

La réalité virtuelle pour l'apprentissage des gestes professionnels dans la formation en Odontologie : enquêtes menées auprès des enseignants

Virtual reality for learning professional gestures in dental training: surveys among teachers

Valériane Loison¹ ; Fabrice Pirolli¹ ; Raphaëlle Crétin-Pirolli¹ ; Serena Lopez²

¹Le Mans Université, IUT de Laval, laboratoire CREN, Nantes, France

²Nantes Université, laboratoire CREN, France

Résumé. Cette recherche vise à théoriser un modèle didactique d'enseignement-apprentissage de l'intelligence artificielle (IA) à partir des pratiques de la Maison de l'intelligence artificielle (MIA) en France. Alors que de nombreux appels à accroître la littératie de l'IA dans la population générale et en particulier auprès des publics scolaires se font entendre, peu a encore été dit sur la manière de le faire. Les contenus d'apprentissage, les méthodes pédagogiques et les ressources nécessaires (y compris matérielles) sont encore à ce jour peu discutés. Le milieu de la médiation scientifique, qui a commencé à acculturer à l'IA avant la vague de l'IA générative, peut être un précieux point de départ pour documenter cette didactique. Des observations ont été réalisées lors d'activités de médiation scientifique auprès d'élèves, de même que des entretiens auprès de l'équipe de médiation. Un modèle d'enseignement-apprentissage de l'IA est introduit, lequel doit à présent être vérifié empiriquement.
Mots-clés : intelligence artificielle (IA), didactique de l'IA, littératie de l'IA, médiation scientifique, éducation

Abstract. This research aims to build a teaching and learning model for artificial intelligence (AI) based on scientific outreach practices of the 'House of Artificial Intelligence' (Maison de l'intelligence artificielle, MIA) in France. As artificial intelligence (AI) is increasingly impacting professional and civic life, numerous calls to increase AI literacy among the population and particularly through schools are being made. Little attention has been paid to AI didactics. Learning content, pedagogical methods and learning resources (including material) have not yet been clearly discussed. Scientific outreach organizations, which began introducing students to AI before the wave of generative AI, can be a precious starting point for this discussion. Onsite observations were conducted during scientific outreach sessions with high school students, as well as semi-structured interviews with staff involved. A teaching model specific to AI literacy is proposed and should be empirically tested.

Keywords: artificial intelligence (AI), AI education, AI literacy, scientific outreach, education

1. INTRODUCTION

Dans le domaine de la santé, le nombre d'étudiants connaît une évolution importante avec une augmentation des effectifs de 20 % sur la période 2021-2025 alors que les facultés peinent à recruter un nombre suffisant d'enseignants. En Odontologie, discipline dédiée à l'étude et au traitement des dents, la situation est d'autant plus problématique que le coût des consommables, la densité de la formation et l'organisation humaine et matérielle limitent le nombre et la durée des Travaux Pratiques (TP) réalisables par les étudiants. Il devient donc nécessaire de réadapter les méthodes employées pour l'apprentissage des gestes. Pour répondre à ces impératifs, certains établissements se sont tournés vers de nouvelles formes de simulation perçues comme une opportunité d'autoformation et d'individualisation des parcours tout en garantissant l'acquisition des compétences motrices. Ces nouveaux simulateurs, numériques, intègrent la Réalité Virtuelle (RV) et les dispositifs haptiques (mobilisant le sens du toucher), et fournissent une expérience d'apprentissage immersive et interactive.

Depuis le début de l'année 2022, dans le cadre du projet EVAGO (Environnement Virtuel pour l'Apprentissage du Geste en Odontologie), un consortium pluridisciplinaire s'intéresse à l'impact de l'utilisation d'un simulateur disposant de la RV et d'un dispositif haptique pour l'apprentissage des gestes professionnels. Nous présentons dans ce texte une partie des travaux menés par les chercheurs en Sciences Humaines et Sociales qui portent sur les usages possibles du simulateur au cœur du projet pour l'apprentissage des gestes dans la formation des chirurgiens-dentistes. Avant d'envisager des usages potentiels, il importait d'abord de définir ce qu'est un geste et d'en préciser les modalités d'apprentissage pour comprendre comment le simulateur pourrait y contribuer. Aussi, cet article vise à éclairer la notion de geste et à préciser les modalités d'usage de tels simulateurs, ainsi qu'à analyser les conséquences possibles de leur introduction dans la formation en Odontologie. Pour cela, nous mobiliserons en particulier les représentations, les ressentis et retours d'expérience des enseignants. La formation en Odontologie est encadrée par un référentiel national qui en fixe les grandes orientations. Toutefois, la littérature consacrée spécifiquement au déroulement des TP et aux modalités d'enseignement des gestes techniques et des postures reste encore peu fournie ou peu accessible.

Dans une première partie, nous nous attacherons d'une part, à éclairer la notion de geste professionnel et son apprentissage notamment par la simulation, et d'autre part, à rappeler la définition de la RV ainsi que ses avantages et limites pour l'apprentissage des gestes. Dans la deuxième partie, nous présenterons le contexte de la formation en Odontologie et les questionnements relatifs à l'enseignement des gestes professionnels en particulier à l'aide des simulateurs équipés de la RV. Enfin, la troisième partie présentera les résultats issus d'enquêtes menées auprès d'enseignants en Odontologie. Il s'agit d'approcher leur propre définition du geste mais également leurs pratiques pédagogiques. Seront alors présentées des pistes d'intégration d'un simulateur de RV ainsi que les adaptations pédagogiques, techniques et organisationnelles qu'elles induiraient.

La littérature mobilisée, le cadre théorique, tout comme les résultats présentés, ne portent pas sur la conception des simulateurs ni sur leur efficacité en matière d'apprentissage ou d'enseignement des gestes professionnels. Notre recherche s'attache plutôt à examiner leurs avantages, leurs limites et leurs usages potentiels, autrement dit la manière dont ces dispositifs peuvent s'inscrire dans des pratiques pédagogiques déjà établies et répondre aux besoins et attentes des enseignants.

2. APPRENDRE UN GESTE PROFESSIONNEL AVEC LA RV

2.1 LA SIMULATION POUR APPRENDRE UN GESTE PROFESSIONNEL

2.1.1 L'apprentissage du geste professionnel

Le *geste professionnel* est un concept difficile à cerner. La notion de *geste* se rapporterait à « *l'inscription des actes dans le corps* » (Sensevy, 2005, p. 4). Le geste réussi est machinal, incorporé (Clot *et al.*, 2007). Il n'est pas conscient et fait partie du monde des « sous-entendus, individuels et collectifs, qui organisent l'action à l'insu du sujet » (Clot *et al.*, 2007, p. 112). Le terme *professionnel* renvoie au *métier*. Les gestes professionnels sont donc « des gestes dont le système constitue une structure spécifique métier » (Sensevy, 2005, p. 4). En outre, les gestes professionnels seraient un « art du faire », non pas comme une simple routine mais comme la capacité d'un professionnel à décrypter les situations dans ce qu'elles ont d'inchangées et d'appeler des connaissances déjà acquises (Sensevy, 2005). C'est la cristallisation de cette « technè », cet « art de faire » ou cette « technique » à des fins de transmission qui est complexe à définir pour les professionnels qui s'y intéressent. Pour Leplat (2013), le geste est « *un mouvement humain auquel est attribué une signification* » (Leplat, 2013, p. 3). Selon l'auteur, il n'est donc pas observable. Ce qui l'est, « c'est le mouvement auquel est attribuée la signification, c'est l'action ou l'action dans laquelle il s'insère qui donne (ou non) au mouvement la qualité de geste » (Leplat, 2013, p. 3). L'apprentissage d'un geste ne concernerait donc pas l'acquisition d'un geste par une opération de connaissance, mais d'une compréhension du geste par le sens qui lui est attribué dans le cadre de référence dans lequel il est interprété (Leplat, 2013). Le geste se distingue du mouvement « par le fait qu'il porte en lui une intentionnalité, une histoire et qu'il peut être associé à un artefact qui le médiatise » (Petit et Oudart, 2017, p. 14). Il s'agit d'une part de l'acquisition de mouvements du corps, et d'autre part la compréhension et l'attribution de significations à ces mouvements au sein de l'action dans laquelle ils s'insèrent. Dans le cas des gestes professionnels, ils sont relatifs à un corps de métier c'est-à-dire à un ensemble de personnes effectuant la même profession. Aussi, un geste technique est nécessairement maîtrisé (Ribault, 2011). C'est faire de son propre corps un moyen technique appareillé ou non par des objets techniques (outils et/ou machines) pour atteindre un objectif et « *revient à imprimer, à graver au plus profond de soi une technicité qui devient aussi une identité* » (Ribault, 2011, p. 6).

L'apprentissage du geste professionnel est donc une activité complexe et relève d'un ensemble de dimensions individuelles, situationnelles et expérientielles (Petit et Oudart, 2017). C'est la dimension individuelle qui semble la plus difficile à expliciter et accompagner. Elle concerne des aspects cognitifs et physiques (morphologie, force, fatigue, dynamisme, ...), des aspects psychiques (stress, affects, sensibilité) ou même socioculturels (habitus, coutumes, ...) (Petit et Oudart, 2017). En effet, la morphologie du corps est propre à chaque individu. Pour la réalisation de l'action, de multiples solutions de mouvements sont possibles pour atteindre un même but (Bril, 2019). Un geste technique peut être réalisé de différentes manières et l'apprenant peut élaborer des stratégies d'action variées (type de trajectoire, type d'énergie déployée, ...). Ainsi, il s'agit de « l'acquisition de la capacité à produire l'énergie cinétique ajustée au projet de l'acteur, et non pas à effectuer un mouvement particulier » (Bril, 2019, p. 81). L'apprentissage et la réalisation des gestes professionnels dépend donc de variables propres à l'individu et rend difficile son enseignement. D'ailleurs pour Bril (2019), « ce que doit apprendre un novice pour devenir expert n'est pas d'abord un mouvement des membres ou du corps tout entier, mais la

capacité, par l'intermédiaire d'une stratégie de mouvement qui lui est propre, de satisfaire aux contraintes de la tâche » (Bril, 2019, p. 87). Ce constat implique de considérer le geste au-delà d'une simple exécution mais comme une construction (Lémonie et Chassaing, 2013). La difficulté des formations à l'apprentissage de gestes réside dans la formalisation des raisonnements, des connaissances et des concepts qui entourent cette élaboration (Petit et Oudart, 2017). Aussi, le geste correctement effectué dépend de la maîtrise de l'environnement pour réaliser une action dans un but donné c'est-à-dire « la capacité d'une personne à maîtriser les conditions de réalisation grâce à ses connaissances, son habileté motrice, ses capacités d'adaptation, de planification et d'évaluation » (Petit et Oudart, 2017, p. 25). Les formations doivent offrir les conditions et les ressources pour permettre aux apprenants de maîtriser leur environnement de travail et construire leurs gestes.

