre, ou bien selon les conditions de captation. Dans nos expérimentations, nous avons ainsi décidé de formaliser un accès à la frontière corporelle numérique issue des données

captées. Nous avons utilisé des interfaces standards de visualisation lorsqu'elles étaient fournies par les systèmes et nous en avons aussi créées directement à partir des données brutes des capteurs. Selon la puissance de calcul des ordinateurs, les choix sur le traitement des données peuvent avoir d'importantes conséquences sur le rendu temps réel de cette frontière corporelle numérique. Cela concerne notamment la fluidité et la rapidité des mouvements, les degrés de liberté des rotations des membres (par exemple prendre en compte la rotation des extrémités des membres), ou bien d'autres informations calculables sur le corps numérique comme son extension dans l'espace, son centre de gravité, sa quantité de mouvement, etc.

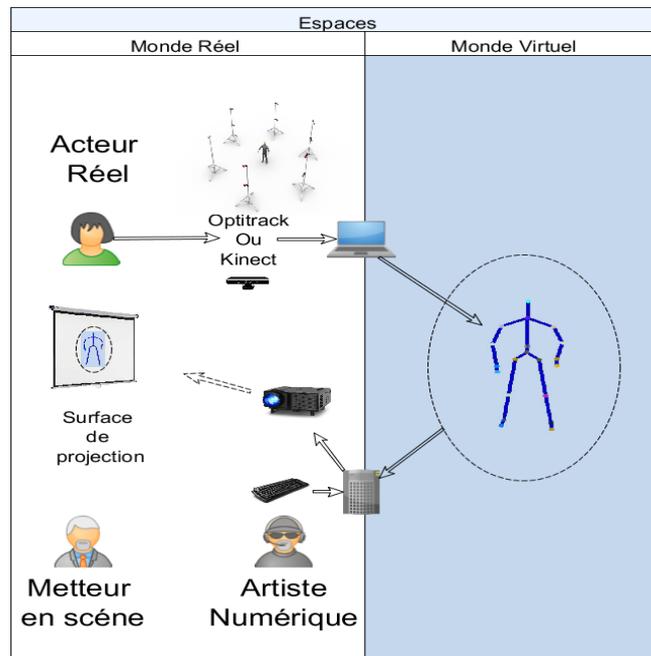


Figure 3. *Le dispositif d'appropriation du contrôle de l'avatar.*

L'artiste numérique est donc sollicité pour construire un outil de dialogue avec ses partenaires de création, le comédien et le metteur en scène, afin de leur donner les moyens de comprendre ce qui va finalement permettre d'habiter en temps réel le corps d'un avatar (cf. figure 3). Au lieu d'échanger informellement et subrepticement en tournant le moniteur de contrôle des logiciels de captation vers l'acteur, ou en lui demandant de se tordre le cou pour le regarder du coin de l'œil, nous avons inscrit dans le dispositif d'expérimentation un écran de visualisation des représentations possibles de la frontière numérique de l'acteur, facilement accessible à tous, y compris aux spectateurs éventuels. Le metteur en scène et le comédien peuvent donc maintenir en parallèle une attention à l'environnement numérique et au processus de jeu physique. C'est une première tentative, sur laquelle nous reviendrons, de combler

la frontière qui situerait d'un côté les opérateurs d'un système numérique, et de l'autre, les producteurs de données physiques (cf. figure 2 image gauche).

4. 2. Variété des points de vue

La frontière entre la production des données de mouvement et leur traduction dans le système informatique est ainsi traversée par trois points de vue qui se l'approprient de différentes manières. Le comédien découvre tout d'abord la magie de piloter la marionnette blanche en volume qui le représente de manière schématique dans le système Optitrack. Il s'agit véritablement d'une manipulation à distance sans correspondance particulière entre le corps du comédien et l'espace de visualisation, si ce n'est que les mouvements réalisés en absolu par le comédien sont reproduits fidèlement sur la marionnette.

Le metteur en scène voit s'animer une marionnette, mais il peut regarder alternativement le corps du comédien et l'image de la marionnette pour mesurer la correspondance entre les actions. Il compare l'expressivité du rendu des deux mouvements, alors que le comédien assiste à une représentation de ses mouvements qu'il ne peut comparer qu'à une perception sensorielle intérieure. Il y a d'ailleurs une différence sensible entre les mouvements d'un comédien face à la marionnette issue de la capture de mouvements et ceux face à une captation vidéo en direct par une simple caméra. D'emblée, l'exploration du corps se fait dans les trois dimensions spatiales et non pas seulement en termes d'apparence frontale. Le comédien explore les possibilités d'articuler la marionnette, qui n'existent tout simplement pas avec une caméra traditionnelle transmettant une image en deux dimensions.

