Le numérique au service de la transmission du savoir-faire artisanal. Méthodes et outils numériques d'apprentissage du savoir gestuel de la poterie

Sotiris Manitsaris, Dimitris Goussios, Alina Glushkova

▶ **To cite this version:**

Sotiris Manitsaris, Dimitris Goussios, Alina Glushkova. Le numérique au service de la transmission du savoir-faire artisanal. Méthodes et outils numériques d'apprentissage du savoir gestuel de la poterie. Tic&société, 2017. hal-01692829

HAL Id: hal-01692829

https://minesparis-psl.hal.science/hal-01692829

Submitted on 25 Jan 2018

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.

tic&société

Vol. 10, N° 2-3 | 2ème semestre 2016 - 1er semestre 2017
Spécial varia

Le numérique au service de la transmission du savoir-faire artisanal. Méthodes et outils numériques d'apprentissage du savoir gestuel de la poterie

Sotiris MANITSARIS, Dimitris GOUSSIOS et Alina GLUSHKOVA

Édition électronique
URL : http://journals.openedition.org/ticetsociete/2204

Éditeur
Association ARTIC

Édition imprimée
Pagination : 303-341

Ce document vous est offert par Bibliothèque de MINES ParisTech

Référence électronique
Sotiris MANITSARIS, Dimitris GOUSSIOS et Alina GLUSHKOVA, « Le numérique au service de la transmission du savoir-faire artisanal. Méthodes et outils numériques d'apprentissage du savoir gestuel de la poterie », *tic&société* [En ligne], Vol. 10, N° 2-3 | 2ème semestre 2016 - 1er semestre 2017, mis en ligne le 30 avril 2017, consulté le 25 janvier 2018. URL : http://journals.openedition.org/ticetsociete/2204

Licence Creative Commons

tic&société – 10(2-3), 2016-2017

Le numérique au service de la transmission du savoir-faire artisanal. Méthodes et outils numériques d'apprentissage du savoir gestuel de la poterie

Sotiris MANITSARIS, Dimitris GOUSSIOS et Alina GLUSHKOVA

Sotiris MANITSARIS

Rural Space Lab, Department of Planning and Regional Development, University of Thessaly, Volos, Grèce
Robotics Lab, MINES ParisTech, Paris, France
Sciences and Technology for Music and Sound Lab, Ircam-CNRS-Université Pierre et Marie Curie, Paris, France

Le Dr. Sotiris Manitsaris est chercheur et responsable scientifique et technique de projets de recherche au Centre de robotique de MINES ParisTech, PSL Research University. À travers ses études en mathématiques appliquées (diplôme), en dynamiques territoriales pour le développement local (master) et en vision par ordinateur (thèse de doctorat), il a développé des compétences sur la reconnaissance de gestes professionnels et artistiques. Dr Manitsaris s'est ainsi spécialisé dans la capture, la modélisation et la reconnaissance des comportements gestuels et l'*embodiment*, ayant des applications dans différents domaines tels que la transmission du patrimoine culturel immatériel, la collaboration homme-robot, l'apprentissage artificiel interactif, etc.

Le numérique au service de la transmission du savoir-faire artisanal. Méthodes et outils numériques d'apprentissage du savoir gestuel de la poterie

Dimitris GOUSSIOS

Rural Space Lab, Department of Planning and Regional Development, University of Thessaly, Volos, Grèce.

Dimitri Goussios est Professeur en Développement et aménagement de l'espace rural à l'Université de Thessalie-Volos (Grèce), Directeur du Laboratoire d'Espace Rural et du master franco-hellénique DYNTAR (DYNamiques territoriales et aménagement rural). Sociologue et géographe de formation, Dimitri Goussios a fait ses études à l'université de Toulouse le Mirail. Il fait désormais partie de l'unité d'analyse géographique du Laboratoire d'Espace Rural, où il travaille sur la planification et la mise en place des politiques ainsi que sur les mesures de gestion et de développement dans l'espace rural et le milieu périurbain. Il focalise ses recherches sur l'émergence des territoires, la spécification des ressources et des outils de haute technologie comme support aux concertations et, enfin, sur le rôle de la diaspora d'origine rurale et de l'agriculture familiale dans les mouvements de territorialisation.

Alina GLUSHKOVA

Rural Space Lab, Department of Planning and Regional Development, University of Thessaly, Volos, Grèce.
Robotics Lab, MINES ParisTech, Paris, France.
Multimedia Technology and Computer Graphics Lab, Department of Applied Informatics, University of Macedonia, Thessaloniki, Grèce.

Alina Glushkova est affiliée au Laboratoire des technologies multimédia et de l'infographie du Département d'informatique appliquée, à l'Université de Macédoine (Thessalonique, Grèce). Elle a commencé ses études dans la communication et la médiation culturelle pour ensuite se spécialiser dans la gestion de projets liés aux nouvelles technologies. En 2016, elle

soutient sa thèse à l'Université de Macédoine et se spécialise dans la gestion des savoir-faire et sur leur transmission à l'aide des techniques d'apprentissage sensori-moteur. Alina Glushkova travaille sur des outils pédagogiques innovants (*Serious Games*) pour la transmission de savoir-faire gestuel basée sur la capture de mouvement et sur les technologies de reconnaissance de gestes. Ses intérêts de recherche sont liés à la transmission du savoir-faire gestuel, à la capture de mouvements, à la reconnaissance des gestes, à la gestion des connaissances et à l'interaction homme-machine.

Le numérique au service de la transmission du savoir-faire artisanal. Méthodes et outils numériques d'apprentissage du savoir gestuel de la poterie

Résumé : Le patrimoine culturel matériel est le fruit des savoir-faire de haute technicité, constitués et transmis au fil des siècles au sein des communautés locales grâce à l'intelligence du geste associée à la créativité de l'esprit humain. Or ce sont ces mêmes savoir-faire qui aujourd'hui sont menacés par la mondialisation et l'industrialisation, du fait notamment de la dévalorisation des métiers manuels et de l'impossibilité jusqu'à ce jour de les « mettre en boîte », de les enregistrer et de les codifier de manière à pouvoir les transmettre aux nouvelles générations. Cet article présente un aperçu des outils et des méthodes actuels, qui vont de l'ethnographie numérique au multimédia, et propose une nouvelle stratégie de transmission de ce savoir-faire basée sur les technologies de reconnaissance du geste technique.

Mots-clés : savoir-faire, transmission, reconnaissance de geste.

Abstract : The tangible cultural heritage is the result of high level know-how, acquired and transmitted over centuries within local communities through the association of gestural intelligence and the creativity of the human spirit. However, this know-how is currently threatened by globalization and industrialization, due in particular to the devaluation of manual work and the difficulty of "boxing up" this gestural expertise, of recording and codifying it so that it can be transmitted across generations. This article presents an overview of existing methods and tools and proposes a new strategy for know-how transmission based on motion capture and gesture recognition technologies.

Keywords: know-how, transmission, gesture recognition.

Sotiris MANITSARIS, Dimitris GOUSSIOS
et Alina GLUSHKOVA

Resumen: El patrimonio cultural material es el resultado de una sabiduría de alto nivel, adquirida a lo largo de los siglos y que se transmite dentro de las comunidades locales gracias a la inteligencia del gesto asociada a la creatividad del espíritu humano. Pero esta sabiduría es amenazada hoy a causa de la globalización y la industrialización, debido en particular a la devaluación de la artesanía manual y la imposibilidad hasta ahora de salvaguardar esta experiencia gestual, grabándola y la codificándola de modo que pueda ser transmitida a las nuevas generaciones. En esta sección se presenta una visión general de los métodos y herramientas existentes y se propone una nueva estrategia para la transferencia de esa sabiduría basada en "captura de movimiento" (*motion capture*) y tecnología de reconocimiento de gestos.

Palabras clave: sabiduría, transferencia, reconocimiento de gestos.

Le numérique au service de la transmission du savoir-faire artisanal. Méthodes et outils numériques d'apprentissage du savoir gestuel de la poterie

1. Introduction

L'expression culturelle ne se limite pas à l'architecture, aux monuments, aux objets d'art ou aux œuvres musicales. Elle concerne également des expressions vivantes qui impliquent des connaissances, ainsi que des compétences acquises par l'homme à travers de longues années d'expérience et de pratique. Il s'agit des gestes d'un artisan, des couleurs de la voix d'un musicien ou des expressions faciales d'un acteur. Il s'agit des traditions, des rituels, des techniques, même des outils qui servent à atteindre le summum du savoir-faire. Ces éléments sont contrôlés par l'intelligence et la grandeur de la créativité humaine, ils sont transmis de génération en génération et constituent le patrimoine culturel immatériel (PCI).