Finalement, nous retenons que la maîtrise d'un geste professionnel comprend une stratégie de mouvements propre à un individu, mise en œuvre pour répondre aux contraintes d'une action à effectuer, en fonction d'un cadre de référence régi par un corps de métier. Son apprentissage est complexe puisqu'il revêt des dimensions situationnelles, individuelles et expérientielles.

2.1.2 La simulation comme méthode d'apprentissage des gestes professionnels

De nombreux chercheurs de différents horizons disciplinaires se sont intéressés aux méthodes d'apprentissage d'un geste professionnel. La simulation est une des méthodes d'apprentissage largement utilisées dans les formations. Par un apprentissage actif et expérientiel, elle permet de répéter des situations et de refaire des mouvements en autorisant les erreurs tout en étant sans risque pour la sécurité de l'apprenant ou de ce qui l'entoure (Conjard, 2003). Aussi, elle conduit à la « systématisation de la réflexion sur l'action permettant la conceptualisation et la transférabilité » (Rouge, 2016, p. 180). Autrement dit, répéter l'action favorise la compréhension et l'assimilation organisée de concepts généraux afin de pouvoir les réutiliser et les appliquer dans d'autres situations. Pour Clot *et al.* (2007), c'est dans le mouvement que le geste prend son sens. Acquérir des automatismes permet de garantir l'efficacité du geste (Clot *et al.*, 2007). L'enjeu est donc à la fois de construire des situations qui intègrent cette maîtrise gestuelle et « de donner l'occasion à chacune des personnes formées de trouver sa posture personnelle et singulière (position du corps, du bras, appui, déplacement), et de faire l'expérience du geste tout en entrant progressivement dans sa complexité afin de construire des indicateurs sensoriels et visuels pour guider son action » (Petit et Oudart, 2017, p. 23). Une séance de simulation en formation comprend généralement des étapes de préparation de la séance ou *briefing*, de pratique supervisée et de rétroaction ou *debriefing* et se rapporte à une simulation de l'activité (Audétat Voirol *et al.*, 2016 ; Malet *et al.*, 2017).

Présente depuis longtemps dans les cursus de formation en santé en réponse au principe fondamental « jamais la première fois sur le patient » (HAS, 2024, p. 90), les apprenants pratiquent dans un environnement sécurisé qui leur permet d'apprendre des gestes et des procédures sans risque réel d'erreur. Le recours à la simulation est codifié par le « Guide de bonnes pratiques de la simulation en Santé » (Malet *et al.*, 2017). Selon la Haute Autorité de Santé (HAS), la simulation correspond à « l'utilisation d'un matériel (comme un mannequin ou un simulateur procédural), de la réalité virtuelle ou d'un patient simulé (ou personne simulée), pour reproduire des situations ou des environnements de soins, pour enseigner des procédures diagnostiques et thérapeutiques et permettre de répéter des processus, des

situations cliniques ou des prises de décision par un professionnel de santé ou une équipe de professionnels » (HAS, 2024, p. 5).

La simulation peut donc être organique ou non organique (HAS, 2024) et avoir recours à l'utilisation de dispositifs matériels appelés « simulateurs » reproduisant des situations de travail (Conjard, 2003). Ces dernières années, les simulations numériques se développent et s'intègrent progressivement dans les formations en santé. Dans notre recherche, nous nous intéressons à l'usage d'un dispositif numérique utilisant la RV pour l'apprentissage des gestes professionnels dans la formation en Odontologie.

2.2 LA RV POUR L'APPRENTISSAGE DES GESTES PROFESSIONNELS

2.2.1 La RV : définition

Outre sa propension à simuler un environnement qui se veut proche de la réalité tout en offrant un espace sécurisé pour l'apprenant, elle revêt des spécificités qui lui valent un engouement certain¹. La RV est définie par Fuchs (2006) comme un « Domaine scientifique et technique exploitant l'informatique et des interfaces comportementales en vue de simuler dans un monde virtuel, le comportement d'entités 3D, qui sont en interaction en temps réel entre elles et avec un ou des utilisateurs en immersion pseudo-naturelle par l'intermédiaire de canaux sensori-moteurs » (Fuchs *et al.*, 2006, p. 8). Elle comprend « un ensemble large de dispositifs » (Bonfils et Durampart, 2013, p. 108) permettant « une simulation numérique immersive et interactive » (Tisseron, 2021, p. 190). Ces dispositifs de simulation ont deux spécificités : l'immersion et l'interaction. L'interaction peut être définie comme « une relation qui se crée entre l'utilisateur et l'environnement virtuel qui donne l'illusion du réel grâce aux éléments sensori-moteurs (des informations visuelles, sonores et haptiques) » (Molle *et al.*, 2020, p. 72). Il s'agit donc d'une réaction réciproque entre l'utilisateur qui mobilise son corps et le système informatique². L'immersion renvoie à « un puissant sentiment d'absorption physique, mental et émotionnel soit dans la situation de la vie ordinaire, soit au sein d'une représentation » (Bourassa, 2014, p. 2). La notion d'immersion est mixte et renvoie à notre présence physique dans le monde donc au corps/matériel et à la présence subjective sur le plan mental, l'esprit/symbolique. L'immersion implique une polysensorialité (Fuchs, 2018) et est donc subjective. Elle concernerait finalement les stimuli produits par le dispositif de RV et serait dépendante du degré de fidélité perçu par rapport à la réalité (Roy, 2017).

Les simulateurs de RV peuvent regrouper différents dispositifs d'interaction et d'immersion (Burkhardt, 2003) : dispositifs de présentation visuelle (écran, cave, visiocasque), dispositifs de retour proprioceptifs et cutanés (retour d'effort), dispositifs de capture de position ou de mouvement (gants de données, capteurs), dispositifs d'entrée et de présentation (clavier, souris, microphone, caméra, haut-parleurs...). Les utilisateurs peuvent mobiliser une ou plusieurs de ces interfaces. Nous choisissons d'utiliser le terme immersion « totale » lorsque le dispositif a recours au visiocasque et immersion « partielle ou semi-immersif » lorsqu'il comprend un ou des écrans (sans visiocasque) qui peuvent être associés à d'autres dispositifs matériels (bras haptique par exemple). La faible immersion mobilise

¹ Le marché de la réalité virtuelle pour l'éducation et la formation devrait atteindre 67.02 milliards USD d'ici 2029. <https://www.mordorintelligence.com/fr/industry-reports/virtual-reality-vr-market-in-education>

² Ensemble des moyens de saisie, de traitement et de transmission de l'information mis en œuvre pour une application donnée (Larousse).

uniquement des écrans d'ordinateur et est qualifiée de « réalité virtuelle de bureau » ou « non-immersive desktop VR » (Rehman *et al.*, 2022, p. 381).

2.2.2 La RV pour l'apprentissage des gestes professionnels en Odontologie

Bien que les usages de la RV pour la formation soient récents et encore expérimentaux, ils ont déjà fait l'objet de différents travaux dans une grande diversité de contextes, de pays et de champs d'application. Fuchs (2018) rappelle que les premières formations professionnelles mobilisant la RV avaient pour objectif l'apprentissage des gestes professionnels. De nombreux secteurs s'intéressent à la RV pour l'apprentissage tels que l'art (Brigaud *et al.*, 2021), l'artisanat (Kraus *et al.*, 2025), l'industrie (Da Dalto, 2004), l'aéronautique (Delgoulet et Boccara, 2017), la santé (Henry, 2019), les langues (Molle *et al.*, 2020), le sport (Witte *et al.*, 2025), la formation des enseignants (Bolduc *et al.*, 2024). Ces dispositifs numériques sont conçus avec des équipements différents selon les domaines et les compétences visées et sont plus ou moins intégrés dans les formations. Ces simulations virtuelles peuvent comprendre à la fois des exercices pratiques et des éléments théoriques pour accompagner la compréhension des notions à acquérir, que ce soit pour des compétences motrices ou des compétences non techniques (Barré *et al.*, 2017 ; Chang *et al.*, 2024 ; Jensen et Konradsen, 2018 ; Renoir *et al.*, 2020). Globalement, les dispositifs de RV à des fins pédagogiques répondent à un besoin d'entraînement et de répétition de gestes professionnels, de procédures, de situations à risques ou rares sans risque d'erreur réelle et sans danger pour l'apprenant et pour autrui (J. Burkhardt *et al.*, 2005 ; Comité d'éthique VR, 2020 ; Kraus *et al.*, 2025 ; Lourdeaux, 2001 ; Ourahmoune *et al.*, 2024). Ils donneraient la possibilité de décomposer les étapes de la tâche à apprendre et d'ajuster la situation (temps, espaces, paramètres, fournir des informations non disponibles dans le monde réel...). De plus, ils permettraient d'adapter les exercices à l'apprenant et à sa progression pédagogique (J. Burkhardt *et al.*, 2005 ; Comité d'éthique VR, 2020 ; Thangavel *et al.*, 2025). Ils présentent aussi des avantages économiques et matériels. Finalement, selon Fuchs (2018), l'intérêt pour les apprenants serait d'expérimenter de façon concrète, d'évoluer à leur rythme, de s'autoévaluer, d'apprendre par essais-erreurs, de pouvoir réifier des concepts. Les enseignants quant à eux pourraient enregistrer l'activité des apprenants, rejouer les exercices, choisir, concevoir et adapter les scénarios d'apprentissage (Fuchs, 2018).