Enfin, l'artiste numérique vérifie la cohérence de la transmission des données résultant d'une bonne calibration des caméras, d'un bon placement des capteurs, et du respect de la zone de jeu par le comédien. Il se familiarise avec les potentialités de manipulation expressive du corps numérique du comédien.

Bien sûr, il y a parfois des « bugs » qui surgissent : par exemple, à mesure que le comédien s'enhardit, il propose des configurations corporelles qui masquent certains capteurs ou bien atteint les limites de l'espace de jeu, ce qui fait « décrocher le système ». Certains membres de la marionnette semblent alors animés des symptômes que les techniciens de capture de mouvements ont surnommé « danse de St-Guy ». Le trouble qui en résulte est alors partagé de manières différentes par les trois protagonistes : le comédien éprouve une gêne liée à la dissociation entre les mouvements de la marionnette et ses intentions, le metteur en scène est intrigué par les potentialités expressives qui émergent, et l'artiste numérique s'inquiète d'une instabilité de ses futures données de création. L'enveloppe extérieure de la marionnette, frontière visible des données transmises par le comédien, est l'objet d'investissements cognitifs différents qui reflètent les différents points de vue des participants au processus d'expérimentation. La réflexion menée ici à partir de l'Optitrak s'applique intégralement à la frontière numérique obtenue avec le dispositif Kinect.

4. 3. Une traversée envisageable des frontières disciplinaires ?

La variété des appropriations du corps numérique de l'acteur est le reflet de pratiques créatives différentes. Elle n'est pas spécifique à la relation arts numériques/spectacle vivant. Le théâtre est notamment rendu possible par le travail complémentaire de corps de métier très différents qui construisent ensemble la représentation : dramaturge, comédien, metteur en scène, scénographe, éclairagiste, réalisateur sonore, régisseur, producteur, etc. Chaque pratique possède son langage et ses usages, mais une fusion s'opère sur le plateau scénique, autour de la figure du comédien.

L'écran de contrôle du corps numérique que nous proposons constitue, dans notre approche, une extension numérique du plateau scénique, sur laquelle doit se jouer un dialogue entre disciplines différentes. La nécessité de ce dialogue est souvent sous-estimée, conduisant à une méprise sur l'apport réciproque de l'artiste numérique et du comédien au processus créatif. L'artiste numérique n'est pas seulement un technicien spécialisé dans le traitement d'information et la manipulation des ordinateurs, et réciproquement, le comédien n'est pas un simple cobaye qui produit de la donnée organique. Nous avons ainsi constaté qu'une condition fondamentale de la réussite de nos expérimentations résidait dans l'attention constante que nous prêtions à faciliter la traversée d'une discipline à l'autre. Si l'invention d'un langage commun générique est probablement utopique, la construction empirique de passerelles d'un monde à l'autre matérialise un climat propice à la créativité.

A partir du moment où les informations de position du comédien dans l'espace réel sont correctement transmises pour animer un corps numérique, il faut ensuite les organiser dans un monde virtuel. Pour ce faire, les informations sont envoyées sur le réseau et récupérées sur un ordinateur équipé du logiciel Unity, qui va nous permettre de superposer l'enveloppe d'un avatar à la frontière corporelle numérique du comédien, et de construire un environnement virtuel dans lequel l'avatar pourra évoluer.

5. Les transformations corporelles de l'avatar

Nous abordons maintenant le jeu du comédien avec une enveloppe avatariale qui recouvre le corps numérique construit grâce aux informations transmises par l'Optitrack ou la Kinect.

5. 1. Une fluctuation continue des frontières

Nous avons proposé au comédien de jouer avec un avatar très corpulent afin de lui faire prendre conscience des opérations nécessaires de conversion appelées « motion-retargeting » (cf. figure 2 image à droite). Il faut en effet faire correspondre le squelette du corps numérique du comédien au squelette de l'avatar corpulent : par exemple, lorsque le comédien et son squelette numérique ont les bras

le long du corps, la position correspondante des bras au repos du squelette de l'avatar corpulent sera plus écartée à cause du volume important des bras. Cette opération de motion-retargeting construit une nouvelle frontière avatariale, que le comédien a commencé à manipuler en travaillant sur l'écran de visualisation partagé (introduit en 4. 1.). On constate alors que le comédien retravaille directement sur son propre schéma corporel pour jouer sur l'expressivité de l'avatar. On appellera ici « schéma corporel », la représentation intérieure que le comédien se fait de son propre corps. A partir du moment où la frontière de son corps numérique est assimilée et traversée sans difficulté, le comédien retravaille la nouvelle frontière qui lui est proposée avec l'avatar corpulent, en accentuant ou en diminuant les effets du motion-retargeting, grâce à une modification de son propre schéma corporel. Il va par exemple alourdir sa démarche, ou bien élargir encore plus les bras pour accentuer la maladresse apparente du personnage.