En 2003, à travers la *Convention pour la sauvegarde du patrimoine culturel immatériel*, l'UNESCO a donné la définition de ce patrimoine et a proposé un cadre officiel pour la gestion de cette partie si importante de notre histoire et de notre société. Ainsi, la formule *patrimoine culturel immatériel* désigne les pratiques, les représentations, les expressions, les connaissances et les savoir-faire – ainsi que les instruments, les objets, les artefacts et les espaces culturels qui leur sont associés – que les communautés, les groupes et, le cas échéant, les individus reconnaissent comme faisant partie de leur patrimoine culturel. Ce patrimoine culturel immatériel est recréé en permanence par les communautés et les groupes en fonction de leur milieu, de leur interaction avec la nature et de leur histoire, et il leur procure un sentiment d'identité et de continuité, contribuant ainsi à promouvoir le respect de la diversité culturelle et la créativité humaine. La préservation et la transmission du PCI deviennent ainsi des enjeux primordiaux de l'échelon local à l'échelle de l'Europe.

Pour les communautés locales, le patrimoine constitue la cellule de leur identité, une source indéniable de richesse culturelle et de différenciation. Étroitement liée au tourisme, la culture apporte à l'Europe un avantage concurrentiel significatif

au niveau mondial. Spécifier les ressources patrimoniales des territoires et les activer, notamment dans le domaine du tourisme culturel et créatif, peut ainsi représenter le fondement d'une stratégie de développement local.

Cependant, la valorisation du PCI passe par sa préservation et sa transmission, ainsi que par l'augmentation de son attractivité auprès des jeunes générations. Les technologies de l'information et de la communication (TIC) y contribuent fortement, en proposant de plus en plus de nouvelles méthodes et outils spécifiques permettent la capture du mouvement humain, l'apprentissage assisté par ordinateur des compétences motrices liées au PCI, l'enregistrement des connaissances et la mise en réseau des acteurs concernés.

2. État de l'art

2.1. Ethnographie traditionnelle

Tout au long du 20e siècle, les questions liées à la préservation et à la transmission du PCI ont été étudiées dans le cadre des sciences humaines et sociales (SHS), telles que l'anthropologie, l'ethnologie ou la sociologie. Au début du siècle, le psychologue Jean Piaget, ainsi que d'autres scientifiques, commence à travailler sur les thématiques de l'intelligence corporelle. Il oppose ainsi la pensée rationnelle à l'intelligence motrice, et raffine son raisonnement dans les années 1970 (Piaget, 1979) en les nommant finalement « intelligence conceptuelle et sensori-motrice ». Celle-ci était selon lui observable chez les animaux supérieurs, les enfants et… les artisans ! C'est elle qui inclut la mémoire corporelle acquise à travers des années de répétition des mêmes processus gestuels. C'est cette intelligence sensori-motrice qui permet d'atteindre les summums de la technicité et de la dextérité.

Dans son ouvrage *Comment Homo devint Faber ?*, l'anthropologue des techniques François Sigaut (2012) étudie

les rapports de l'être humain à ses outils et la manière dont ces derniers complètent ses savoir-faire. Il constate ainsi que, chez l'humain, l'intervention de l'outil dans l'action implique non seulement des mécanismes corporels innés, mais aussi un partage de l'attention inédit entre fins et moyens.

Dans le cadre de la sociologie de la connaissance scientifique, les auteurs s'interrogent sur les questions liées au savoir-faire et aux habiletés sociales. Harry Collins (2010) distingue ainsi la connaissance tacite de la connaissance explicite en définissant la première en tant qu'une connaissance qui est à l'œuvre dans les opérations que nous savons comment faire, mais que nous ne pouvons expliquer à personne d'autre. Collins souligne la difficulté de transmission de ce type de savoir-faire et estime que la pratique régulière constitue le seul moyen d'apprentissage.

Le PCI et ses savoir-faire gestuels se transmettent typiquement d'une génération à l'autre par le modèle de la « transmission en personne », selon lequel le maître et l'apprenti doivent être physiquement présents au même endroit au même moment et de manière régulière. L'apprentissage des compétences motrices est mis en place grâce à un système interactif établi entre les deux parties, tout en suivant un échange quotidien qui permet l'obtention d'un niveau d'expertise après de longues années d'expérience, ce qui témoigne bien d'une certaine difficulté de la transmission du PCI. Celle-ci a également été soulevée par Bortolotto (2011), qui remarque la contradiction entre l'objectif de « préservation », reposant sur une approche statique, figée et muséale, et celui de la « transmission », nécessitant une approche plus dynamique qui vise la re-création et la re-production continues de la pratique culturelle.

La transmission « en personne » peut toutefois être remise en question par des éléments pratiques, tels que la distance géographique entre le maître et l'apprenti ou la disponibilité (l'indisponibilité en fait) du maître, etc. Ce thème de la « transmission en personne » a été abordé par Chevallier

(1991) en suivant une approche qui croise l'anthropologie et l'ethnologie. Dans son ouvrage *Savoir faire et pouvoir transmettre. Transmission et apprentissage des savoir-faire et des techniques*, Chevallier étudie différentes postures du corps et les décrit en utilisant des paramètres de mouvement, tels que l'accélération, la trajectoire ou le rythme de certains gestes de percussion (Bril, 2011). Cette analyse contribue à l'identification des composantes des savoir-faire gestuels. Néanmoins, elle se base sur une approche qualitative en fournissant très peu d'éléments quantitatifs.

Gandon (2011) a conduit une étude intéressante visant l'analyse des processus gestuels de la poterie sur tour dans un contexte social et culturel. Cette étude contribue à l'appréhension des éléments culturels et sociétaux qui influencent le développement des capacités motrices. Elle évalue les compétences des potiers en prenant en considération les caractéristiques mécaniques des objets qu'ils créent. Le stress mécanique opérant à l'intérieur de l'objet est mesuré et associé à la difficulté du tournage. Cette approche « orientée-objet » est certainement plus quantitative que les précédentes ; pourtant, elle pourrait difficilement être exploitée dans un contexte d'apprentissage humain assisté par ordinateur, puisqu'elle se concentre en une analyse *offline* du résultat du geste sur le produit final.

2.2. Ethnographie numérique et e-documentation

Basés sur les conclusions de ces études, ainsi que sur les avancées technologiques des dernières décennies, les ethnologues et les ethnographes ont commencé à utiliser les outils numériques pour la création de contenus multimédia. Images, photographies, enregistrements audio ou vidéo ont été créés et utilisés pour la constitution des bases de données visant à ouvrir le PCI au monde, à dévoiler ses secrets, à donner envie d'apprendre et de pratiquer.

Plusieurs projets ont été mis en place en suivant la Convention de l'UNESCO. Ainsi a vu le jour le projet international *Traditional Music of the World*, qui comprend une compilation d'enregistrements de musiques traditionnelles du monde entier (Aikawa *et al.,* 2004). Les enregistrements ont été réalisés par les ethnomusicologues *in situ*, puis copiés sur le vinyle et le format CD. Des photos accompagnent et illustrent les enregistrements audio.

Au niveau national, en Chine, une technique traditionnelle de tissage à l'aide des bambous a été étudiée (Kuo An Wang *et al.*, 2011). Une archive numérique a été créée contenant des images et des vidéos qui présentaient les gestes impliqués dans la création de 1200 objets différents. Grâce à des réunions et des entrevues menées avec l'artisan, Kuo-An Wang et ses collaborateurs ont identifié un ensemble de vingt modèles gestuels de tissage. Ensuite, ils ont connecté chacun des fichiers d'objets numérisés à une combinaison de ces modèles en proposant ainsi une plateforme de contenu numérique au sujet de cette technique de tissage.

D'autres projets ont été menés en collaboration étroite avec les communautés locales. Des groupes autochtones, comme la nation Maori en Nouvelle-Zélande, ont coopéré avec les représentants des institutions culturelles locales et leur ont ouvert l'accès à des sources rares de patrimoine culturel matériel et immatériel. Ainsi, des copies numériques de différents objets ont été faites et les processus ayant mené à leur création ont été enregistrés (Alivizatou*,* 2012). Un projet similaire a été conduit à la Sierra Leone (Basu*,* 2011).

L'objectif de ces initiatives était la mise à disposition des enregistrements aux publics, tant internationaux que locaux, et la sensibilisation aux différentes formes d'art traditionnel. Cependant, elles semblent agir principalement en tant qu'archives et non comme des applications éducatives. Ceci peut s'expliquer par le fait que l'UNESCO a adopté une approche essentiellement fondée sur l'archivage pour la sauvegarde des formes de PCI. La Convention de 2003

reconnaît les inventaires comme une première étape de sauvegarde du patrimoine immatériel.