Des travaux empiriques montrent que l'efficacité du guidage en RV dépend des modalités d'interaction et d'immersion proposées. La combinaison visuelle-haptique favorise l'exécution des gestes, mais l'ajout d'instructions verbales dans l'environnement virtuel peut améliorer l'expérience en l'absence d'enseignant (Rajaram *et al.*, 2025 ; Simon *et al.*, 2024). D'autres études indiquent que la suppression progressive du guidage encourage le recours à la proprioception et à la construction d'une représentation mentale du geste (Jeanne, 2017 ; Jeanne *et al.*, 2017), tandis que l'absence de retour d'effort limite l'apprentissage des postures professionnelles dans un contexte donné (Hafsia, 2020). La verbalisation des actions par l'apprenant apparaît également essentielle pour favoriser la prise de conscience et la correction des erreurs (Kircali *et al.*, 2022). Toutefois, la RV inscrirait l'étudiant dans un espace-temps différent, ce qui contribuerait à limiter les interactions avec l'enseignant et serait également source de stress en particulier du fait de la présence d'autrui (autre étudiant, ...). Les dispositifs de RV présentent par ailleurs des limites techniques, pédagogiques, économiques et sociales bien documentées. Les limites techniques tiennent au réalisme des sensations ressenties à travers le bras à retour d'effort, à un manque de précision ou à l'impossibilité de réaliser un geste complexe, à des temps de latence, à un inconfort lié aux équipements et des difficultés à se mouvoir dans l'environnement virtuel pouvant perturber les déplacements et la manipulation d'objets, et aux effets secondaires

résultant d'un conflit entre les informations visuelles et motrices (Kraus *et al.*, 2025 ; Li *et al.*, 2019 ; Loison, 2025 ; Lourdeaux, 2001 ; Putranto *et al.*, 2023 ; Tisserson, 2021 ; Witte *et al.*, 2025). Les limites pédagogiques portent sur le bénéfice limité et les modifications des interactions apprenant-formateur résultant du port du visiocasque, la transférabilité des apprentissages, et la charge mentale induite par l'exigence physique et cognitive liées à l'utilisation de ces interfaces parfois multiples (écran / bras à retour d'effort, visiocasque / bras à retour d'effort) (ANSES, 2021 ; Bozec, 2017 ; Brigaud *et al.*, 2021 ; Fuchs, 2018 ; Jensen et Konradsen, 2018 ; Kraus *et al.*, 2025 ; Ngu Leubou, 2021). Les contraintes économiques et sociales résultent des coûts élevés des équipements, mais aussi de leur accessibilité (fatigue visuelle, accompagnement technique nécessaire, préparation du retour au réel, réalisme perçu) (Ben Saga et Elmqaddem, 2022 ; Jégou et Pallamin, 2017 ; Lewis *et al.*, 2021 ; Mellet d'Huart, 2001 ; Souchet, 2020 ; Thangavel *et al.*, 2025 ; Witte *et al.*, 2025). Ainsi, ces dispositifs devraient être envisagés comme des compléments à la formation réelle. Leur intégration suppose de réfléchir au rôle de l'enseignant, aux types de feedback mobilisés et aux configurations sociotechniques adaptées à l'évolution des technologies (Loison, 2025).

2.3 LA RV POUR L'APPRENTISSAGE DES GESTES PROFESSIONNELS EN ODONTOLOGIE

2.3.1 Contexte de la formation en Odontologie

La formation en Odontologie se compose de trois cycles. Après une première année commune à toutes les filières de santé, le premier cycle, correspondant à la deuxième et troisième année d'étude, est consacré à la pratique préclinique dotés d'enseignement théoriques mais aussi de TPs et TDs et des stages d'observation et d'initiation clinique. Le deuxième cycle, impliquant la quatrième et cinquième année d'étude, est dédié à la pratique clinique par la réalisation d'actes sur le patient et l'élaboration des plans de traitement à travers des enseignements théoriques, des TPs et TDs ainsi que des stages cliniques hospitaliers. Le troisième cycle concerne la pratique professionnelle et le choix d'orientation ou non vers une spécialisation. Les étudiants devront être capables de pratiquer en autonomie. Ils vont perfectionner leurs compétences cliniques, s'autoévaluer et se préparer à la gestion d'un cabinet dentaire. Ils bénéficient de TPs et TDs, d'enseignements théoriques mais aussi des stages hospitaliers et au sein de cabinets libéraux. Les étudiants peuvent choisir un cycle court en un an et soutenir leur thèse d'exercice afin d'obtenir le diplôme d'état de docteur en chirurgie-dentaire ou un cycle long (de 3 ou 4 ans) afin d'exercer l'une des spécialités de la profession.

Habituellement, étudiants et enseignants ont recours à un simulateur conventionnel appelé fantôme pour l'apprentissage des gestes lors des TPs notamment en préclinique. Il s'agit d'un modèle de mannequin comprenant une tête avec des modèles de mâchoires insérables. Dans cette formation, une diversité d'actes plus ou moins complexes demande l'apprentissage de compétences spécifiques pour une tâche donnée. L'entraînement est donc constant et régulier mais se concentre principalement sur l'acquisition et le perfectionnement des compétences motrices attendues. Depuis plusieurs années, un nouveau type de simulateur par la RV s'intègre progressivement dans la formation et fait l'objet de notre projet de recherche.

2.3.2 L'apprentissage des gestes par la RV dans les formations en Odontologie

Les recherches menées en Odontologie à propos des simulateurs de RV se concentrent principalement sur leur conception (Cormier, 2012), leurs intérêts et apports pour la formation (Delafontaine, 2022 ; Joseph, 2017) et leurs effets sur l'apprentissage (Mauroux, 2020). Bandiaký *et al.* (2023) ont mené une revue systématique de la littérature internationale qui montre que la majorité des recherches portant sur les interfaces haptiques s'intéressent à l'impact de leurs usages sur l'acquisition de compétences motrices. Ces simulateurs amélioreraient les performances des étudiants (temps de travail, amélioration de la réalisation des soins, difficulté de l'acte...) et la précision des gestes. Les feedbacks et la répétition des tâches, permis par le dispositif de RV, accéléreraient l'apprentissage et favoriseraient l'acquisition et l'augmentation des compétences motrices et donc la qualité des résultats. Cependant, selon les auteurs, la combinaison de la rétroaction donnée par le dispositif RV et celle de l'enseignant ne favoriserait pas forcément de meilleures performances (Bandiaký *et al.*, 2023). Le rôle de l'enseignant dans une situation de formation mobilisant la RV et l'haptique pose donc question.

Malgré une bonne perception de ces simulateurs par les étudiants (Shetty *et al.*, 2025), les sensations tactiles ressenties sont jugées très différentes de celles ressenties avec les simulations conventionnelles. Selon les auteurs, les simulateurs mobilisant la RV disposant de systèmes haptiques trouveraient leur place en complément des méthodes traditionnelles d'enseignement (Felszeghy *et al.*, 2025 ; Yu Hang Lam *et al.*, 2025). Les recherches existantes soulignent à la fois les apports et les limites des dispositifs de simulation en RV, mais elles s'intéressent encore peu aux modalités pédagogiques de leur intégration dans la formation. À ce jour, la littérature ne rapporte pas d'exemple documenté d'intégration réussie d'un simulateur de RV en Odontologie. Si l'intérêt de la RV pour l'apprentissage des gestes en chirurgie dentaire est régulièrement mis en avant, il n'existe, à notre connaissance, aucune étude portant sur les conditions concrètes de leur intégration, que ce soit dans une séquence pédagogique spécifique ou dans l'ensemble du cursus de formation.

2.3.3 L'enjeu de l'usage de la RV pour l'apprentissage des gestes en Odontologie : quelles sont les pratiques enseignantes en France ?

En raison de son inscription dans un projet de recherche national, notre étude s'inscrit dans le contexte universitaire français, dont les spécificités peuvent différer de celles observées dans d'autres systèmes universitaires à l'international. Pour cette raison, la littérature francophone a été privilégiée dans l'analyse qui suit. En France, la formation en Odontologie repose sur un référentiel national qui en définit les grandes orientations, mais la littérature demeure relativement limitée concernant les modalités concrètes d'enseignement des gestes techniques et des postures. Les travaux existants mettent en évidence que l'acquisition des compétences pratiques s'appuie sur l'articulation entre observation et réalisation en conditions réelles (Mauroux, 2020), la répétition régulière des gestes (Delafontaine, 2022 ; Treanton, 2022) ainsi que la compréhension et la mémorisation des mécanismes sous-jacents (Fischer, 2022). La maîtrise technique suppose en effet précision, rapidité, assurance du mouvement et qualité du résultat, mais également une posture adaptée, incluant points d'appui et positionnement corporel (Fédération Dentaire Internationale, 2021 ; Joseph, 2017).

Si ces études identifient divers critères concourant à la réussite du geste, elles renseignent peu sur la manière dont ces compétences sont effectivement transmises et évaluées dans les

pratiques pédagogiques. Notre étude a pour objectif d'explorer et de recueillir des éléments relatifs aux pratiques d'enseignement en condition de TP en Odontologie et ainsi déterminer comment le simulateur RV peut s'y intégrer et les transformations qu'il engendre.

3. PROJET EVAGO ET METHODOLOGIE DE RECHERCHE

3.1 PRESENTATION DU PROJET EVAGO

Le projet EVAGO est un projet pluridisciplinaire financé par l'Agence Nationale de Recherche (ANR) pour une durée de trois ans. Il réunit un consortium de trois laboratoires publics (LIUM : Laboratoire d'Informatique de l'Université du Mans, CREN : Centre de Recherche en Éducation de Nantes, RMeS : *Regenerative Medecine and Skeleton*), un partenaire industriel (HRV simulation) qui commercialise le simulateur et un pôle hospitalo-universitaire (PHU4). Il implique des chercheurs, enseignants-chercheurs et doctorants dans les domaines de l'Odontologie, de l'Informatique et des Sciences de l'Information et de la Communication (SIC). Ce programme de recherche a donc la particularité de croiser plusieurs disciplines pour répondre aux questionnements complexes qui entourent le développement, l'intégration et l'utilisation d'un dispositif de RV dans la formation en Odontologie. Il vise notamment l'amélioration fonctionnelle du simulateur Virteasy et le développement de scénarios pédagogiques.

Le simulateur Virteasy a pour objectif de favoriser l'apprentissage des gestes par un entraînement pratique. Pour ce faire, il se compose d'une unité centrale, de deux écrans d'affichage, d'un environnement numérique en 3D, d'un bras haptique à retour d'effort ainsi que la possibilité de fonctionner avec ou sans visiocasque. Le simulateur propose un environnement complet qui se veut proche de celui du chirurgien-dentiste en y intégrant également un tabouret mobile, une pédale et un outil miroir. Il propose différents modules, exercices et niveaux de difficulté. Depuis sa dernière itération, le simulateur permet une expérience en immersion totale par l'emploi d'un visiocasque et la reproduction d'un environnement de travail complet (patient, cabinet, matériel) au sein du monde virtuel. Lors d'une utilisation en immersion partielle sans visiocasque, l'utilisateur est plongé dans le monde virtuel par le biais d'un écran permettant de visualiser et de réaliser les exercices proposés.

Le bras haptique permet de recréer les sensations ressenties par le praticien lors d'un acte dentaire, telles que la résistance, le contact ou la variation de densité des tissus dentaires, par retour de force sur la main grâce à la reproduction de l'instrument rotatif du chirurgien-dentiste. Le simulateur propose des exercices de dextérité manuelle où les étudiants doivent suivre des formes (cercle, canal, croix) en respectant une certaine profondeur. Les étudiants travaillent donc la précision gestuelle : suivre des contours, creuser précisément, éviter d'endommager les parois, respecter les profondeurs. Au cours de l'exercice, l'analyse gestuelle porte sur le temps d'exécution, la trajectoire des gestes, la profondeur atteinte, la précision et le taux de réussite. Ces éléments sont visualisables en trois dimensions sur l'écran supérieur, grâce à des coupes virtuelles qui permettent d'identifier les écarts par rapport à la zone cible.