On constate ainsi dans l'expérimentation du comédien une sorte d'opération de rétro-motion-retargeting qui consiste à transformer, en jouant sur son schéma corporel, les conversions informatiques supposées lui faciliter l'appropriation du personnage en lui permettant de garder ses gestes « naturels ». Cette opération a essentiellement une finalité heuristique, dans le sens où elle permet à l'acteur de trouver des postures artistiquement pertinentes dans les actions scéniques qu'il ébauche à distance dans l'espace virtuel (Perény, Amato, 2010). Par ailleurs, nous nous sommes aperçus que le comédien réussissait aussi à corriger de légères déformations liées au dispositif de captation, notamment des défauts de perspective liés à l'utilisation de la Kinect. Du corps du comédien à celui de l'avatar, les frontières que nous avons décrites sont donc l'objet d'ajustements continus du comédien en dialogue avec les propositions visuelles de l'artiste numérique sous le regard du metteur en scène. Cette récursivité n'est pas facile à formaliser, mais elle est la clef qui permet l'appropriation de nouvelles sensations corporelles et visuelles des participants à la performance collective.

5. 2. De l'écran de visualisation à l'écran-frontière

L'écran de visualisation partagé est un outil de travail pour comprendre et contrôler son avatar. Il nous est cependant apparu nécessaire de construire un espace scénographique plus élaboré pour enrichir le jeu du comédien avec son avatar. Nous avons alors reconstitué une situation de confrontation à un miroir. Le comédien faisait face à un écran sur lequel était rétroprojeté l'avatar dans un décor comme un reflet de lui-même (cf. figure 5). Une Kinect au pied de l'écran permettait de capter son corps numérique qui était ensuite recouvert par un avatar. La confrontation s'est d'abord réalisée directement, sans casque de réalité virtuelle. Dans ce contexte, le metteur en scène ou le spectateur assiste à un travail d'appropriation de son nouveau corps par le comédien. L'écran représente une transformation de l'espace réel : il remplace le corps physique de l'acteur par l'avatar.

Nous avons ensuite imaginé que l'avatar pouvait devenir autonome. Et pour cela, nous avons demandé à un second comédien de jouer derrière l'écran dans un

dispositif de captation Kinect similaire. Pour des raisons pratiques, ne possédant pas un deuxième écran qui nous aurait permis de dédoubler de part et d'autre de manière autonome les projections, nous avons basculé dans un dispositif immersif. Mais poursuivons un moment l'analyse théorique de la situation scénographique qui aurait alors été la nôtre (et qui fera l'objet de prochains chantiers d'expérimentation). Chaque comédien aurait fait face à un écran représentant en perspective une réalité virtuelle habitée par un avatar autonome. En se positionnant correctement, le metteur en scène ou les spectateurs auraient pu alors partager l'illusion d'un face à face entre le comédien et un avatar « vivant ». L'écran de projection serait devenu dans ce cas une frontière entre deux réalités, physique et numérique, une sorte de filtre transformant la réalité physique derrière l'écran en réalité augmentée. Il y a bien un comédien qui joue derrière l'écran, mais on n'en voit que l'augmentation numérique sous la forme d'un avatar.

On pourrait utiliser une représentation en relief 3D pour augmenter l'immersion du comédien et des spectateurs dans la réalité augmentée, mais de nombreux problèmes de distance et de perspective se poseraient. Une autre solution consiste à doter chaque participant d'un casque de réalité virtuelle, en reconstruisant à chaque fois le point de vue adéquat. Nous l'avons partiellement mise en œuvre en nous limitant à deux casques pour chacun des comédiens (cf. supra). De la situation d'un face à face physique des deux comédiens, à celle d'un face à face de leurs avatars contrôlés en temps réel, techniquement très lourde à mettre en place, on peut ainsi imaginer une situation intermédiaire qui rend concrète la notion de traversée vers le virtuel. Dans la situation de l'écran-frontière, on représente l'augmentation numérique de la réalité physique d'un comédien derrière l'écran, proposant ainsi au spectateur une « réalité hybride » composée de physique (l'acteur devant l'écran) et de numérique (l'avatar dans l'écran). On est alors tenté de traverser les frontières de cette réalité hybride par l'immersion, ce que nous avons réalisé pour les comédiens.