Cependant, cette approche présente quelques limitations et, selon nous, permet seulement d'atteindre une sauvegarde partielle du PCI. Puisque le contenu de cette documentation a été créé à l'aide des technologies multimédias, il fournit des informations limitées sur les aspects plus concrets et pratiques du savoir-faire. L'enregistrement d'une vidéo capture le geste en tant que série d'images, mais ne porte aucune donnée précise sur son exécution, aucune donnée biomécanique, en réduisant le geste en une forme statique projetée dans un espace à deux dimensions. Les conclusions sur les aspects cinétiques ou cinématiques du geste ne peuvent être effectuées que suite à l'analyse des images et non pas à partir des données gestuelles enregistrées au moment de la performance. Les technologies multimédias se limitent ici à la réalisation d'une sauvegarde descriptive du PCI.

En outre, une fois ce contenu intégré dans une archive numérique, nous sommes confrontés aux limitations de ce support statique et linéaire. Visionner des vidéos place l'utilisateur en position de récepteur passif, incapable d'interagir avec les contenus. Or l'acquisition des savoir-faire passe par l'action, par ce que Dale (1979) appelle « apprendre en faisant » (« *learning by doing* »). Tout le processus de transmission et d'apprentissage est basé sur l'interaction établie entre le maître et l'apprenti, entre l'apprenti et son environnement. Ces éléments sont nécessaires pour la bonne assimilation de la connaissance (Piaget, 1976).

Ces projets ont par ailleurs pour objectif principal d'augmenter l'accessibilité du grand public au PCI. Cependant, dans la plupart des cas, l'accès aux enregistrements est restreint, pour des raisons techniques ou des raisons de propriété intellectuelle. Le cadre législatif, aussi bien au niveau européen qu'aux niveaux nationaux, n'est pas toujours prêt à répondre aux défis générés par la sauvegarde et la transmission du PCI.

2.3. Technologies de capture de mouvement et de reconnaissance de geste

Afin de résoudre certains des problèmes qui surgissent avec l'utilisation des technologies multimédia, il est possible d'opter pour des technologies de capture et de reconnaissance du mouvement. Celles-ci permettent d'atteindre un enregistrement fiable des données gestuelles afin de les modéliser par la suite. Différents types de capteurs existent sur le marché aujourd'hui. Nous pouvons les classer en trois grandes catégories : 1) les technologies de vision par ordinateur avec des marqueurs ; 2) les technologies de vision par ordinateur sans marqueurs ; et 3) les capteurs inertiels et d'accélération.

Dans la première catégorie, il s'agit d'utiliser des marqueurs placés sur le corps humain qui sont détectés par des systèmes optiques, comme le Vicon Peak ou Optitrack. Cette méthode a beaucoup été utilisée dans le cinéma pour créer des images de synthèse en trois dimensions et les utiliser, par exemple, pour l'animation d'un avatar. Pourtant, ces systèmes sont souvent assez coûteux et contraignants, car ils réduisent le mouvement du corps humain à des postures qui peuvent être captées. Si les caméras ne détectent pas le marqueur lors du mouvement, celui-ci ne peut être correctement enregistré. Ils sont également intrusifs puisque l'utilisateur porte les marqueurs sur son corps et ceux-ci peuvent éventuellement empêcher la bonne performance des gestes (Corazza *et al.,* 2006).

Les technologies de vision sans marqueurs viennent lever ce dernier obstacle et elles sont plus abordables. Dans cette deuxième catégorie, nous retrouvons les caméras optiques à bas coût, comme les webcams que nous retrouvons intégrées dans la plupart des ordinateurs disponibles sur le marché. Ces caméras peuvent être utilisées pour l'enregistrement des mouvements, plus particulièrement ceux des mains. Par la suite, une série de traitements et de filtres sont appliqués afin de détecter les différentes parties de la scène, dans ce cas, les contours de la main (Manitsaris *et al.*, 2015). Toutefois, cette

technique présente un inconvénient notable, à savoir que son efficacité en matière de captation dépend des conditions de luminosité et de la clarté de l'image enregistrée. Cela dit, l'usage de la vision par ordinateur sans marqueurs est devenu encore plus répandu avec l'apparition de la caméra de profondeur Kinect de Microsoft. La Kinect fournit une représentation des profondeurs d'une scène en nuances de gris où les points les plus éloignés de la caméra sont les plus foncés. À l'aide d'un algorithme (Shotton *et al.*, 2011), il est alors possible de détecter le squelette du corps et d'enregistrer les positions des articulations dans l'espace. Cependant, la qualité des données enregistrées avec la Kinect est influencée, nous l'avons déjà mentionné, par les conditions de luminosité, mais aussi par les éventuelles occlusions. Si une articulation du squelette est cachée par une autre, les positions ne peuvent être capturées.

La dernière grande catégorie est celle des capteurs inertiels. Elle est indépendante des conditions de luminosité ainsi que des occlusions qui peuvent être engendrées lors des mouvements. Les capteurs inertiels fournissent des données cinématiques comme les accélérations, les orientations et les rotations des articulations de manière continue et en temps réel (Aylward, Lovell et Paradiso, 2006). Les MotionPods de Movea, le costume Animazoo de Synertial couvrant les articulations du corps entier ou de sa moitié, mais aussi la fameuse manette Wii de Microsoft (Grundberg, 2008) dans laquelle les accéléromètres sont intégrés constituent quelques exemples de cette dernière catégorie de capteurs. Leur principal inconvénient est leur sensibilité aux champs magnétiques. Cependant, le costume que nous avons utilisé pour la capture des données des potiers contient un système qui filtre les perturbations magnétiques.

2.4. Capture de mouvement pour la sauvegarde et la transmission du PCI

Le mouvement du corps humain, le geste, constitue l'élément de base du savoir-faire traditionnel et se place progressivement au centre des préoccupations des scientifiques. Pendant la dernière décennie, les systèmes de capture de mouvement ont connu une évolution rapide, un progrès remarquable et des améliorations importantes, en attirant l'attention de nombreux domaines d'application, tels que la médecine, le sport ou bien le divertissement. Ainsi, les mouvements des sportifs primés et les gestes des grands médecins sont actuellement étudiés afin de comprendre en quoi consiste la dextérité, comment elle est née et acquise. L'utilisation des technologies de capture du mouvement peut nous permettre de surmonter certaines des difficultés mentionnées et de faire un pas en avant dans l'analyse du savoir-faire. Ces différents capteurs (de vision, inertiels, etc.) enregistrent le mouvement et nous fournissent des positions, des rotations, des accélérations ou des orientations du corps et de ses articulations. Le geste peut ainsi être mathématisé, traduit en coordonnées sur les axes cartésiens.

Parmi les arts traditionnels, c'est la danse qui a été à l'origine du développement des usages des technologies de capture de mouvement. L'artiste pluridisciplinaire Marc Boucher (2011) dit à ce sujet :

> « La capture de mouvement est la forme la plus objective de notation de la danse dans la mesure où elle ne repose pas sur l'appréciation subjective et sur des descriptions verbales des personnes, mais plutôt sur des moyens mathématiques prédéterminés spécifiant les coordonnées spatiales à des moments donnés pour chaque marqueur. Ces données peuvent être interprétées (inscrites, "lues" et "exécutées") cybernétiquement (communication homme-machine) alors que les méthodes de notation de danse précédentes sont basées sur des représentations symboliques, écrites et lues uniquement par les êtres humains » (p. 64).

Ainsi, la caméra Kinect a un coût bas et a été utilisée pour la capture du mouvement des danseurs, leur détection, leur classification et leur évaluation (Raptis *et al.*, 2011). Certains chercheurs et artistes ont identifié le potentiel de ces technologies pour le processus d'apprentissage et ont mis en place des expérimentations sur l'évaluation de la performance de l'apprenti par rapport à celle du danseur expert en se servant d'une caméra Kinect et d'un environnement 3D (Alexiadis *et al.*, 2011).

De nombreuses études ont également été faites dans le domaine de la musique. Une des institutions protagonistes de ces recherches se situe en France : l'Institut de recherche et coordination acoustique/musique (IRCAM-Paris), en collaboration avec l'Université McGill à Montréal (Québec, Canada). Celle-ci a réalisé une capture du mouvement de joueurs de violon à l'aide d'un système optique 3D Vicon 460 (Rasamimanana *et al.*, 2008) visant la modélisation des spectacles de musique par la compréhension de différentes techniques de jeu de violon. Dans un autre cas, les chercheurs ont essayé d'adapter cette méthode sur des joueurs de piano (Palmer *et al.*, 2000) à l'aide de marqueurs fixés sur les vêtements afin de capturer les mouvements expressifs. Dans une perspective plus pédagogique, nous pouvons aussi citer le projet *i-maestro*, où la capture de mouvement de l'apprenti violoniste est utilisée pour le comparer en temps réel à un mouvement préenregistré et fournir à l'apprenti un retour visuel, en le guidant et en lui permettant d'améliorer sa technique de jeu (NG, 2008).