Le simulateur intègre une bibliothèque d'exercices préconfigurés, conçus en collaboration avec des chirurgiens-dentistes et couvrant plusieurs disciplines de l'Odontologie, notamment l'endodontie, la prothèse et l'implantologie. Les exercices sont répertoriés selon la discipline et selon trois niveaux de difficulté allant d'un travail sur une forme géométrique à la réalisation du geste dans la cavité buccale du patient. Les enseignants

peuvent également créer ou adapter leurs propres exercices à l'aide d'un module spécifique éditeur, à partir de scans réels ou de modèles issus d'une bibliothèque 3D. Cette fonctionnalité permet de concevoir des scénarios spécifiques à certains cas cliniques. L'enseignant peut définir des paramètres personnalisés (zones à traiter ou à préserver) ainsi que des critères d'évaluation (volume retiré, marges d'erreur, etc.). Ils ont également la possibilité de suivre les résultats des étudiants et leur progression grâce à l'enregistrement des exercices réalisés.

Dans le cadre du projet EVAGO, la faculté d'Odontologie s'est dotée de deux simulateurs. Elle n'en possédait pas auparavant. Le laboratoire de santé a mené des études sur l'impact du recours au simulateur haptique avec et sans visiocasque sur l'acquisition des compétences motrices des étudiants prioritairement en formation préclinique. Notre équipe de recherche s'est adossée à ces expérimentations afin d'analyser les pratiques, les ressentis et les retours d'expérience des acteurs de la formation. Pour envisager l'intégration de ces dispositifs sociotechniques dans la formation, l'objectif était d'en identifier les usages possibles et les facteurs favorisant leur appropriation et d'en comprendre l'évolution *in situ*, selon une approche itérative de « réversibilité technico-sociale » (Bonfils et Durampart, 2013, p. 121). Cette approche prend en considération à la fois les activités humaines, les relations sociales et les artefacts (supports et moyens techniques) qui les soutiennent (Albero, 2010). Les objets techniques sont ainsi envisagés comme des composantes à part entière du corps social³, participant à celui-ci à travers un ensemble de processus allant de leur production et de leur diffusion jusqu'à leurs usages et aux significations symboliques dont ils sont porteurs (Albero, 2010). Ainsi, il existe une relation réciproque entre les technologies de l'information et de la communication et les dynamiques sociales (Bonfils et Durampart, 2013). L'influence de l'un sur l'autre n'est ni simple ni à sens unique mais revêt une complexité et une multiplicité de facteurs en recomposition permanente. D'un point de vue méthodologique, il s'agit d'observer l'influence réciproque entre les représentations, ressentis et retours d'expérience des acteurs et l'évolution fonctionnelle du dispositif. Dans notre cas, la réversibilité technico-sociale repose sur l'idée qu'il n'y a pas de retour strict à l'état initial (Vincent-Geslin *et al.*, 2016), mais plutôt une dynamique d'amélioration progressive des objets techniques favorisant l'usage social et l'appropriation du dispositif. Le recueil de données a notamment permis de nourrir les suggestions d'amélioration fonctionnelle du simulateur en y associant les utilisateurs et d'engager une réflexion sur la transformation des séquences pédagogiques.

3.2 PRESENTATION DE LA METHODOLOGIE DE RECHERCHE ET DES ENQUETES MENEES

Les chercheurs en Sciences de l'Information et de la Communication du laboratoire CREN (Centre de Recherche en Éducation de Nantes), partie prenante du projet EVAGO, avaient pour objectif de contribuer à l'amélioration fonctionnelle du simulateur Virteasy ainsi qu'à la conception de scénarios pédagogiques intégrant des pistes d'utilisation. Notre démarche s'appuie sur l'étude des pratiques effectives et de l'utilisation du simulateur par les différents acteurs de la formation (enseignants, étudiants, acteurs institutionnels) en situation de formation. Le cadre théorique mobilisé relève d'une approche par les médiations dispositives et de la sociologie des usages (Loison, 2025), permettant, à partir d'une analyse systémique des discours (représentations, ressentis, retours d'expérience) et des pratiques,

³ Selon Foucault, « le corps social est composé de relations de pouvoir qui dressent, ordonnent, organisent la multiplicité des formes humaines et sociales » (Merlin, 2009).

d'identifier les potentialités d'usage, les logiques d'appropriation et les pistes d'amélioration du dispositif (Loison, 2025). Compte tenu de la complexité de l'objet étudié et de la pluralité des dimensions en jeu (techniques, pédagogiques et organisationnelles), une méthodologie mixte a été adoptée, combinant enquêtes qualitatives, enquêtes quantitatives et observations. La conception des outils de recueil de données (questionnaires, grilles d'entretien) s'est appuyée sur plusieurs modèles théoriques : le modèle des 4A (Bauchet *et al.*, 2020), la clinique de l'usage (Bobillier Chaumon, 2016), ainsi que le TAM_INJ (Modèle d'Acceptation des Technologies adapté au contexte d'enseignement-apprentissage) (Caron et Heutte, 2017). Ces cadres ont permis de définir les principaux indicateurs d'analyse, tels que l'utilité perçue, l'utilisabilité perçue, l'influence sociale et les conditions facilitatrices de déploiement.

Une étude longitudinale a été menée sur trois semestres consécutifs depuis la rentrée universitaire 2022 à l'aide d'une méthode de recueil de données mixte (Aguilera et Chevalier, 2021) avec la réalisation d'enquêtes quantitatives (319 questionnaires auto administrés) et qualitatives (14 entretiens semi-directifs et 5 focus groups). Dix-huit observations non participantes filmées ont également été conduites et feront l'objet d'une analyse postérieure afin de confronter la perception des individus à leur pratique réelle. Plusieurs publications scientifiques présentent des résultats (Loison *et al.*, 2023a ; Loison *et al.*, 2023b ; Loison, 2024a ; Loison, 2024b ; Loison *et al.*, 2024 ; Loison *et al.*, 2025). Le recueil de données auprès des étudiants s'est inscrit sur deux années universitaires. En 2022-2023, deux enquêtes par questionnaire ainsi qu'un focus group ont été menés après test du simulateur avec et sans visiocasque lors de séances de TP encadrés, auprès d'étudiants de troisième année. En 2023-2024, une nouvelle promotion d'étudiants de deuxième année a été impliquée à travers l'utilisation du simulateur en immersion totale avec visiocasque et a fait l'objet d'une enquête qualitative par focus group et entretiens, d'une enquête quantitative par questionnaire et d'observations non participantes filmées. Le recueil de données auprès des enseignants a fait l'objet de trois enquêtes. La première enquête, réalisée en 2023, portait sur la notion de geste et les pratiques enseignantes, à l'aide d'entretiens semi-directifs. La deuxième et la troisième enquêtes, conduites au cours de l'année universitaire 2023-2024, exploraient les représentations, les ressentis et les retours d'expérience liés à l'utilisation du simulateur, à travers une approche combinant enquêtes qualitatives et quantitatives. Le recueil de données auprès des acteurs institutionnels a été réalisé dans le cadre d'une enquête qualitative fondée sur la conduite d'entretiens semi-directifs. Cette démarche avait pour objectif d'examiner, d'une part, les modalités d'organisation et de conception des programmes de formation, et, d'autre part, d'analyser les représentations, les ressentis et les retours d'expérience relatifs à l'intégration et à l'usage du simulateur étudié au sein du dispositif de formation en Odontologie.

Nous présentons dans ce qui suit une partie de notre enquête portant sur les pratiques enseignantes, dans une perspective visant à comprendre leurs logiques d'action et les modalités selon lesquelles le simulateur pourrait s'y intégrer. Les enseignants ont testé le simulateur sans le visiocasque et dans le cadre d'une séance test proposée par l'entreprise HRV simulation. Ils ont participé à trois enquêtes sur leurs pratiques pédagogiques habituelles ainsi que sur leurs représentations de la RV, préalablement aux expérimentations puis sur leurs impressions après avoir testé le simulateur. L'échantillon des enseignants interrogés se compose de professeurs des universités, praticiens hospitaliers (n=3) ; de maîtres de conférences des universités, praticiens hospitaliers (n=6) ; d'un maître de conférences des universités (n=2) ; de praticiens hospitaliers (n=2) ; d'enseignants associés (n=2) ainsi que de chefs de clinique des universités, assistants des hôpitaux (n=3). Ils représentent plusieurs champs disciplinaires de l'Odontologie, parmi lesquels la dentisterie

restauratrice, la prothèse, l'Odontologie pédiatrique et la chirurgie orale. Ils interviennent à différents niveaux du cursus de formation, de la deuxième à la sixième année, en fonction de leur spécialité. Leur ancienneté dans l'enseignement varie de trois à trente ans, avec une moyenne de quinze ans, traduisant une diversité d'expériences et de trajectoires professionnelles au sein du corps enseignant.

L'objectif des résultats présentés est d'une part de définir le geste dans le cadre de l'Odontologie et les pratiques pédagogiques pour son apprentissage à la faculté d'Odontologie de Nantes et d'autre part de déterminer des pistes d'utilisation du simulateur pour comprendre comment la RV peut s'inscrire dans ce cadre et les adaptations nécessaires. Les résultats présentés dans les parties 4.1 et 4.2 sont issus des entretiens semi-directifs menés auprès des enseignants (n=9) entre mars et avril 2023. Conduits avant une première utilisation du simulateur Virteasy, cette enquête interrogeait la définition du geste selon les enseignants et leurs pratiques pédagogiques pour son apprentissage par les étudiants. La grille d'entretien était constituée de cinq rubriques composées de thèmes avec des questions principales et des questions d'approfondissement :

- La première partie concernait le parcours professionnel et académique de l'enseignant ;
- La deuxième partie portait sur les composantes d'un TP tels que les démonstrations de geste, brief et debriefing de séance, modalités d'évaluation et éléments qui pourraient être exploités pour tendre vers un « TP idéal » ;
- La troisième partie explore le déroulement d'une séance type de TPs : étapes, ressources pédagogiques, présence et rôle des moniteurs, pair-aidance ;
- La quatrième partie s'intéresse à la définition du geste par les enseignants à travers les notions de geste, mouvement et posture ;
- La cinquième partie permet aux enseignants de s'exprimer sur leurs ressentis quant à l'entretien et ajouter des éléments qui complèteraient notre exploration.