6. Ajustement des conditions pour traverser la frontière du virtuel

La traversée de l'écran-frontière s'est réalisée dans un premier temps sous forme d'exercices en vue d'acclimater le comédien à l'habitation d'une réalité virtuelle. Le processus d'immersion que nous avons choisi consiste à demander au comédien de placer sur sa tête un casque de vision en relief (HMD, pour Head Mounted Display) Oculus Rift (2ème génération) et de rendre dans le casque HMD avec le logiciel Unity le point de vue d'une caméra placée au niveau de la tête du squelette reconstitué par la Kinect (cf. figure 4). Une première approche avait conduit les artistes numériques à proposer au comédien de générer lui-même l'espace virtuel en produisant des traces avec les extrémités de son corps numérique. L'idée était d'être invisible dans l'espace virtuel et d'interagir radicalement avec celui-ci en le produisant par ses propres mouvements.

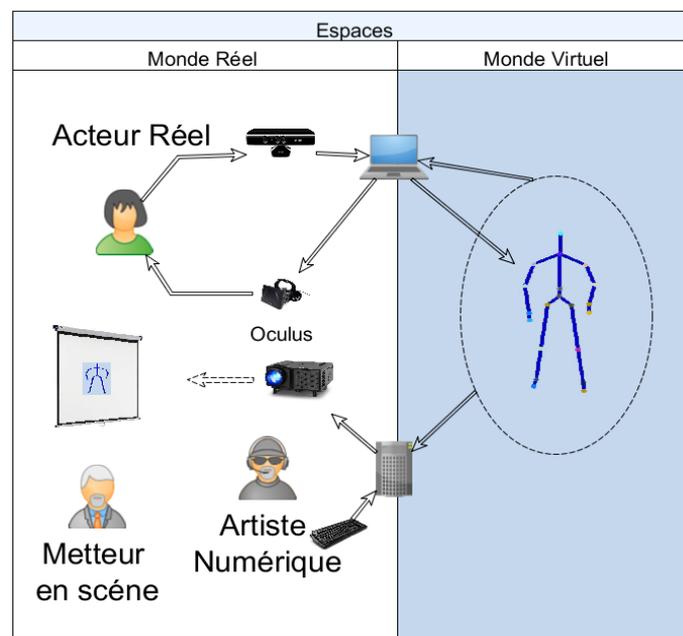


Figure 4. *Le premier dispositif d'immersion.*

6. 1. La nécessité d'une frontière pour fonder une présence

La mise en place de cette proposition d'avatar invisible générant l'espace virtuel a permis alors de constater l'impossibilité pour le comédien de travailler dans l'espace proposé. Sans corps, la production des traces dans l'espace ne suffisait pas pour donner un ancrage à la sensation d'existence du comédien dans l'espace virtuel. Cela fait écho aux réflexions du neuroscientifique Antonio Damasio (2003) qui relie la construction de la conscience de soi à l'existence physique du corps humain citant le cas extrême d'une patiente qui avait perdu la conscience de soi consécutivement à la perte totale de perception de son corps physique. L'expérience permet aussi de nourrir des réflexions sur l'avatar comme enveloppe pilotable (Lucas, Amato, 2013). Si la simple existence d'une caméra donnant un point de vue sans corps sur un espace virtuel ne semble pas suffire à donner un appui de jeu au comédien, en revanche le travail de pilotage d'une enveloppe avatariale nécessite bien la coordination entre une « corporéité percevante » et une « corporéité agissante ».

Il faut donc dessiner une frontière « stable » au corps virtuel de l'avatar pour permettre à l'acteur d'exister dans l'espace virtuel. Une nouvelle proposition a consisté à reconstruire deux avatars à partir des informations de la Kinect avec d'un côté des cubes blancs pouvant évoquer de la glace, et de l'autre des formes cubiques

aux angles arrondis, de la couleur du feu (cf. figure 7). Pour concrétiser la densité du corps, les cubes de la partie supérieure du corps étaient reliés aux pieds de l'avatar. Le résultat permettait de reconnaître un corps en mouvement tout en offrant une abstraction de la représentation sollicitant l'imaginaire dans la phase d'appropriation. Ces nouveaux avatars ont été facilement adoptés par les comédiens, à l'exception d'une gêne qui nous a permis de prendre conscience que la traversée de la frontière entre le physique et le virtuel devait respecter des ajustements indispensables au confort cognitif du comédien.