3. Méthodologie

Ainsi que nous venons de le constater, les défis sont nombreux, mais il y a de plus en plus d'expériences intéressantes. Dans ce texte, nous allons proposer une méthodologie de sauvegarde et de transmission du PCI à l'aide des technologies de capture de mouvements et de

reconnaissance de gestes appliquée à l'art de la poterie sur tour. Notre objectif, ici, n'est pas l'archivage du savoir, n'est pas l'enregistrement vidéo des différents processus de création, non plus la simple numérisation de l'information. Notre idée est d'enrichir les méthodes existantes pour la sauvegarde et la transmission du PCI avec des outils aussi fiables, efficaces, qu'attractifs auprès des nouvelles générations. Afin d'atteindre cet objectif, nous proposons une méthodologie pédagogique visant un apprentissage sensorimoteur des compétences gestuelles (Figure 1), mis en œuvre par une Interface Humain-Machine.

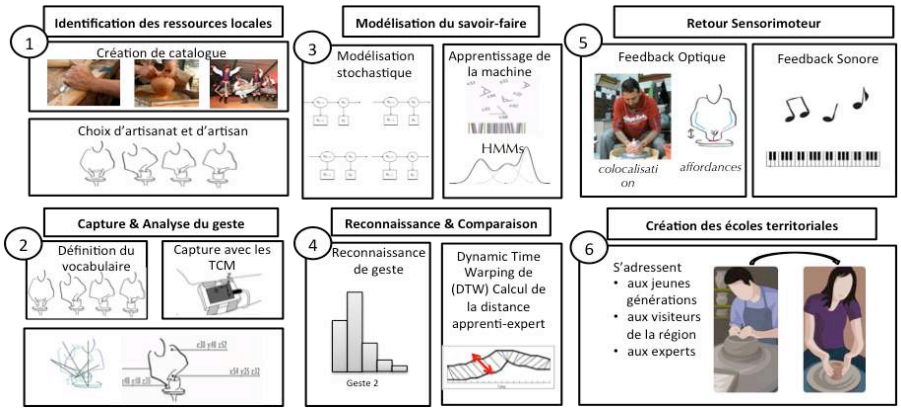


Figure 1. Méthodologie d'usage des technologies de reconnaissance du geste pour la préservation du savoir-faire appliqué à la poterie

3.1. Identification et analyse des ressources culturelles locales

3.1.1 Création d'un catalogue des ressources culturelles locales

Avant de faire le choix d'étudier l'artisanat, il est indispensable de procéder à l'analyse et à l'identification des ressources culturelles locales. La méthodologie de cette étape a été

instaurée et décrite par le Laboratoire d'espace rural menant à la formation franco-hellénique en dynamique territoriale et aménagement rural (DYNTAR)[1]. Elle se base sur une perception nouvelle des ressources territoriales à valoriser, laquelle est centrée sur le caractère spécifique de ces ressources et sur les avantages que cela peut avoir sur leur valorisation. La transition du temps générique, vers le temps de la différenciation et, par la suite, vers le temps de la spécification est coordonnée par un « jeu de miroirs » entre les acteurs internes (artisans, agriculteurs, commerçants, etc.) et les acteurs externes (diaspora, etc.). Elle est complétée par un processus de mobilisation accompagné par l'appui de la diaspora et par l'intermédiaire des anciens ressortissants des territoires concernés (Figure 2). La méthodologie peut contribuer à identifier des ressources (catalogue des ressources contribuant à la cohésion économique et sociale), à les spécifier par la « mathématisation » des connaissances, mais aussi à favoriser la gestion et la valorisation maîtrisées par la société locale.

[1] Voir : http://www.dyntar.prd.uth.gr/index.php/fr/presentation-fr.

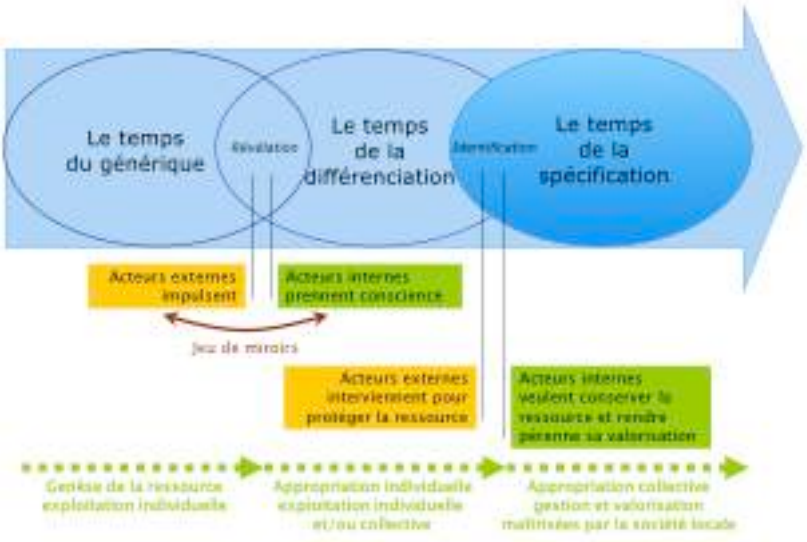


Figure 2. Méthodologie d'analyse des ressources culturelles locales

Nous avons ainsi procédé à l'identification de ces ressources dans l'une des régions du sud de la France (Provence-Alpes-Côte d'Azur [PACA]) et du nord de la Grèce (Thessalie), deux régions européennes riches en traditions et savoir-faire. À travers des rencontres avec les acteurs locaux (associations, gouvernement local, etc.), les expressions culturelles comme la danse, le chant et les artisanats, par exemple la poterie ou la broderie, ont constitué la base du catalogue des ressources locales. À cette étape, les acteurs externes (chercheurs) impulsent l'action et permettent aux acteurs internes de prendre conscience de l'importance de la sauvegarde et de la transmission de leurs ressources.

3.1.2. Choix d'artisanat et d'artisan

Une fois la liste des ressources locales établie, le choix de l'artisanat à étudier est très important, puisqu'il doit respecter certains critères et être compatible avec l'objectif de notre

recherche, ainsi qu'avec plusieurs contraintes techniques. Ces contraintes varient en fonction de la technologie utilisée pour la capture de mouvement. Comme évoqué auparavant, nous avons donc sélectionné l'art de la poterie sur tour. Le grand avantage de la poterie sur tour est le fait que l'artisan expert n'utilise pas un grand nombre d'outils spécifiques, comme cela serait le cas d'un sculpteur de pierre. Ceci facilite ainsi la bonne capture de ses gestes.

Pourtant, le cas de la poterie présente quelques difficultés et défis à relever. Ici, le rôle des doigts et de leur mouvement est essentiel. En effet, à certaines étapes de la création d'un objet, ce sont les doigts, plus que la paume, qui définissent sa forme, sa finesse. Or les technologies disponibles actuellement sur le marché ne sont pas encore prêtes à nous fournir des données propres et fiables. Étant conscients de ce défi, nous menons en parallèle des études afin d'identifier l'outil et de proposer la méthode appropriée pour la capture des mouvements des doigts (Dapogny *et al.*, 2013).

Après avoir choisi l'artisanat concerné, il est nécessaire de sélectionner le ou les experts dont le savoir-faire constituera l'objet de notre étude. Ce choix est important, car leurs techniques et leurs savoirs varient en fonction des années d'expérience, de leur localisation géographique, de leurs origines, de leurs communautés d'appartenance, etc. Tous ces paramètres ont été pris en considération lors du choix des personnes avec lesquelles collaborer. Pour notre étude, nous avons travaillé avec deux potiers, experts de haut niveau, dont un potier grec, qui avait une expérience de plus de 15 ans dans l'enseignement de la poterie, et un potier français, spécialisé dans la création et primé au niveau national pour la qualité de son travail.

3.2. Capture et analyse du geste

3.2.1 Définition des composantes gestuelles du savoir-faire

Le savoir-faire est certes une notion vaste, qui couvre de multiples aspects de la connaissance humaine. Prétendre pouvoir capturer, sauvegarder et transmettre toute cette connaissance d'un domaine du PCI serait vaniteux, car une telle mission demanderait des années, peut-être des décennies de travail pour des ingénieurs, des anthropologues, des ethnologues et des sociologues. C'est pourquoi nous proposons d'appliquer notre méthodologie à un périmètre prédéfini et à un scénario précis. Dans la musique, cela se traduirait par le choix d'une œuvre dont les gestes seraient analysés. Dans le domaine de la poterie, il est indispensable de sélectionner l'objet et ses caractéristiques, comme ses dimensions, ses proportions, etc. De la discussion avec les experts a découlé l'idée que le meilleur choix était de commencer par des objets avec des formes basiques, par lesquels on débute en général l'apprentissage de la poterie sur tour, comme un bol ou un petit saladier (environ 20 cm de diamètre et 10 cm de hauteur).