Les résultats présentés dans les parties 4.3 et 4.4 sont extraits des entretiens semi-directifs (n=8) et focus group menés (n=2) auprès des enseignants entre juillet 2023 et juillet 2024 suite à leur expérimentation du simulateur de RV. Ils concernent d'une part les pistes d'utilisation du simulateur de RV pour l'apprentissage des gestes au regard de leurs pratiques et d'autre part les adaptations nécessaires pour envisager cette intégration au sein de la faculté d'Odontologie de Nantes. Les enseignants peuvent avoir une expérience préalable ou non du simulateur ou d'un simulateur avec des caractéristiques similaires. La grille d'entretien comprenait également cinq thèmes principaux composés de questions principales et des questions d'approfondissement. Les questions portaient sur le ressenti des enseignants suite à l'utilisation du simulateur ; un aspect du simulateur qu'ils ont aimé et un qu'ils n'ont pas aimé ; les suggestions d'améliorations ; les pistes d'utilisation du simulateur dans la formation notamment dans le cadre de l'apprentissage des gestes ; et le souhait ou non d'utiliser le simulateur dans leur propre enseignement. Les entretiens et focus group ont fait l'objet d'une analyse thématique réalisée à l'aide du logiciel NVivo. Nous ne détaillerons pas toutes les entrées thématiques relevées mais seulement celles en lien avec le thème de notre article.

4. RESULTATS

4.1 LE GESTE EN ODONTOLOGIE SELON LES ENSEIGNANTS

Dans le cadre des entretiens semi-directifs, nous avons questionné les enseignants quant à leur définition des « gestes » dans leur pratique. Le geste est à associer au mouvement (n=3/9). C'est « *un mouvement d'un point à un autre [...] une succession de mouvements* » [Ens1]. Le geste serait le moyen de réalisation de l'acte de soin dentaire et devrait respecter une certaine séquence instrumentale (n=2/9) dotée d'un certain nombre de gestes reproductibles (n=1/9). Aussi, le geste concerne l'ergonomie (n=4/9) à la fois la posture, l'orientation et les point d'appui. Il s'agit finalement de « *la posture, la façon de tenir ces instruments, la façon d'avoir ou pas des points d'appui, de l'ergonomie en général, leur position par rapport à la posture du patient aussi* » [Ens8]. Ainsi, un même résultat peut être obtenu de différentes manières avec différents matériels en fonction de caractéristiques propres au praticien (n=1/9). Ce qui importe c'est « *que le résultat final ait une certaine forme, un certain profil* » [Ens1]. Le geste est donc associé au résultat final (n=2/9).

Pour les enseignants, le geste serait donc un ensemble « *ça va avec la notion de position, ça va être la notion de mouvement et de résultats* » [Ens3]. Pour l'étudiant, il s'agit finalement de s'approprier un environnement et d'appréhender une situation (n=2/9). Aussi, le geste serait lié à la notion d'efficacité (n=1/9) c'est-à-dire impliquant une gestion temporelle tout en répondant aux contraintes de la tâche parfois au détriment des recommandations ergonomiques. Le geste, c'est donc aussi savoir s'adapter (n=1/9) à une situation c'est-à-dire adopter une stratégie de mouvements individuelle respectant une certaine séquence instrumentale tout en répondant aux contraintes de la situation pour arriver à un même résultat final. Finalement, pour un enseignant, le geste c'est « *une recette de cuisine* » [Ens9] assez simple à apprendre pour les étudiants. L'important est « *qu'ils comprennent ce qu'ils fassent* » [Ens9], qu'ils associent les « *mouvements pratiques à l'intérêt théorique* » [Ens7]. Le geste pourrait être associé à l'acte thérapeutique (n=1/9) composé d'une théorie et de sa mise en application (n=4/9).

Le geste est abordé de différentes manières qui sont complémentaires. Il comprend à la fois la réalisation de mouvements associés à leur séquence instrumentale mais aussi au contexte dans lesquels ils s'inscrivent. En cela, les enseignants interrogés expriment des points de vue concordants avec ceux présentés dans notre cadre théorique 2.1. Dans cette approche, le geste associe à la fois théorie et pratique, sa compréhension et son résultat final. Si la définition du geste demeure complexe, l'identification des indicateurs permettant de l'évaluer l'est tout autant. Si certains paramètres, tels que la gestion du temps, l'observation de la posture ou l'évaluation du résultat final, apparaissent comme des indicateurs relativement évidents, l'analyse de la séquence instrumentale adoptée par l'étudiant, reflétant une stratégie de mouvement individuelle et éventuellement adaptée aux contraintes spécifiques d'une tâche ou d'une situation, interroge. De même, se pose la question de l'évaluation du sens que les étudiants attribuent à leurs gestes. Dans la partie suivante, nous nous intéressons donc aux pratiques pédagogiques des enseignants pour favoriser l'apprentissage des gestes professionnels auprès des étudiants dans la formation en Odontologie.

4.2 LES PRATIQUES PEDAGOGIQUES POUR L'APPRENTISSAGE DU GESTE PROFESSIONNEL

Les enseignants interrogés dispensent des TP issus de différentes disciplines de l'Odontologie : Odontologie conservatrice et endodontie (n=5/9), prothèse (n=2/9) et Odontologie pédiatrique (n=2/9). Le nombre de TP effectués au cours de l'année ainsi que leur durée (deux à trois heures) dépend des disciplines. Ces TP concernent principalement des étudiants en deuxième, troisième, quatrième et de manière ponctuelle en cinquième année. Les groupes sont constitués de près de 20 étudiants (n=5/9).

Les TP se composent d'étapes et d'éléments bien déterminés et encadrés. Une séance débute par l'installation des étudiants à leur poste de travail (n=8/9). Ils doivent « *se mettre dans une position plus proche d'un praticien qui va exercer auprès d'un patient* » [Ens11]. Les étudiants préparent leur matériel (notamment le fantôme sur lequel les étudiants peuvent s'exercer) et les instruments qu'ils disposent sur leur plateau clinique. Ils règlent le fauteuil, le fantôme et la lampe pour adopter la position de travail attendue. Cette étape concerne également l'asepsie et la sécurité où les étudiants doivent s'équiper de gants, de masques et de lunettes de protection. Ensuite, les enseignants font un *brief* ou un *topo* pour rappeler les points théoriques vus préalablement dans les cours magistraux (n=9/9), présenter le contenu et les objectifs de la séance (n=7/9) ou rappeler des points théoriques ou pratiques qui ont pu poser problème lors de la séance précédente (n=3/9). La durée de cette étape varie entre les enseignants et ne dépend pas forcément du niveau d'étude. Certains cherchent à réduire au maximum ce temps de présentation allant de 5 à 15 minutes (n=3/9) pour favoriser la pratique. D'autres y consacrent 30 minutes à 1 h15 (n=2/9) sur un TP de 3 heures pour prendre le temps d'expliquer des notions fondamentales ou des procédures complexes.

La suite de la séance se poursuit avec la pratique supervisée des étudiants (voir Figures 1 et 2). Au cours du TP, les enseignants se déplacent entre les îlots, observent et corrigent les éléments inhérents à la bonne exécution de l'acte de soins dentaires c'est-à-dire relatifs aux résultats obtenus sur la dent mais aussi de l'ergonomie (posture, points d'appui, ...) et à l'asepsie (port des gants, lunettes, masques).



Figure 1 : Exemple de configuration d'une salle de TP en Odontologie

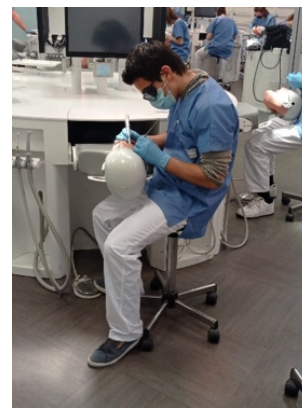


Figure 2 : Exemple d'un étudiant travaillant sur un fantôme lors d'une séance de TP

Les étudiants appellent l'enseignant à chaque étape de la réalisation de l'acte ou à la fin de la séance pour faire vérifier le résultat final. Les étapes de vérification intermédiaires ne sont pas obligatoires et dépendent de la sollicitation de l'enseignant à l'initiative de l'étudiant. À l'inverse, le résultat final est systématiquement vérifié en fin de séance. D'ailleurs, si l'observation porte à la fois sur l'exécution du geste et le résultat final au cours des TP, l'évaluation finale sanctionnant d'une note ne réside que sur le résultat et non sur les moyens d'y parvenir. Ils peuvent avoir « *des points négatifs, par exemple s'ils font des grosses fautes de position, s'ils font tomber des instruments, des choses comme ça, mais ce qu'on évaluera c'est le modèle retiré de la bouche en dehors de la présence de l'étudiant* » [Ens11]. Au cours de la séance, les enseignants se reposent sur une diversité de ressources pédagogiques tels que le cahier de TP (n=9/9) qui décrit l'ensemble des séances de l'année avec le déroulé de l'acte à réaliser, des diaporamas (n=7/9), des tableaux ou paperboard (n=5/9), des vidéos et photos (n=5/9), des sondages en ligne (n=2/9), des caméras pour les démonstrations (n=2/9) et des articles scientifiques (n=1/9).

Des démonstrations (n=9/9) sont effectuées par les enseignants pour montrer la réalisation d'un geste nouveau ou non. Elles peuvent avoir lieu en début de la séance et/ou cours de la séance de manière individuelle, en petits groupes ou pour l'ensemble du groupe. Elles permettent de montrer la réalisation d'un geste, d'éclairer une difficulté lors de l'exécution du geste par les étudiants. Le moment ou la fréquence des démonstrations dépend d'un choix de l'enseignant, du déroulement du TP et des étudiants. Pour un enseignant, la démonstration est réalisée au cours du TP pour ne pas allonger le temps de briefing : « *le topo est assez conséquent, [...] tout ce qui est partie démonstration pratique, je préfère le faire après en cours de route pour que du coup y a une application qui soit au plus proche de ce qu'ils vont avoir à faire* » [Ens2]. Pour un autre praticien, il y a une démonstration générale pour tout le monde en début de séance puis de manière individuelle au cours de la séance : « *Il y a la démonstration générale pour tout le monde en début et après c'est plus sur des problèmes particuliers. L'étudiant soulève un problème et donc là c'est la démonstration pour lui montrer* » [Ens11]. Un autre enseignant a adopté une stratégie qui lui permet de réaliser des démonstrations en optimisant l'organisation de son TP « *Je divise la séance de TP en 2 pendant que les premiers posent leur champ opératoire, je fais une démonstration au 2ème groupe puis pendant que le second groupe prépare son champ opératoire, je fais la démonstration au premier groupe* » [Ens7].