6. 2. La qualité de perception de l'avatar



Figure 5. *Appropriation de l'avatar de glace. Crédits : A. Papathanasiou*

Passés les premiers effets vertigineux de plongée dans un monde virtuel et de découverte de ce qui tient lieu de nouveau corps, à savoir des cubes à la place des bras et des jambes, et des lignes représentant des connexions entre les cubes et des attaches aux pieds, la perception de cette nouvelle enveloppe provoquait un sentiment de désorientation. Alors que le comédien manifeste une aisance surprenante à habiter son avatar projeté à distance sur l'écran de visualisation partagé, une gêne le saisit quand il l'habite de l'intérieur. Il a une forte tendance à se pencher fortement en avant pour regarder ses pieds. Nous découvrons alors que cela est lié au besoin de voir la frontière de son corps avatarial dans l'espace virtuel, de la même manière que nous avons toujours dans notre champ de vision naturelle la

frontière de notre corps dans l'espace physique. Il a donc fallu reculer un peu la caméra sur la tête du squelette pour laisser voir au comédien le bas de son avatar et consolider le sentiment de présence. Ainsi, en immersion, la frontière physique que le comédien manipule en aveugle dans l'espace doit correspondre à la frontière du corps virtuel qu'il voit dans le casque. Et lorsque la jonction s'opère, un effet de présence saisit le comédien. Il est aspiré dans l'espace qui s'ouvre, et en oublie qu'il est rattaché à un casque d'immersion dont les fils ont une longueur limitée, et surtout que son espace de jeu dépend d'un dispositif de captation, en l'occurrence la Kinect. Il a donc fallu reproduire à l'intérieur du monde virtuel les frontières de l'espace de jeu physique permis par la Kinect (cf. les structures enserrant l'avatar dans la fig. 5).

6. 3. Communiquer par-delà la frontière

Cet ajustement de la caméra pour percevoir le corps virtuel correspondant à la mémoire de son corps physique et la reproduction de bornes dans le monde 3D correspondant à l'espace physiquement praticable pour être capté par le dispositif technique nous indique que la traversée de la frontière entre le physique et l'immatériel ne peut se faire qu'à la condition d'une attention méticuleuse à la délimitation des espaces. D'autant plus que le comédien immergé dans le monde virtuel ne partage plus le même référentiel que le metteur en scène et l'artiste numérique, qui continuent d'échanger de leur côté à partir d'un rendu de point de vue construit sur l'écran de visualisation ou l'écran-frontière par un ordinateur qui partage les données en réseau (cf. figure 4). Cette configuration d'une grande souplesse nécessite cependant de bien vérifier que tous les ajustements se synchronisent, pour s'assurer que tous les collaborateurs évoquent les mêmes objets. Il n'y a plus de référentiel commun implicite, et cela fait resurgir la grande difficulté de partager collectivement des événements vécus de points de vue différents.

La traversée de la frontière entre le physique et le virtuel impose une exigence accrue sur la qualité des échanges pour décrire les besoins créatifs et les ressentis sensoriels. Elle fait ressortir tous les malentendus qui jalonnent les dialogues autour d'objets réels prétendument communs. Dans le dispositif de la figure 4, le dialogue à travers la frontière entre l'artiste numérique et le comédien nécessite une très grande concentration. D'un côté le comédien doit utiliser un registre compréhensible par son collaborateur derrière l'ordinateur, mais ce dernier doit aussi comprendre un point de vue qui s'énonce de l'intérieur d'un avatar. Le premier doit se familiariser avec la discipline de manipulation des images numériques en 3D et le second doit se mettre dans la peau d'un avatar. Un équilibre doit s'établir dans la communication entre des compétences différentes.

7. Performance improvisée en immersion

Un premier aboutissement de nos expérimentations a consisté à faire improviser dans un monde 3D partagé deux acteurs habitant en immersion des avatars de glace et de feu grâce au dispositif évoqué en 5.2. Nous voulions évaluer la possibilité d'un échange créatif entre deux acteurs qui avaient réalisé le cheminement progressif de frontière en frontière vers l'habitation d'un avatar.