Pendant cette phase, une collaboration étroite avec les experts doit être mise en place. Cette collaboration est atteinte à travers la distribution de questionnaires et, surtout, à travers la conduite d'entretiens afin d'identifier les différentes composantes du savoir-faire gestuel. Certaines séquences d'entretiens, ainsi que les sessions d'enregistrement des données avec les capteurs, ont été filmées. Le fait de filmer les gestes des experts nous permet de pouvoir les visualiser *a posteriori* et de garder ainsi en mémoire tous les détails propres à chaque session d'acquisition des données.

Ensuite, les gestes effectifs doivent être identifiés. Nous définissons le geste effectif comme celui qui est nécessaire pour atteindre l'objectif artistique, à la différence des gestes auxiliaires, considérés comme étant secondaires. Ainsi, selon Cadoz (2000), en musique, le geste effectif est celui qui produit

le son. Dans la poterie, il s'agit du geste qui porte un impact direct sur la matière lors de la création, alors que le geste secondaire est, par exemple, le fait de prendre de l'eau avec le bout de ses doigts pour rendre la terre plus souple. Les gestes effectifs sont identifiés à l'aide des experts et un vocabulaire visant à spécifier ces gestes est alors créé. Ce vocabulaire gestuel est composé de la description verbale des gestes numérotés suivant une nomenclature, avec des illustrations représentant sa trajectoire principale.

Dans le cas du bol, quatre gestes effectifs nécessaires sont définis. Au début, le potier lance la terre sur la tour et la centre ; ensuite, il presse avec ses doigts au centre de la boule de terre afin de créer un cylindre ; il se penche légèrement sur un côté pour définir la forme en plaçant une main à l'intérieur de l'objet et l'autre à son extérieur ; il presse en dessinant la courbe du bol ; pour enfin retirer l'objet de la tour en faisant attention, à l'aide d'un fil qui sépare l'argile de la tour. Chacun de ces gestes a une importance primordiale pour la création de l'objet et il est méticuleusement exécuté par l'expert. Certains gestes peuvent être répétés si nécessaire (définition de la forme de l'objet) en fonction de la qualité et de la quantité de la terre.

3.2.2. Capture des gestes experts

La sauvegarde, dans cette méthodologie, passe par l'étude et la modélisation du savoir-faire gestuel à l'aide des technologies de capture de mouvements et de reconnaissance de gestes. Pour cela, nous allons recueillir différentes données biomécaniques nous fournissant des informations sur les aspects cinématiques d'un geste technique (distances entre les mains, angles de l'axe vertébral, rotations des articulations, trajectoire du geste, etc.), ainsi que sur les postures globales de l'artisan. Dans notre méthodologie, à cette étape, nous travaillons avec les aspects cinématiques, car nous pouvons les enregistrer avec une technologie fiable. Nous utilisons des capteurs inertiels placés sur les différentes articulations de la partie haute du corps humain. Il s'agit plus précisément d'un

vêtement équipé de onze capteurs intégrés, couvrant le dos, le torse, les mains, les bras et la tête. Ces capteurs enregistrent les rotations, les accélérations et les orientations des articulations dans l'espace tridimensionnel. Ils enregistrent les aspects cinématiques des gestes qui concernent le mouvement en faisant abstraction de ses causes, à la différence de la cinétique, qui prend en considération l'énergie et les forces qui génèrent le mouvement. Dans le cas de la cinématique, le mouvement est décrit au travers de l'évolution temporelle de données de position, de vitesse et d'accélération (Delignières, 1999). L'objectif de moyen terme est d'utiliser des capteurs qui nous fourniraient également des informations sur la cinétique du geste et ainsi avoir une méthodologie complète, capable de s'appliquer à tout type d'artisanat.

Pour la capture des gestes experts, un protocole a été établi et suivi pour chaque session d'enregistrement des données. Il a été demandé à nos deux potiers de créer cinq bols, où chaque exécution de l'ensemble des gestes a été capturée. À la fin de ces sessions, nous avons récupéré des fichiers avec les données gestuelles des potiers. À l'intérieur de chaque fichier, les données suivent une structure précise, ce qui nous permet de reproduire le geste *a posteriori* sur un avatar.

3.3. Modélisation du savoir-faire

Jusqu'à présent, les données enregistrées ne constituent qu'un grand volume de chiffres, dépourvus de sens lorsqu'ils sont sortis de leur contexte. Notre objectif est d'utiliser ces données afin de créer des modèles du savoir-faire gestuel qui seraient utilisés pour l'apprentissage de la machine. Il est donc indispensable d'appliquer une série de traitement afin de s'assurer de leur bonne qualité. Pour cela, nous faisons appel à différents descripteurs et nous transformons les données brutes en données normalisées, en angles d'Euler ou en quaternions[2],

[2] Les angles d'Euler sont les trois angles que nous utilisons pour décrire l'orientation d'un solide par rapport à un repère. Pourtant, dans cette

etc. Nous appliquons des analyses statistiques à ces données afin d'identifier les trajectoires des gestes et leurs extrémités, d'extraire les gestes secondaires, comme les coarticulations qui existent entre les gestes effectifs. Nous utilisons également les cinq répétitions du même geste afin de définir la marge du geste expert, le seuil toléré au-delà duquel le geste s'éloigne de celui de l'expert. Une telle décomposition du geste se fait dans l'optique d'une meilleure compréhension de ses caractéristiques cinématiques.

Ensuite, nous transférons ces données traitées et normalisées sur notre système ArtOrasis, qui a été introduit en 2014 (Manitsaris *et al.*, 2014). ArtOrasis sert à modéliser le geste en apprenant à la machine à le reconnaître et à guider l'utilisateur apprenti pendant l'exécution des gestes. Il est basé sur une approche hybride d'apprentissage de la machine, combinant les Modèles Markov cachés (MMC) et la Déformation temporelle dynamique (DTD), permettant ainsi la modélisation du geste. Les MMCs sont des modèles stochastiques largement utilisés pour la reconnaissance en temps réel de formes, telles que la parole et le geste. Leur fonctionnement est articulé à la base d'un ensemble d'états internes qui décrivent le phénomène gestuel, tout en étant associé d'une part à la probabilité de transition entre deux états et, d'autre part, à la probabilité d'émission des données gestuelles d'entrée par un état donné. Dans le cas des gestes experts et après avoir défini leur vocabulaire, chaque geste est modélisé par un MMC. Chaque MMC est entraîné avec un seul exemplaire de données provenant de l'expert (apprentissage *one-shot*). Une fois le geste d'entrée reconnu (par exemple celui de l'apprenti), il est aligné dans le temps avec le geste modélisé à l'aide de la DTD, permettant ainsi de le caractériser sémantiquement et même de pouvoir comparer les deux

description surgit le problème de la perte d'un degré de liberté : le blocage de cardan (Rousseau, 2015). Les quaternions sons également utilisés pour représenter l'orientation d'objet en 3D et permettent d'éviter le problème du blocage de cadran (Diebel, 2006).

gestes, voire de mesurer leur « distance ». Le fait de modéliser ainsi les gestes de potiers experts permet de préserver leur savoir-faire, mais aussi de mieux saisir leurs composantes élémentaires.

3.3.1. Évaluation de modélisation par la reconnaissance des gestes

La validation de la bonne modélisation des gestes repose sur la capacité de notre système à les reconnaître. Comme mentionné auparavant, nous disposons des données de quatre gestes répétés cinq fois. Pour rendre la machine capable à reconnaître ces gestes, il est d'abord nécessaire de l'entraîner. Ainsi, nous entraînons la machine avec une répétition de chaque geste. Une fois les MMCs utilisés avec les quatre gestes de potiers, nous utilisons les autres quatre répétitions de chaque geste pour évaluer la capacité de notre système à les reconnaître. Afin de tester toutes les combinaisons possibles, nous procédons de manière circulaire (méthode d'estimation de fiabilité d'un modèle « Jackknife » ; Abdi *et al.*, 2010) en entraînant le système chaque fois avec des répétitions différentes d'un même geste. Cette série de tests a donné des résultats très satisfaisants puisque, pour les deux potiers, le taux de reconnaissance s'est avéré supérieur à 90 %. (Manitsaris *et al.*, 2014) Le fait que notre système soit capable de reconnaître les quatre gestes de potier signifie que nos modèles contiennent l'information appropriée dans un format convenable, que les quatre modèles englobent les aspects cinématiques de la connaissance des potiers.