Des moniteurs (n=9/9) c'est-à-dire des étudiants d'années supérieures (3/4/5ème année) accompagnent les enseignants dans l'encadrement des TP hormis en Odontologie pédiatrique où il s'agit d'internes éventuellement disponibles. Ils constituent une aide importante pour l'organisation logistique de la salle ainsi que pour contrôler le travail des étudiants (ergonomie, asepsie) et leur apporter des conseils. En effet, la taille des groupes est difficile pour les enseignants qui sont beaucoup sollicités par les étudiants et ne peuvent pas être « *partout en même temps* » [Ens3]. La difficulté réside dans le comportement des moniteurs. Si certains sont impliqués et « *se challengeaient pour avoir les meilleurs étudiants dans leur groupe* » [Ens5], d'autres « *se mettent sur leur téléphone* » [Ens3]. Un enseignant souligne même : « *on est obligé de les diriger, de leur dire quoi faire, de leur demander de faire certains trucs mais je pense que ça les gênerait pas de rester à la cafet' et de boire un café* ». Les moniteurs ne choisissent pas de le devenir. Ce rôle leur est attribué selon leur emploi du temps. Les enseignants doivent souvent les motiver et certains cherchent à les valoriser en leur confiant une tâche spécifique. Au cours du TP, les étudiants peuvent aussi s'entraider (n=8/9). Il y a beaucoup de communication entre les étudiants que ce soit pour se prêter du matériel ou pour échanger sur leurs réalisations. Si certains enseignants laissent les étudiants faire (n=4/9), d'autres tendent à limiter cette pratique

(n=2/9). Bien que les échanges puissent amener les étudiants à réfléchir sur ce qu'ils font et soulever des difficultés auxquelles l'enseignant n'aurait pas pensé, cette pair-aidance ne doit pas mener à un niveau sonore trop élevé lors des TP, à un risque de dispersion des discussions et des comportements, à une perte de temps ou encore à une habitude qui peut avoir une répercussion en situation clinique : « *c'est qu'ils continuent à communiquer comme ça en clinique et devant le patient et devant le patient c'est....quand il y en a un qui demande à l'autre, ça va, est-ce que c'est comme ça qu'il faut que je fasse ? Voilà, c'est pas très rassurant pour le patient et pour les parents du patient, donc il y a aussi ils prennent en fait ce pli là en TP* » [Ens1].

La fin de la séance ne comporte pas toujours un debriefing final en groupe soit par un choix de l'enseignant soit par manque de temps (n=3/9). Cette étape finale peut être dédiée à la désinstallation et au rangement du poste de travail (n=2/9). Certains enseignants choisissent et considèrent qu'il est préférable de réaliser des debriefings de manière individuelle après chaque étape effectuée par l'étudiant au cours de la séance (n=5/9). Les raisons exposées sont notamment que les étudiants ne souhaitent pas forcément revenir sur les mêmes éléments en fin de séance et ne terminent pas toujours en même temps. Ils peuvent aussi garder les points de difficultés pour les reprendre lors du briefing de la séance suivante (n=3/9).

Nous retenons que l'apprentissage du geste lors des TPs consiste à plonger l'apprenant dans les conditions d'exercice et comporte une partie théorique et une partie pratique durant laquelle le geste est exécuté selon des étapes précises encadrées et guidées par les enseignants et les moniteurs. De nombreuses ressources sont sollicitées et des démonstrations sont réalisées par les enseignants à différents moments des séances. Bien que le déroulement d'un TP soit similaire entre les enseignants puisque codifiés et encadrés notamment par les cahiers de TP, les enseignants n'ont pas toujours les mêmes pratiques au sein même du TP soit par des choix qui leur sont propres soit par des contraintes auxquels ils appliquent des stratégies. Par ailleurs, si une part des TP s'effectue en groupe, les corrections et les débriefings sont souvent réalisés individuellement, probablement en lien avec l'apprentissage du geste qui constituerait une séquence de mouvements propre à chaque individu comme rappelé dans la section 4.1. La sollicitation importante de l'enseignant et des moniteurs et l'individualisation des corrections peuvent être sources de difficultés au regard du nombre d'étudiants. Par conséquent, l'évaluation se concentre sur le résultat final, au détriment de l'analyse de la réalisation de la séquence instrumentale par l'étudiant. Bien que l'étude ait été menée au sein d'une seule faculté, ces résultats constituent un apport à la compréhension des pratiques pédagogiques des enseignants dans la formation en Odontologie, peu documentés ou peu accessibles, comme rappelé dans la section 2.3 de cet article. Finalement, bien que la formation repose sur un référentiel codifié et encadré, la diversité des pratiques enseignantes, la difficulté à expliciter les connaissances tacites, ainsi que les contraintes liées au nombre important d'étudiants rendent l'intégration d'un simulateur tel que celui étudié particulièrement complexe. Dans ce contexte, nous avons interrogé les enseignants sur leurs représentations, ressentis et retours d'expérience quant à l'utilisation potentielle du simulateur dans la formation et présentons les résultats dans la section suivante.

4.3 DES PISTES D'INTEGRATION DANS LA FORMATION EN ODONTOLOGIE

Lors d'entretiens semi-directifs et focus group (n=10), nous avons questionné les enseignants quant aux pistes d'intégration du simulateur de RV dans leur pratique. L'ensemble des enseignants interrogés envisagent la possibilité d'intégrer le simulateur dans

leur TP (n=10/10). Le simulateur permettrait aux étudiants de s'entraîner davantage par la répétition des gestes, de se perfectionner, de travailler un geste avec une difficulté particulière ou de se corriger suite à des séances ratées (n=6/10). Ainsi, il serait un outil bénéfique au maintien de la confiance ainsi qu'à la gestion du stress des étudiants et contribuerait à les rassurer (n=4/10). Il pourrait également être le premier contact des étudiants avec les sensations ressenties lors de la réalisation d'un geste ou permettre la découverte de certaines notions plus tôt dans leur parcours de formation (n=4/10). Les étudiants pourraient accéder à des apprentissages pratiques simulés qui n'existent pas actuellement pour certaines disciplines (n=3/10) et une simulation d'une situation thérapeutique par une contextualisation (n= 6/10). Le simulateur pourrait donc trouver sa place à tous les niveaux de la formation : en préclinique (n=7/10), en clinique (n=7/10) et même en formation continue (n=2/10).

Les enseignants s'accordent à dire que le simulateur viendrait en complément de la simulation conventionnelle (n=7/10) au sein des séquences de formation préexistantes. Il pourrait s'intégrer au sein des TP (n=5/10) soit au sein des séances de TP existantes où les étudiants pourraient passer du fantôme au simulateur de RV soit par un module complémentaire entier sur une notion spécifique (n=3/10) qui viendrait en réponse à des besoins pédagogiques dans la formation ou pour développer de nouvelles connaissances chez les étudiants en chirurgie dentaire. Des séances d'entraînements complémentaires en libre accès seraient aussi un avantage (n=2/10) puisque les étudiants n'ont aucun moyen actuellement de s'entraîner en dehors des TP. Certains enseignants envisagent l'utilisation de ce simulateur par l'étudiant plutôt en autonomie (n=4/10). Le simulateur permettrait à l'étudiant de s'entraîner davantage, de s'autoévaluer et d'apporter des feedbacks diversifiés et en temps réel sur différents aspects de la réalisation de l'acte (précision, profondeur temps d'exécution, ...) (n=7/10). Pour l'enseignant, il permettrait de proposer des exercices personnalisés (n=1/10), de réaliser un suivi dans la progression pédagogique de l'étudiant (n=3/10) et de proposer aux étudiants une pratique supplémentaire contrairement actuellement par la durée des TP et le programme de formation.

Finalement, la plus-value pédagogique de ce dispositif résiderait dans l'apport d'éléments nouveaux (suivi de l'apprenant, feedbacks diversifiés, élargissement des compétences abordées dans la formation, ...). Dans le discours des enseignants, nous retrouvons les avantages connus des simulateurs dotés de la RV présentés dans la section 2.2 tant pour les étudiants que pour les enseignants. Toutefois, nos résultats participent à la compréhension de la place potentielle du simulateur dans les pratiques pédagogiques des enseignants présentés dans la section 4.3 ; ainsi qu'au manque de données empiriques sur ces questions rappelé dans la section 2.3. Au sein de la faculté d'Odontologie de Nantes, l'utilisation et l'intégration du simulateur dans les pratiques des enseignants suppose également des adaptations. Ce sont ces derniers qui seront abordés dans la partie suivante.

4.4 DES DEFIS D'ADAPTATIONS PEDAGOGIQUES, TECHNIQUES ET ORGANISATIONNELLES

Pour envisager l'utilisation du simulateur pour l'apprentissage du geste dans la formation des chirurgiens-dentistes notamment au sein de la faculté de Nantes, des adaptations pédagogiques techniques et organisationnelles sont nécessaires. Les ajustements pédagogiques revêtent plusieurs niveaux. Premièrement, une diversification (n=2/10) et une scénarisation des exercices à travers une contextualisation (n=3/10) et des difficultés croissantes (n=2/10) qui permettraient une progression dans l'apprentissage de l'étudiant : du « pas à pas » à « l'autonomie » dans la réalisation du geste. Deuxièmement, les

enseignants souhaiteraient davantage de feedbacks (n=5/10) de différentes natures (sonores, visuels, tactiles), notamment « *per-opération* » [Ens2], pour signaler des erreurs dans la réalisation du mouvement ou des situations qui seraient impossibles en réalité (traverser la bouche du patient lors du fraisage, ...). Bien que le simulateur semble avoir des avantages pédagogiques, son usage engage « *une courbe d'apprentissage* » [Ens14] importante nécessitant la formation des enseignants et en premier lieu un usage sans visiocasque puisqu'il ne serait pas encore tout à fait au point (n=1/10). Par ailleurs, il s'agit d'appréhender un nouvel environnement d'apprentissage et de nouvelles sensations qui diffèrent des pratiques habituelles des enseignants et possiblement des étudiants plus avancés dans le cursus de formation.