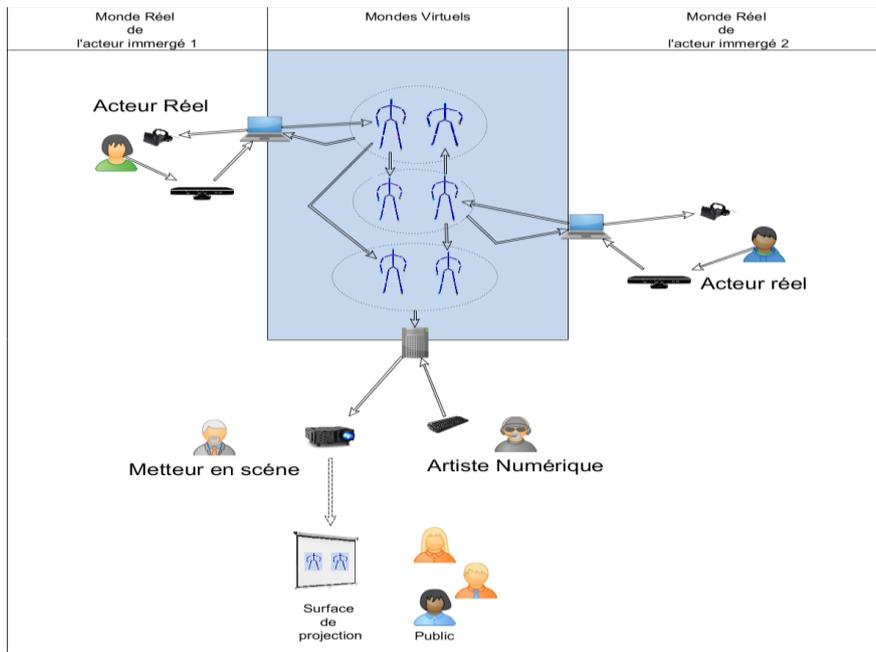


Figure 6. *Second dispositif d'immersion partagée*

Nous disposions donc de deux ordinateurs capturant chacun simultanément les données de la Kinect et produisant un rendu 3D pour les Oculus de chaque comédien. Un troisième ordinateur était nécessaire pour faire un rendu sur l'écran-frontière à destination du metteur en scène (cf. figure 6). Au-delà de l'accessibilité à l'espace virtuel de la performance, ce dernier avait souhaité pouvoir confronter le résultat des échanges entre les deux avatars dans le monde 3D, aux mouvements des corps des comédiens immergés avec leur Oculus. La situation d'improvisation a ainsi offert un tremplin aux comédiens expérimentés pour découvrir de nouvelles sensations. Dans le monde virtuel, l'échange ne se situe pas seulement avec une image, mais avec une entité vivante au comportement surprenant, à la fois proche de son propre avatar, mais animé d'une personnalité différente. Le corps humain physique s'adapte et propose de nouveaux comportements. Nous pensons en effet que la théorie cyberesthétique formulée par Yann Minh (2013) à partir de sa longue

expérience de fréquentation du cyberspace trouve dans notre dispositif un terrain de déploiement favorable. Dans cette théorie, l'avatar comme extension technologique de l'être humain permet d'aller explorer nos multiples « dividualités ». Le point de rencontre avec les enjeux théâtraux d'incarnation de personnages est stimulant et incite à poursuivre nos recherches. Par ailleurs, au-delà de la rencontre avec un autre avatar se pose pour le comédien la question du champ vertigineux des interactions avec une scénographie virtuelle.



Figure 7. *Improvisation avec deux comédiens. Crédits : A. Papathanasiou*

Il est intéressant de noter que l'exercice de faire se rencontrer les deux avatars plongés chacun dans leur monde 3D n'a pas été facile à réaliser. Pour des raisons pratiques finalement très proches de la situation humaine d'un groupe composé d'individus singuliers, chaque machine en réseau disposait d'une version différente du logiciel Unity. Les artistes numériques ont été obligés de construire séparément chaque monde 3D et de procéder à des synchronisations manuelles. Sur son propre territoire, chacun se construisait son point de vue, et le positionnement réciproque des frontières pour garantir l'habitation de chaque espace n'a pas été simple et nécessite une réflexion globale sur la mise en réseau des frontières implicites.

8. Rencontre avec un avatar autonome

En écho à la situation de dialogue entre deux avatars habités par des comédiens, nous avons expérimenté par ailleurs une sensibilisation à l'immersion et à la rencontre avec un avatar autonome en utilisant un troisième dispositif (cf. figure 8).