3.4 Retour sensorimoteur pour la transmission de savoir-faire

Nous considérons donc qu'une préservation partielle du savoir-faire gestuel est réalisée avec les étapes décrites précédemment. Cette préservation est essentielle pour les communautés locales, car elle permet de sauvegarder un patrimoine vivant qui, dans la plupart des cas, constitue la base

de leur identité culturelle. Le fait de fournir des modèles de connaissance facilite leur appropriation collective. Pourtant, la sauvegarde seule ne permet pas d'atteindre le sommet de la chaîne de valorisation de ce patrimoine. Il est indispensable d'en assurer la transmission, mais aussi son renouvellement. En mettant à profit la connaissance préexistante, les nouvelles générations peuvent la revisiter, la réinventer et l'enrichir en créant ainsi des pistes de développement pour leurs communautés. La connaissance traditionnelle est portée par les experts, les personnes qui consacrent leur vie à l'acquisition de cette dextérité précieuse et unique. Mais sa valorisation vient avec des nouvelles idées qui peuvent favoriser le développement local, comme le tourisme culturel et le tourisme d'expérience. Pour cela, il est nécessaire de trouver d'abord le moyen approprié, efficace et attractif de transmission de la connaissance traditionnelle. À ce stade, certaines technologies peuvent servir la transmission du savoir-faire artisanal en utilisant les systèmes de capture de mouvements.

Pour utiliser notre système en tant que support à l'apprentissage du geste expert, nous apprenons d'abord à la machine un geste expert. Ensuite, nous demandons à l'apprenti de s'exercer sur ce geste. L'apprenti doit essayer de l'imiter exactement comme il fait quand il s'entraîne seul, mais en portant notre équipement avec les 11 capteurs inertiels et en gardant à ces côtés l'ordinateur avec notre application ArtOrasis. L'application compare en temps réel l'exécution du geste de l'apprenti avec le modèle de l'expert qu'elle a appris et calcule la distance entre les gestes effectués par l'expert et par l'apprenti. La comparaison entre les deux gestes est possible grâce à la DTD qui permet l'alignement temporel des deux séquences. En parallèle à l'alignement, la distance des deux gestes est calculée et, lorsqu'elle dépasse le seuil défini pendant la phase précédente d'analyse du geste expert, un retour optique est communiqué à l'apprenti via l'écran d'ordinateur pour l'informer de son erreur.

Différents types de retour existent et peuvent être intégrés dans l'application. Ce retour peut être implicite, lorsqu'il s'agit de juste signaler le dépassement du seuil, ce qui nécessite alors une interprétation de la part de l'apprenti. Il peut également être explicite et lui fournir des indications précises sur l'erreur et la correction à apporter. Il peut prendre une forme optique et apparaître sur l'écran de l'ordinateur sous forme d'indications d'orientations, telles que des flèches, ou être sonore et alerter l'apprenti sur ses erreurs, tout en lui permettant de garder les yeux sur ses mains. Ce retour sensorimoteur mobilise les sens afin de permettre à l'apprenti d'acquérir des compétences motrices jusqu'à l'obtention d'une mémoire musculaire. Selon la théorie de Piaget (1976), l'intelligence corporelle est acquise à travers l'expérience, les sens et l'interaction avec l'environnement. Dans notre méthodologie, l'apprenti interagit avec l'application qui le guide et l'aide à identifier ses points faibles en lui fournissant un retour optique implicite et explicite. Des exemples sont présentés dans la Figure 3. À gauche, nous pouvons voir le retour explicite qui indique à l'aide d'une flèche la trajectoire que le bon geste doit avoir. À droite est présenté le retour implicite qui nécessite l'interprétation de l'apprenti et qui représente son éloignement vis-à-vis du bon geste.

Figure 3. Exemple de retour explicite et implicite fourni par ArtOrasis

3.4.1 Évaluation des gestes d'apprenti exécutés sans usage de ArtOrasis

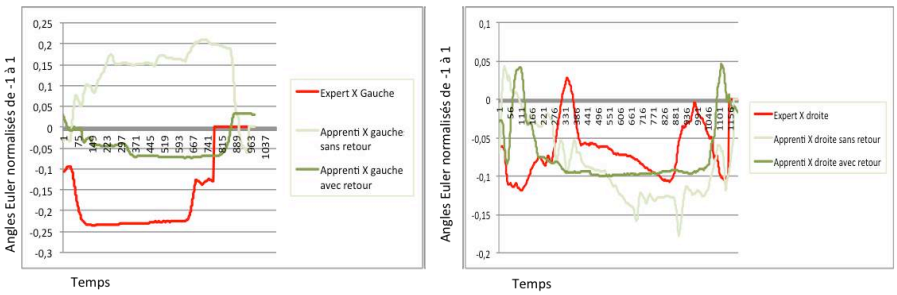
Afin de valider l'hypothèse que notre méthodologie et que l'application ArtOrasis contribuent à l'acquisition des savoir-faire gestuels, nous avons d'abord demandé à l'apprenti potier d'exécuter cinq fois les quatre gestes du vocabulaire et nous les avons enregistrés. Ces gestes ont d'abord été exécutés sans l'utilisation de l'application dans les conditions d'auto-entraînement sans la présence de l'expert. Ensuite, l'application ArtOrasis a été mobilisée avec les quatre gestes experts, comme pendant l'étape précédente, mais, ici, elle a été utilisée pour la reconnaissance du geste de l'apprenti. La méthode de Jackknife nous permet d'évaluer la capacité de la machine à reconnaître ces gestes. En utilisant les données de l'expert, nous obtenons des taux de reconnaissance des gestes de l'apprenti aux alentours de 50 %. Cette difficulté de la machine à reconnaître correctement les gestes peut être expliquée par le fait qu'ici, nous réalisons un test pluri-usagers, en utilisant les données d'une personne et en essayant de reconnaître les mêmes gestes exécutés par une autre personne. Cette difficulté peut aussi s'expliquer par le fait que les gestes de l'apprenti demeurent éloignés de ceux de l'expert, même si l'apprenti essaie d'imiter le plus fidèlement son maître.

3.4.2 Évaluation des gestes d'apprenti exécutés avec usage de ArtOrasis

Une fois ceci fait, nous avons utilisé la machine avec le premier geste et demandé à l'apprenti de porter les capteurs et d'exécuter ce geste cinq fois en tenant compte du retour fourni par l'application. Chaque fois où le geste de l'apprenti dépasse le seuil de l'expert, le retour optique est activé. Les données des cinq répétitions ont été enregistrées et la même procédure a été répétée pour les trois gestes suivants. Afin d'évaluer cette exécution à l'aide de ArtOrasis, nous avons de nouveau utilisé la machine avec les quatre gestes de l'expert et reconnu les gestes de l'apprenti exécuté en fonction du retour sensorimoteur. Par comparaison avec la série de tests précédents, les taux de reconnaissance ont été améliorés en passant en moyenne à 80 % (Glushkova *et al.*, 2015). Cela

signifie qu'avec l'utilisation de notre application, le geste de l'apprenti s'approche de celui de l'expert et que le retour sensorimoteur contribue à l'acquisition des compétences gestuelles.

Par ailleurs, si nous faisons une projection de trajectoire du mouvement sur l'un des trois axes (X,Y,Z), il devient possible de comparer celui de l'expert et celui de l'apprenti avec et sans usage de retour optique implicite. Les données présentées ici sont alignées temporellement. L'axe vertical concerne les angles d'Euler normalisés et l'axe horizontal, le temps écoulé en cadence. En rouge, nous voyons la trajectoire de l'expert, en vert clair, celle de l'apprenti sans retour et, en vert foncé, avec retour. Dans la Figure 4 a), il est possible d'observer que les valeurs des rotations du geste de l'apprenti exécuté avec retour sont plus proches de celles de son maître par rapport au geste exécuté sans accompagnement de l'application. Il en est de même pour le geste 3, présenté en b). Ici, nous observons deux sommets dans le mouvement de l'expert sur l'axe X. Lorsque l'apprenti répète le geste sans retour optique, son premier sommet est décalé et vient chronologiquement avant celui de l'expert. Le second est inversé, donc erroné, avec des valeurs d'une déviation importante. Lorsque l'apprenti fait le même geste avec l'assistance de notre application, le premier pique apparaît environ cinq secondes plus tard et s'approche plus du moment du pique de l'expert. L'amélioration la plus importante est pourtant observée pour le second pique, qui suit maintenant la même trajectoire en dépassant même légèrement celui de l'expert.



a) Geste 2, Axe X, main gauche

b) Geste 3, Axe X, main droite

Figure 4. Comparaison des données des gestes virtuels d'un apprenti avec et sans retour visuel implicite

Ces premiers résultats prometteurs permettent d'observer une amélioration dans la performance de l'apprenti avec l'utilisation de l'application pédagogique ArtOrasis. La machine évalue la performance de l'apprenti, l'accompagne, le guide pour qu'il puisse corriger ses erreurs, porter plus d'attention à certaines postures. Un tel outil pourrait constituer un support efficace et attractif à la formation des jeunes aux métiers traditionnels, ou à tout métier manuel.

Pour proposer un outil pédagogique complet et optimal, il est encore indispensable d'évaluer les autres types de retour ainsi que leurs combinaisons, de mener des tests avec un plus grand nombre d'utilisateurs et avec une plus grande variété de formes et d'objets créés. L'intégration des éléments de jeux pourrait aussi être intéressante afin de renforcer la motivation des utilisateurs et de leur donner la possibilité d'apprendre en s'amusant.