Les améliorations techniques portent sur les dysfonctionnements techniques (n=1/10) mais aussi la propension du simulateur à reproduire fidèlement les conditions d'exercice. Ces derniers concernent la fidélité générale de la situation simulée (n=5/10) comme la possibilité d'utiliser les deux mains, les réactions et les détails dans la bouche du patient (sang, salive, langue, ...), les projections de gouttelettes sur le miroir ou encore les différentes sensations présentes dans l'environnement du chirurgien-dentiste (le toucher, la vue, l'ouïe, l'odorat). Elles intègrent également l'ergonomie (n=9/10) tels que les points d'appui ou la posture ; la facilité à s'orienter et se repérer dans l'espace (n=6/10) ; la préemption et la fidélité des sensations ressenties notamment à travers le bras haptique (n=5/10) mais aussi la prise en compte de l'asepsie (n=1/10). A cet égard, les enseignants n'hésitent pas à faire des suggestions d'améliorations comme un « *espace avec la main et le bras un peu plus confortable* » [Ens13] ou encore l'intégration d'« *une arcade dentaire* » [Ens10] [Ens13] [Ens14], « *une bouche de mannequin* » [Ens1] pour améliorer les points d'appuis. La perte des repères dans l'espace résulterait d'une « *appréhension des espaces et des volumes perturbés* » [Ens3]. Le passage de la réalisation d'un acte de soin dentaire de la réalité en 3D à la 2D dans la simulation sans visiocasque est difficile « *Quand j'ai fait l'ouverture de chambre, je voyais une image mais je n'appréhendais pas le volume* » [Ens14]. Bien que la navigation soit désignée comme intuitive avec des images fluides, « *certain visuels ne peuvent pas correspondre à la réalité* » [Ens7] et « *l'expérience ressentie reste loin de ce que l'on peut avoir sur un fantôme* » [Ens11]. En particulier, la texture des différentes couches de la dent est difficile à retranscrire.

Ces besoins d'adaptations pédagogiques et techniques s'accompagnent d'adaptations organisationnelles. Pour les enseignants, mener une séance avec le simulateur pose la question de l'encadrement et nécessite une réduction du nombre d'étudiants au sein des TP (n=6/10) ainsi qu'un ajustement temporel des séances (n=1/10). Ces éléments sont conditionnés au nombre de simulateurs disponibles (n=5/10), aux salles spécialement aménagées et dédiées (n=3/10) ou non, au soutien technique ou humain (n=2/10) et à la disponibilité des machines (n=1/10).

Dans le discours des enseignants, nous retrouvons les limites des dispositifs intégrant la RV telles que celles documentées dans la littérature (voir section 2.3), par exemple le réalisme des sensations ressenties à travers le bras à retour d'effort, les difficultés de manipulation du bras à retour d'effort, l'utilisation du visiocasque (vision, interactions...) mais aussi des contraintes organisationnelles liées à des facteurs économiques et sociaux (nombre d'étudiants par TP, nombre de simulateurs disponibles, salles dédiées...). L'utilisation et l'intégration du simulateur dans les pratiques enseignantes et plus largement la formation en Odontologie notamment au sein de la faculté de Nantes requièrent donc des adaptations multiples : sur le plan pédagogique et technique, afin de répondre aux conditions d'exercice du chirurgien-dentiste et aux objectifs d'apprentissage, en particulier dans une

logique de transférabilité des gestes ; sur le plan organisationnel, pour garantir les conditions de déploiement du dispositif au regard des pratiques enseignantes déjà établies.

5. CONCLUSION

À l'échelle de la faculté de Nantes, notre étude menée auprès des enseignants a permis une meilleure compréhension de la notion de geste et des pratiques enseignantes dans la formation en Odontologie en France jusqu'alors peu documentés, ainsi que des pistes d'intégration du simulateur dans ces pratiques et les adaptations qu'elles nécessitent. Au sein de l'établissement, si les dispositifs de RV semblent pouvoir trouver leur place dans la formation en Odontologie pour l'apprentissage des gestes en réponse à des besoins pédagogiques et à la mutation de la formation, leur intégration nécessite des adaptations pédagogiques, techniques et organisationnelles. Pour permettre l'acquisition des gestes, le simulateur doit pouvoir reproduire l'environnement de travail propre à la profession, et en particulier dans la zone où l'acte de soins doit être réalisé. Dans le cas de la formation en Odontologie, des adaptations techniques sont indispensables pour répondre à ces exigences au risque d'une perte de sens dans l'action. Elles sont également nécessaires pour garantir la transférabilité des apprentissages et éviter une certaine « artificialité » dans la transmission des gestes professionnels (Vadcard, 2022). Les ajustements pédagogiques suggérés au cours de nos enquêtes s'orientent vers une utilisation du simulateur par l'étudiant en autonomie par l'ajout d'exercices adaptés, d'une diversité de feedbacks et éventuellement des séances en supplément des TP prévus dans le programme de formation, en réponse notamment aux besoins et difficultés rencontrés par les enseignants. Toutefois, il s'agit là d'un point de vigilance pour les concepteurs de simulateur car la recherche d'un apprentissage autonome ne doit pas faire l'objet d'une standardisation de l'apprentissage du geste. En effet, comme nous l'avons souligné dans notre revue de la littérature et dans notre étude, l'acquisition d'un geste est constituée d'une dimension individuelle difficilement prévisible et standardisable composée de connaissances tacites. La normalisation de l'exécution d'un geste au sein d'un dispositif de RV doit donc prendre en compte les variations interindividuelles et permettre à l'étudiant de tester ses propres stratégies de mouvements tout en répondant aux contraintes de la tâche. Finalement, il s'agit de penser les rapports entre contraintes techniques et libertés d'action (Melpomeni, 2022). Bien que notre étude soit circonscrite au périmètre d'une seule faculté, les résultats obtenus rejoignent de nombreux éléments déjà mis en évidence dans la littérature. Des investigations complémentaires, menées dans divers établissements en France et à l'international, seraient nécessaires pour en examiner la transférabilité. Il nous semblerait pertinent d'explorer les pratiques pédagogiques des enseignants, l'importance des conditions organisationnelles et le rôle de chaque acteur de la formation dans le déploiement d'un tel simulateur au sein d'autres facultés dispensant la formation en Odontologie.

Le premier enjeu associé à l'intégration d'un dispositif de RV dans la formation en Odontologie consiste ainsi à définir les connaissances que les étudiants doivent acquérir, en particulier celles de nature tacite (Nonaka et Takeuchi, 1995), et notamment les critères d'évaluation des gestes, afin de concevoir et d'améliorer les simulateurs de RV tout en favorisant leur intégration dans les pratiques pédagogiques existantes des enseignants. Le second enjeu réside dans la nécessité de repenser non seulement l'organisation de la formation, mais également les configurations sociotechniques des situations d'enseignement-apprentissage susceptibles d'intégrer cette nouvelle forme de simulation. Cette réflexion s'avère d'autant plus importante que les enseignants ne partagent pas toujours les mêmes pratiques, et qu'elle implique d'articuler les objectifs pédagogiques, les

rôles respectifs de l'enseignant et de l'étudiant, ainsi que les dispositifs d'interaction et d'immersion mobilisés (Burkhardt *et al.*, 2005 ; Fuchs, 2018 ; Loison, 2025). Dans tous les cas, l'utilisation du simulateur nécessite un temps d'adaptation afin d'appréhender une expérience d'enseignement et d'apprentissage sensorielle, sensorimotrice et cognitive nouvelle. Une action conjointe des acteurs de la formation, de l'institution voire de la branche professionnelle semble incontournable pour appréhender ces transformations. Les résultats que nous présentons sont à nuancer puisque la plupart des enseignants n'avaient pas testé le simulateur en immersion totale. Néanmoins, nous retrouvons dans nos résultats, la plupart des usages décrits dans la littérature. La suite de notre étude s'attache à approfondir les pistes d'intégration de ce simulateur avec et sans visiocasque à travers les ressentis et retours d'expérience et au regard des besoins et attentes des acteurs de la formation en Odontologie.

REFERENCES

- Aguilera, T. et Chevalier, T. (2021). Les méthodes mixtes : Vers une méthodologie 3.0 ? *Revue française de science politique*, 71(3), 361-363.
<https://doi.org/10.3917/rfsp.713.0361>
- Albero, B. (2010). La formation en tant que dispositif : Du terme au concept. Dans B. Charlier et F. Henri (dir.), *Apprendre avec les technologies* (p. 47-59). Presses Universitaires de France.
- ANSES. (2021). *Expositions aux technologies de réalité virtuelle et/ou augmentée* (p. 293).
<https://www.anses.fr/en/system/files/AP2017SA0076Ra.pdf>
- Audétat Voirol, M.-C., Laurin, S. et Sanche, G. (2016). Superviser l'apprentissage des gestes techniques. *Médecin du Québec*, 51(4), 65-67.
<https://doi.org/10.1051/pmed/2011109>
- Bandiaky, O. N., Lopez, S., Hamon, L., Clouet, R., Soueidan, A. et Le Guehenec, L. (2023). Impact of haptic simulators in preclinical dental education: A systematic review. *Journal of Dental Education*, 88(3), 366-379.
<https://doi.org/10.1002/jdd.13426>
- Barré, J., Benabbou, A., Bourrier, Y., Corneloup, V. et Job, A. (2017, octobre). *Simulation et Réalité Virtuelle pour l'apprentissage des Compétences Non-Techniques en conduite et en médecine des situations d'urgence* [communication]. Semaine de l'Informatique Graphique et de la Réalité Virtuelle (IGRV 2017), Rennes, France.
<https://hal.science/hal-01681378>
- Bauchet, B., Hubert, B. et Dinet, J. (2020). Entre acceptabilité et appropriation des outils numériques intégrés dans le système éducatif : Le modèle des 4A. *Proceedings of the 13e Colloque International du Réseau Interuniversitaire de PSYchologie du DEVeloppement et de l'Education* (p. 158-161). <https://hal.science/hal-03107250/document>
- Ben Saga, A. et Elmquaddem, N. (2022). Usage de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée dans l'enseignement supérieur : De l'expérimentation à l'intégration effective dans les cursus de formation. *Journal of Information Sciences*, 21(2), 194-2020. <https://doi.org/10.34874/IMIST.PRSM/jis-v21i2.36539>