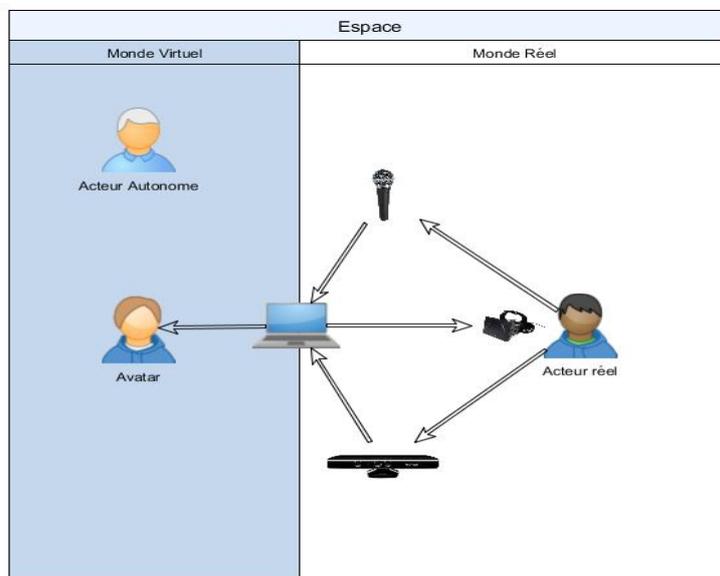


Figure 8. *Troisième dispositif.*

Ce troisième dispositif repose, en entrée système, sur le module de reconnaissance vocale et le module Kinect. Pour la sortie, nous utilisons le module Oculus. Nous avons aussi réalisé un agent autonome en utilisant un automate simple à états finis (7 états), configuré pour réagir à une dizaine d'ordres vocaux (Wang, van de Panne 2006). Il possède un schéma comportemental action/réaction primaire, dans lequel un ordre donné entraîne une et une seule réponse de l'agent.

Dans cette proposition, après avoir mis le casque Oculus, le comédien se retrouvait directement dans une enveloppe corporelle figurative qui n'était pas la sienne, sans passer par l'étape de compréhension du squelette virtuel produit par la Kinect. Il ne lui était pas demandé de bouger dans l'espace devant la Kinect, excepté lors de la calibration en formant la figure T avec ses bras et son corps. On note alors l'émergence d'une nouvelle frontière implicite dans la relation à l'avatar autonome : celle de la compréhension de la véritable part d'autonomie du personnage qui évolue en face de lui. L'obéissance de l'avatar aux ordres vocaux n'était pas systématique : le décalage est en partie programmable et en partie lié à des contraintes de développement et d'acoustique. Cela a induit pour l'acteur le sentiment que l'avatar autonome était plus intelligent que ce que le système informatique permettait. Cette situation, dénommée « effet Eliza » (Rouse, Boff, 2005), a stimulé l'improvisation du comédien. Et pour le monde théâtral, l'exploration de cette nouvelle frontière entre l'humain et le non-humain dessine un terrain de jeu très riche.

9. Perspectives

Ces expérimentations nous ont donc permis d'aborder plusieurs types de frontières entre physique et numérique, et d'étudier les conditions de leur traversée. Nous avons tout d'abord étudié la construction des frontières successives permettant de passer du corps physique du comédien au corps avatars. La mise en place d'un outil de visualisation de ces frontières s'est révélée indispensable pour se les approprier et développer un contrôle expressif de l'avatar par le comédien. Cet outil a aussi facilité le nécessaire dialogue entre points de vue complémentaires et permis d'établir des passerelles entre disciplines artistiques différentes.

Sur le plan scénographique, nous avons construit un écran-frontière permettant d'étudier les conditions de passage de la réalité du jeu physique des acteurs à l'habitation des avatars dans une réalité virtuelle. Cet écran a offert une première situation de performance avec un avatar, partagée entre comédien, metteur en scène et spectateur, et matérialisant l'augmentation numérique d'un espace physique. Nous avons le projet d'approfondir cette situation pour étudier plus précisément les modifications perceptives de chacun des points de vue face à cette augmentation numérique. Dans un second temps, nous avons permis aux comédiens de traverser l'écran-frontière afin d'habiter la réalité virtuelle avec un avatar et de développer une performance artistique. Le partage de cette expérience par le metteur en scène et les spectateurs ne s'est réalisé que très partiellement à travers quelques points de vue sur la scène projetés sur l'écran-frontière. L'approfondissement de cette exploration immersive nécessitera un lourd investissement technique que nous réaliserons progressivement.