4. Discussion

4.1 Contribution de ArtOrasis à la transmission du savoir-faire

Avant de poursuivre notre recherche et notre quête d'une application plus complète et performante, il est indispensable de réfléchir à la contribution globale des outils numériques à la transmission des connaissances. Comment ces outils peuvent-ils transformer l'expérience vécue par l'utilisateur lors de l'apprentissage ? Comment peuvent-ils constituer un support à l'auto-entraînement et à la perception du geste ?

Auprès des acteurs impliqués dans la transmission des savoir-faire, il est possible d'identifier différents niveaux de détention d'information. Le premier est celui qui s'appelle perception « à la première personne ». Il s'agit ici de la compréhension et de la perception du geste du point de vue de l'exécuteur expert. Cette perspective inclut la capacité de l'expert à contrôler ses forces motrices de manière quasiment automatique afin de créer des objets parfaits. L'expert a développé en lui une approche basée sur l'action et peut prévoir les conséquences de chaque geste sur la matière. La perception du geste « à la première personne » est celle que l'expert a.

La perception du geste « à la deuxième personne » se réfère à la façon dont les autres perçoivent le geste expert dans un contexte d'interaction sociale. Cette approche est la plus utilisée dans les centres de formation professionnelle, les écoles de musique, etc. Le sujet, l'apprenant, observe les experts d'un point de vue extérieur et construit « ma » perception de « votre » geste (Darwin, 1871). Selon cette « moi-à-vous » relation, un système miroir est établi entre l'expert et l'apprenant, où les mouvements de l'apprenant sont déployés afin que le mouvement de l'expert soit compris comme une action de l'apprenant.

Finalement, la perception du geste « à la troisième personne » se concentre sur la mesure et la capture de gestes ou d'objets en mouvement. C'est la perception d'un ordinateur *via* l'enregistrement audio, vidéo, les technologies de capture de mouvements ou du signal cérébral (Camurri, 2005 ; Friberg, 1999).

Par conséquent, le fait d'apprendre un geste reste encore plus ou moins une boîte noire pour le novice, puisqu'il ne peut aborder l'apprentissage que de la perspective de la deuxième personne, celle de l'observateur. En utilisant ArtOrasis, l'apprentissage devient une expérience à la première personne, car c'est la performance gestuelle de l'élève qui active le retour sensorimoteur calculé en comparant sa performance avec celle de l'expert. L'apprenti essaie ainsi de traduire en action les mouvements de l'expert, il se positionne à sa place, et la machine compare ses gestes précisément avec ceux de son maître. L'application pédagogique ArtOrasis devient porteuse de la perception du geste à la première personne et donne la possibilité à l'élève de vivre l'apprentissage en tant qu'une expérience en soi.

La transmission des savoir-faire est une mission complexe, impliquant plusieurs facteurs, dont avant tout le facteur humain. L'interaction qui s'installe entre le maître et son apprenti contribue à la transmission des messages nécessaires pour l'acquisition de la connaissance. Lorsque l'apprenti tente d'imiter son maître, ce dernier le guide de manière verbale, en donnant des conseils précis, ou alors il utilise le contact physique en touchant les mains de l'apprenti pour l'aider à comprendre la pression à mettre sur la matière, l'intensité, la vitesse, le rythme du tournage. Lorsque l'apprenti s'exerce dans son environnement, il ne garde en tête que le souvenir de cette interaction et agit seul, sans l'évaluation d'un sujet extérieur.

C'est à cette étape que nous venons proposer ArtOrasis en tant qu'outil de support à la formation, à l'exercice de l'apprenti. L'objectif n'est pas de prétendre pouvoir remplacer l'expert par

un outil numérique, car ce dernier n'est pas capable de modéliser les facteurs humains du processus de transmission de la connaissance ; il se limite aux aspects biomécaniques d'un geste.

4.2 Mise en valeur des savoir-faire locaux via les outils numériques (ArtOrasis)

La mise en avant des savoir-faire et leur transmission peuvent avoir un impact culturel, social, mais aussi économique pour un territoire. Identifier ses ressources culturelles, les promouvoir, assurer leur préservation et leur transmission permet de renforcer l'identité locale et de tisser des liens forts entre les parties prenantes, les anciennes et les nouvelles générations, ainsi qu'entre divers acteurs locaux. Pour un expert, virtuose et vétéran de son art, transmettre sa connaissance donne encore plus de sens à sa passion, favorise l'échange, la naissance de nouvelles idées et inspirations. Pour un jeune, découvrir un métier traditionnel et typique de sa région pourrait l'amener à faire un choix de voie professionnelle alternative, à exercer un métier manuel, créatif et passionnant.

Afin d'attirer la population vers ces choix alternatifs, il est nécessaire de l'informer, de contribuer à la création d'une image positive de l'artisanat et de fournir les moyens nécessaires à la promotion des savoir-faire traditionnels. L'accès aux ressources pourrait se faire par l'intermédiaire de l'organisation des écoles territoriales, qui auraient pour objectif de transmettre le PCI et de mettre en valeur des savoir-faire locaux. Un espace dédié à la tradition pourrait permettre à l'apprenti d'avoir accès à différents types de savoir-faire, à effectuer des expérimentations et à apprendre les bases de son identité locale. Ce serait un espace d'échange intergénérationnel, d'apprentissage et de renouvellement du PCI par la transmission en personne, mais aussi par l'autoformation.

Les outils numériques, tels que l'IHM ArtOrasis, pourraient servir de support en renforçant l'efficacité des entraînements des apprentis, mais aussi en favorisant leur motivation. L'utilisation des technologies, plus précisément des systèmes de capture de mouvements, est susceptible d'intriguer l'utilisateur et d'augmenter son intérêt par rapport à l'application. Il apparaît en effet positif chez bon nombre de jeunes d'utiliser des technologies dans le cadre d'apprentissages. Cela peut même s'avérer valorisant d'un point de vue symbolique. Ces outils de formation permettent d'atteindre une interaction dynamique et non pas linéaire, incorporée et non pas standardisée, entre l'apprenti et la machine. Utiliser son corps afin de recevoir le retour de la part de l'application et non pas des dispositifs intermédiaires tels que la souris d'un ordinateur ne rendrait-il pas l'apprentissage plus intéressant, plus interactif et plus ludique ?

La création de telles institutions/associations/écoles avec usage d'outils pédagogiques innovants pourrait également contribuer à la visibilité d'une région tant sur les plans national qu'international. Le fait de mettre à disposition des visiteurs des installations pédagogiques interactives pourrait permettre à une région de se positionner en tant que promoteur du tourisme d'expérience. Le visiteur aurait alors la possibilité de découvrir les savoir-faire traditionnels non pas comme un observateur, mais comme un acteur, à l'aide d'outils technologiques. Il pourrait explorer certains aspects des métiers traditionnels de manière directe, en portant l'équipement et en utilisant l'application pédagogique en question.

Cependant, il est important de souligner que ArtOrasis ne constitue qu'un dispositif technologique expérimental et que son efficacité dépend également d'autres actions qui peuvent être implémentées en parallèle pour la valorisation du PCI. Les initiatives locales, la sensibilisation des communautés à l'usage des technologies en font partie et sont nécessaires. Ainsi, l'usage d'une installation pédagogique interactive seule ne serait probablement pas suffisant pour découvrir l'art de la

poterie, typique à une région. Cependant, lorsqu'elle complète une expérience sensible, le contact réel du corps avec la terre, elle peut apporter une valeur ajoutée importante.

Conclusion

Cet article a proposé une méthodologie pour la préservation et la transmission des savoir-faire traditionnels constitutifs du *patrimoine culturel immatériel*, à l'aide des technologies de reconnaissance du geste et d'apprentissage sensorimoteur. Il s'agit bien d'une méthodologie complémentaire par rapport aux outils d'archivage, de sauvegarde et de transmission existants. La transmission « en personne » qui a fait ses preuves à travers l'histoire de l'humanité n'est pas, ici, remise en question. Les rapports entre le maître et l'apprenti constituent souvent la base d'un apprentissage efficace. Notre méthode vise à compléter ces rapports et à offrir un outil de support à l'auto-entraînement, à partir du moment où l'apprenti ne peut pas être guidé par l'expert.

Actuellement appliquée à la capture et à la transmission des aspects cinématiques des gestes experts, elle peut être étendue pour également couvrir les paramètres cinétiques du geste. Les expérimentations doivent être enrichies en impliquant un nombre d'utilisateurs plus élevé, ainsi qu'une grande variété de retours optiques et sonores. D'un point de vue technologique, pour proposer un dispositif d'apprentissage de poterie plus complet, il est nécessaire d'y intégrer d'autres types de capteurs permettant de mesurer la force et la pression exercées par les mains sur la terre, permettant de reconnaître les gestes des doigts. Nous avons déjà engagé des travaux de recherche allant dans cette direction.