Après avoir circonscrit les difficultés d'habitation d'un avatar pour le comédien et les modalités de dialogue entre l'espace virtuel de la performance et l'espace physique extérieur de sa construction par les artistes numériques et le metteur en scène, nous souhaitons approfondir l'expressivité émotionnelle des avatars en proposant des outils de casting et de training, et en nous appuyant sur des méthodologies ayant recours au théâtre pour étudier les comportements émotionnels du corps (Fourati, Pelachaud 2014).

Notre future démarche consistera à faciliter les traversées du physique vers le numérique en repérant les besoins émergents des comédiens, du metteur en scène et de l'artiste numérique, qui déboucheront sur de nouveaux positionnements créatifs.

Les auteurs tiennent à remercier Anna Bauk, Christina Chrisanthopoulou, Victor Cuevas, Ifigenia Mavridou, Sébastien Palluel, Argyro Papanthanasidou, Maria Velaora pour leur participation à l'atelier-laboratoire Creatic « Du geste capté au geste d'interactivité numérique » de janvier 2015, ainsi que Luigi d'Aria et Jérémy Nageli, régisseurs du département théâtre, pour leur assistance technique.

10. Bibliographie

- Amato E.-A., Perény E. (sous la dir. de), *Les avatars jouables des mondes numériques. Théories, terrains et témoignages de pratiques interactives*, Hermes Lavoisier, 2013.
- Barbulescu A., Ronfard R., Bailly G., Gagneré G., Cakmak H., « Beyond Basic Emotions: Expressive Virtual Actors with Social Attitudes », *7th International ACM SIGGRAPH Conference on Motion in Games 2014 (MIG 2014)*, nov 2014, Los Angeles
- Becheiraz P., Thalmann D., « A model of nonverbal communication and interpersonal relationship between virtual actors », *Computer Animation'96, Proceedings*, 1996, p. 58-67.
- Bourassa R., Poissant L. (sous la dir. de), *Avatars, personnages et acteurs virtuels*, Presse de l'Université du Québec, Ste-Foy, 2013.
- Damasio A., *Spinoza avait raison*, Odile Jacob, 2003, p. 206-208
- Dixon S., *Digital Performance*, MIT press, 2007
- Dusigne J.-F. (sous la dir.), *La direction d'acteur peut-elle s'apprendre ?*, Les Solitaires Intempestifs, 2015
- Fourati N., Pelachaud C., « Collection and characterization of emotional body behaviors », *Proceedings of the International Workshop on Movement and Computing, MOCO'14*, Paris, France, ACM, 2014, p. 49-54.
- Fourmentraux J.-P., « Le comédien virtuel. Une redéfinition des frontières de l'activité artistique », *Humains, non-humains. Comment repeupler les sciences sociales*, La Découverte, 2011, p. 292-300.
- Gamma E., Johnson R., Helm R., Vlissides J., *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*, Addison-Wesley, 1994.
- Klimmt, C., Roth, C., Vermeulen, I., Vorderer, P., & Roth, F. S., « Forecasting the Experience of Future Entertainment Technology. "Interactive Storytelling" and Media Enjoyment », *Games and Culture*, 7(3), 2012, pp. 187-208
- Lucas J.-F., Amato E.-A., « Mondes, points de vue, personnages : l'avatar comme enveloppe pilotable », in Amato E., Perény E. (sous la dir. de), *ibid.*, p. 109-131
- Minh J., « Pratiques intensives de l'avatar, d'une installation immersive à la notion de cyberesthésie », in Amato E., Perény E. (sous la dir. de), *ibid.*, p. 275-294
- Moindrot I., Shin S. (sous la dir. de), *Transhumanités : fictions, formes et usages de l'humain dans les arts contemporains*, Coll. Local & global, L'Harmattan, Paris, 2013.
- Perény E., Amato E.A., « L'heuristique de l'avatar : polarités et fondamentaux des hypermédias et des cybermédias », dans S. Leleu-Mervieul, K. Zreik (dir.), *Revue des Interactions Humaines Médiatisées*, vol. 11, N°1, 2010, p. 87-115
- Rouse W. B., Boff K. R., *Organizational Simulation*, Hoboken, Wiley-IEEE, 2005, p. 308-9
- Salter C., *Entangled*, MIT Press, 2010
- Wang Z., van de Panne M., « Walk to Here: A Voice Driven Animation System », *Proceedings of the 2006 ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation*, Eurographics Association, Aire-la-Ville, Switzerland, 2006, p. 243-251.