La méthodologie décrite ci-dessus constitue une « boîte à outils » pour la préservation et la transmission des savoir-faire traditionnels dans un contexte formel, telles les écoles territoriales (école d'artisanat, de musique, etc.). Néanmoins, l'application d'une telle méthodologie dans un contexte non

formel ne serait absolument pas à exclure, car, très souvent, les initiatives spontanées pour approfondir les connaissances sur un métier d'art, ou bien une forme artistique en général, s'inscrivent parfaitement dans la conception d'une « éducation tout au long de la vie ».

Remerciements

Le travail présenté dans cet article a été réalisé dans le cadre du projet ArtiMuse, implémenté dans le cadre de l'action de « Support des chercheurs post doctorants » du programme opérationnel « Éducation et formation continue ». Le bénéficiaire de l'action est le Secrétariat général de Recherche et Technologie et elle est cofinancée par le Fonds social européen et l'État grec.

Références bibliographiques

ABDI H. et WILLIAMS, L. J., 2010, « Jackknife ». Dans N. SALKIND (dir.), *Encyclopedia of Research Design*, Thousand Oaks, Sage Publications.

AIKAWA N., 2004, « An Historical Overview of the Preparation of the UNESCO », International Convention for the Safeguarding of Intangible Heritage, *Museum International*, vol. 56, pp. 137-149.

ALEXIADIS D. S., KELLY P., DARAS P., O'CONNOR N. E., BOUBEKEUR T. et MOUSSA M. B., 2011, « Evaluating a dancer's performance using kinect-based skeleton tracking », Proceedings of the *19th ACM international conference on Multimedia*, ACM, New York, USA, pp. 659-662.

ALIVIZATOU M., 2012, « Debating Heritage Authenticity: Kastom and Development at the Vanuatu Cultural Centre », *International Journal of Heritage Studies*, vol. 18, n° 2, pp. 124-143.

AYLWARD R., LOVELL S. D., et PARADISO J. A., 2006, « A Compact, Wireless, Wearable Sensor Network for Interactive Dance Ensembles », dans *Proceedings of BSN 2006, The IEEE International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks*, 3-5 avril, Cambridge (MA), pp. 65-70

BASU B., 2011, « Object Diasporas, Resourcing Communities: Sierra Leonean Collections in the Global Museums cape », *Museum Anthropology*, vol. 34, n° 1, pp. 28-42.

BORTOLOTTO C., 2011, *Le Patrimoine culturel immatériel. Enjeux d'une nouvelle catégorie*. Paris, Éditions de la Maison des sciences de l'homme.

BRIL B., 2011, « Description du geste technique : quelles méthodes? », *Techniques & Culture*, n° 54-55, pp. 243-244.

BOUCHER M., 2011, « Virtual dance and motion-capture », *FormaMente: Rivista internazionale di ricerca sul futuro digitale*, vol. 6, n° 1-2, pp. 53-78.

CHEVALLIER D., 1991, *Savoir faire et pouvoir transmettre. Transmission et apprentissage des savoir-faire et des techniques*, Paris, Maison des sciences de l'homme.

CADOZ C. et WANDERLEY M., 2000, « Gesture-music. Trends in gestural control of music », <http://www.music.mcgill.ca/~mwanderley/Trends/Trends_in_Gestural_Control_of_Music/DOS/P.CadWan.pdf>, dernière consultation le 24 avril 2017.

CAMURRI A., VOLPE G., DE POLI G. et LEMAN M., 2005, « Communicating expressiveness and affect in multimodal interactive systems », *Ieee Multimedia*, vol. 12, n° 1, pp. 43-53.

COLLINS H., 2010, *Tacit and explicit knowledge*, Chicago, University of Chicago Press.

CORAZZA S., MUNDERMANN L., CHAUDHARI A., DEMATTIO T., COBELLI, C. et ANDRIACCHI T., 2006, « A markerless motion capture system to study musculoskeletal biomechanics: Visual hull and simulated annealing approach », *Annals of Biomedical Engineering*, vol. 34, n° 6, pp. 1019-1029.

DALE E., 1969, *Audiovisual Methods in Teaching*, New York, Dryden Press.

DAPOGNY A., DE CHARETTE R., MANITSARIS S., MOUTARDE F. et GLUSHKOVA A., 2013, « Towards a Hand Skeletal Model for Depth Images Applied to Capture Music-like Finger Gestures », dans *10th Int. Symposium on Computer Music Multidisciplinary Research* (CMMR'2013), Marseille France.

DARWIN C., 1872, *The Expression of the Emotions in Man and Animals*, Londres, J. Murray.

DIEBEL J., 2006, « Representing attitude: Euler angles, unit quaternions, and rotation vectors », *Matrix*, vol. 58, n° 15-16, pp. 1-35.

DELIGNIÈRES D., 1999, « Perceived Difficulty, Resources Investment, and Motor Performance », *Psychology for Physical Educators*, <https://didierdelignieresblog.files.wordpress.com/2016/03/europeantextbook1999.pdf>, dernière consultation le 24 avril 2017.

FRIBERG A. et SUNDBERG J., 1999, « Does music performance allude to locomotion? A model of final ritardandi derived from measurements of stopping runners », *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 105, n° 3, pp. 146-148.

GANDON E., 2011, *Influence of cultural constraints in the organization of the human movement: Proposition of a theoretical framework and empirical support through the example of pottery-throwing (France/India Prajapati/India Multani Khumar)*, Thèse de doctorat, Université de la Méditerranée, Aix-Marseille II.

GLUSHKOVA A. et MANITSARIS S., 2015, « Gesture Recognition Technologies for Gestural Know-How Management : Preservation and Transmission of Expert Gestures in Wheel Throwing Pottery », *CSEDU 2015*, Lisbonne, Portugal.

GRUNDBERG D., 2008, « Gesture Recognition for Conducting Computer Music », <http://schubert.ece.drexel.edu/research/gestureRecognition>, dernière consultation le 10 janvier 2017.

MANITSARIS S., GLUSHKOVA A., BEVILACQUA F. et MOUTARDE F., 2014, « Capture, Modeling, and Recognition of Expert Technical Gestures in Wheel-Throwing Art of Pottery », *Journal on Computing and Cultural Heritage*, vol. 7, n° 2, <https://halshs.archives-ouvertes.fr/hal-00975857/document>, dernière consultation le 24 avril 2017.

MANITSARIS S., TSAGARIS A., DIMITROPOULOS K. et MANITSARIS A., 2015, « Finger musical gesture recognition in 3D space without any tangible instrument for performing arts », *International Journal of Arts and Technology*, vol. 8, n° 1, pp. 11-29.

NG K., 2008, « Interactive feedbacks with visualisation and sonification for technology-enhanced learning for music performance », dans *Proceedings of the 26th annual ACM international conference on Design of communication*, Lisbonne (Portugal), p. 281-282.

PALMER C. et PFORDRESHER P. Q., 2000, « From my hand to your ear: the faces of meter in performance and perception », dans *Proceedings of the 6th International Conference on Music Perception and Cognition*, Keele (GB).

PIAGET J., 1976, *Piaget's theory*, Springer Berlin Heidelberg, pp. 11-23.

RAPTIS M., KIROVSKI D. et HOPPE H., 2011, « Real-time classification of dance gestures from skeleton animation », dans *Proceedings of ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation*, New York (NY), pp. 147-156.

RASAMIMANANA N., BERNARDIN D., WANDERLEY M. et BEVILACQUA F., 2008, « String bowing gestures at varying bow stroke frequencies: A case study », *Advances in Gesture-Based Human-Computer Interaction and Simulation*, vol. 5085, pp. 216-226.

ROUSSEAU J.-J., 2015, *Les angles d'Euler dans physique et simulations numériques*, Faculté des sciences exactes et naturelles, Université du Maine, <http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/meca/angleeuler.html>, dernière consultation le 18 avril 2017.

SHOTTON J., FITZGIBBON A., COOK M., SHARP T., FINOCCHIO, M., MOORE R., KIPMAN A. et BLAKE A., 2011, « Real-time human pose recognition in parts from single depth images », *CVPR 2011*, pp. 1297-1304.

SIGAUT F., 2012, *Comment Homo devint faber : comment l'outil fit l'homme*, Paris, CNRS Éditions.

UNESCO, 2003, *Convention pour la sauvegarde du patrimoine culturel immatériel*, <http://www.unesco.org/culture/ich/fr/convention>, dernière consultation le 24 avril 2017.

WANG K. A., LIAO Y. C., CHU W. W., CHIANG J. Y. W., CHEN Y. F. et CHAN P. C., 2011, « Digitization and value-add application of bamboo weaving artifacts », *Digital Libraries For Cultural Heritage, Knowledge Dissemination and Future Creation*, Springer Berlin Heidelberg, pp. 16-25.