- Bobillier Chaumon, M.-E. (2016). L'acceptation située des technologies dans et par l'activité : Premiers étayages pour une clinique de l'usage. *Psychologie du Travail et des Organisations*, 22(1), 4-21. <https://doi.org/10.1016/j.pto.2016.01.001>
- Bolduc, M.-È., Caron, J., Beaupré, P. et Milhomme, D. (2024). Innover en formation universitaire—Un partenariat avec l'unité virtuelle de soins pour soutenir le développement de l'école virtuelle immersive. *InspirAction. Revue en éducation de l'UQAR*, 7(2), 36- 41. https://www.researchgate.net/publication/379538490_Innover_en_formation_universitaire_-_un_partenariat_avec_l'Unite_virtuelle_de_soins_pour_soutenir_le_developpement_de_l'Ecole_virtuelle_immersive
- Bonfils, P. et Durampart, M. (2013). Environnements immersifs et dispositifs numériques. Etudes expérimentales et approches distancées. *ESSACHESS. Journal for Communication Studies, Méthodes expérimentales en communication*, 6(1), 107-124. https://archivesic.ccsd.cnrs.fr/sic_01391307v1/file/Article_Bonfils-Durampart_Essachess_2013_vdef.pdf
- Bourassa, R. (2014). Immersion et présence dans les dispositifs de réalité mixte. *Figures de l'immersion*, (Cahiers ReMix 4). Observatoire de l'imaginaire contemporain (OIC). <https://oic.uqam.ca/publications/article/immersion-et-presence-dans-les-dispositifs-de-realite-mixte>
- Bozec, Y. (2017). *L'apprentissage à travers la réalité virtuelle*. Réseau Canopé, 93. https://www.reseau-canope.fr/fileadmin/user_upload/Projets/agence_des_usages/Etat_Art.pdf
- Brigaud, E., Bachelard, L., Vidal, J., Michel, A. et Blanc, N. (2021). Quels apports de la réalité virtuelle à l'apprentissage ? L'art comme domaine d'investigation. *STICEF*, 28. <https://doi.org/10.23709/STICEF.28.2.1>
- Bril, B. (2019). Comment aborder la question du geste technique pour en comprendre l'expertise et l'apprentissage ? *Techniques & culture*, 71, 78-91. <https://doi.org/10.4000/tc.11373>
- Burkhardt, J., Lourdeaux, D. et Lequatre, F. (2005). *Environnements Virtuels pour l'Apprentissage : De l'image d'Epinal à la réalité des usages et des configurations socio-techniques*, 163-170. <https://doi.org/10.1145/1148550.1148571>
- Burkhardt, J.-M. (2003). Réalité virtuelle et ergonomie : Quelques apports réciproques. *Le travail humain*, 66(1), 65-91. <https://doi.org/10.3917/th.661.0065>
- Caron, P.-A. et Heutte, J. (2017). *Comprendre l'usage que les professeurs des écoles font des TNI et du numérique*. Dans N. Guin, B. De Lièvre, M. Trestini et B. Coulibaly (dir.), *8e Conférence sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain* (p. 341-352). <https://hal.science/hal-02544818/document>
- Chang, A. A., Kazemi, E., Esmaeili, V. et Davies, M. S. (2024). The Effectiveness of Virtual Reality Training: A Systematic Review. *Journal of Organizational Behavior Management*, 44(3), 214-232. <https://doi.org/10.1080/01608061.2023.2240767>
- Clot, Y., Fernandez, G. et Scheller, L. (2007). Le geste de métier : Problèmes de la transmission. *Psychologie de l'interaction*, 23, 109-139. https://serval.unil.ch/resource/serval:BIB_7DADFD51DD87.P001/REF.pdf

- Comité d'éthique VR. (2020). *Charte de recommandations sur l'usage de la Réalité Virtuelle*. <https://acrobat.adobe.com/link/review?uri=urn:aaid:scds:US:3eb42e51-7889-4ce8-be75-292b29d6ba44>
- Conjard, P. (2003). Formation et simulation de situations de travail Développer des compétences à partir d'un simulateur de conduite, premiers retours d'expérience. *Distances et savoirs*, 1(3), 361-374. <https://doi.org/10.3166/ds.1.361-374>
- Cormier, J. (2012). *Mobiliser une analyse de l'activité comme aide à la conception et à l'évaluation d'un Environnement Virtuel pour l'Apprentissage Humain : Un exemple en implantologie dentaire* [thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale, France]. <https://theses.fr/2012BRES0027>
- Da Dalto, L. (2004). *CS WAVE : la réalité virtuelle pour la formation au soudage*. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/technologies-de-l-information-th9/realite-virtuelle-42299210/cs-wave-la-realite-virtuelle-pour-la-formation-au-soudage-in27/cs-wave-en-perspective-in27technoniv10009.html>
- Delafontaine, A. (2022). *Apports et perspectives de la réalité virtuelle dans le cadre de la formation des étudiants en Chirurgie Dentaire* [thèse de doctorat, Université de Lille, France]. <https://pepite.univ-lille.fr/ori-oai-search/notice/view/univ-lille-35897?lightbox=true>
- Delgoulet, C. et Boccara, V. (2017). EVAH et formation des monteurs- assembleurs de l'aéronautique : Quels retours des évaluations d'un démonstrateur pour la conception ? *Proceedings of 52ème congrès international de la SELF* (p. 517-527). https://www.researchgate.net/publication/320002954_EVAH_et_formation_des_monteurs-assembleurs_de_l'aeronautique_quels_retours_des_evaluations_d'un_demonstrateur_pour_la_conception
- Fédération Dentaire Internationale. (2021). *Ergonomie et posture—Recommandations aux professionnels de la santé bucco-dentaires*. www.fdiworlddental.org/hsdw
- Felszeghy, S., Mutluay, M., Liukkonen, M., Flacco, N., Bakr, M. M., Rampf, S., Schick, S., Mushtaq, F., Sittoni-Pino, M. F., Ackerman, K., Arias-Herrera, S., Audsley, B., Bágyi, K., Bell, S., Bistey, T., Byrne, S., Carpegna, G., Carramolino-Cuéllar, E., Da Costa, J. B., ... Quinn, B. (2025). Benefits and challenges of the integration of haptics-enhanced virtual reality training within dental curricula. *Journal of Dental Education*, 89(7), 1070-1083. <https://doi.org/10.1002/jdd.13800>
- Fischer, A. (2022). *Apprendre à fraiser les tissus dentaires aux étudiants du DFGS02 lors des travaux pratiques d'Odontologie conservatrice : Comprendre et innover*. [thèse de doctorat, Université de Strasbourg, France].
- Fuchs, P. (2018). *Théorie de la réalité virtuelle. Les véritables usages*. Presses des MINES.
- Fuchs, P., Moreau, G., Berthoz, A. et Vercher, J.-L. (2006). *Le traité de la réalité virtuelle. L'homme et l'environnement virtuel* (Vol. 1). Les Presses de l'École des Mines de Paris.
- Hafsia, M. (2020). *Plateforme de réalité virtuelle Virtual Compagnon : Évaluation d'une solution haptique pour la formation aux gestes métiers* [thèse de doctorat, Université Paris-Saclay, France].

- HAS. (2024). *Bonnes pratiques en matière de simulation en santé*. https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2024-04/spa_181_guide_bonnes_pratiques_simulation_sante_cd_2024_03_28.pdf
- Henry, F. (2019). La réalité virtuelle outil de formation aux bonnes pratiques soignantes. *French Journal of Psychiatry*, 1 (2), S154. <https://doi.org/10.1016/j.fjpsy.2019.10.426>
- Jeanne, F. (2017). *Métaphore d'interaction gestuelle en environnement virtuel : Application à l'apprentissage de gestes* [thèse de doctorat, Université de Technologie Compiègne, France]. <https://theses.hal.science/tel-01768757v1>.
- Jeanne, F., Thouvenin, I. et Lenglet, A. (2017). A study on improving performance in gesture training through visual guidance based on learners' errors. *Proceedings of the 23rd ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, 24, 1-10. <https://doi.org/10.1145/3139131.3139144>
- Jégou, G. et Pallamin, N. (2017). L'évaluation des usages et des comportements en univers immersifs : Quelques enjeux actuels : *Annales des Mines - Réalités industrielles*, 2, 50-53. <https://doi.org/10.3917/rindu1.172.0050>
- Jensen, L. et Konradsen, F. (2018). A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Education and Information Technologies*, 23(4), 1515-1529. <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9676-0>
- Joseph, D. (2017). *Impact de la simulation haptique dans l'enseignement en Odontologie* [Médecine humaine et pathologie, Université de Lorraine]. <https://theses.hal.science/tel-01816937>
- Kircali, E., Drakos, A. et Nelson, J. (2022). *Formation et réalité virtuelle : Analyse de l'activité lors d'une formation incendie classique et une formation en réalité virtuelle* 432-438. <https://hal.science/hal-03755030>
- Kraus, K., Berger, M., Keller, T. et Brucker-Kley, E. (2025). VR-Based Workplace Training and Spaces of Learning: A Social Space Study of VR Training for Apprentice Electricians. *International Journal for Research in Vocational Education and Training*, 12(2), 151-173. <https://doi.org/10.13152/IJRVET.12.2.1>
- Lémonie, Y. et Chassaing, K. (2013). Ergonomie constructive. Dans P. Falzon (dir.), *Ergonomie constructive* (p. 61-74). Presses Universitaires de France. <https://doi.org/10.3917/puf.falzo.2013.01.0061>
- Leplat, J. (2013). Les gestes dans l'activité en situation de travail : Aperçu de quelques problèmes d'analyse. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, 15(1). <https://doi.org/10.4000/pistes.2951>
- Lewis, F., Plante, P. et Lemire, D. (2021). Pertinence, efficacité et principes pédagogiques de la réalité virtuelle et augmentée en contexte scolaire : Une revue de littérature. *Médiations et médiatisations*, 5, 11-27. <https://doi.org/10.52358/mm.vi5.161>
- Li, Y., Huang, J., Tian, F., Wang, H.-A. et Dai, G.-Z. (2019). Gesture interaction in virtual reality. *Virtual Reality & Intelligent Hardware*, 1(1), 84-112. <https://doi.org/10.3724/SP.J.2096-5796.2018.0006>
- Loison, V. (2024a). *Apports, usage et appropriation d'un environnement virtuel de simulation dans la formation en Odontologie – Présentation d'une méthode*

- d'enquête mixte pour l'étude d'un simulateur complexe en situation complexe.* Doctorales SFSIC 2024, Nancy, France. <https://hal.science/hal-04674250/document>
- Loison, V. (2024b). *Environnement virtuel de simulation dans la formation préclinique en Odontologie – ressentis et retours d'expérience des étudiants à l'utilisation d'un simulateur de réalité virtuelle avec et sans visiocasque.* 10èmes Rencontres des Jeunes Chercheuses et Chercheurs en EIAH, Laval, France. <https://hal.science/hal-04682628v1>
- Loison, V. (2025). *La réalité virtuelle pour l'apprentissage du geste en Odontologie : Modalités d'usage et d'appropriation d'un dispositif de simulation* [thèse de doctorat, Le Mans Université, France]
- Loison, V., Pirolli, F., Créatin-Pirolli, R. et Lopez, S. (2023a). *Environnement virtuel de simulation dans la formation en Odontologie – Présentation d'un programme de recherche et des résultats d'une étude préliminaire.* Dans S. Iksal, C. Pélissier, J-M. Gilliot, P. Marzin-Janvier (dir.), *Actes du colloque EIAH 2023*, 328-331. <https://hal.science/hal-04131278v2/file/actesEIAH2023v2.pdf>
- Loison, V., Pirolli, F., Créatin-Pirolli, R. et Lopez, S. (2023b). Introduction des nouveaux environnements virtuels de simulation dans la formation – Quelques modèles théoriques d'intégration et exemple d'une méthodologie de recherche dans le cadre du projet EVAGO. *La numérisation des sociétés*, 157-165. https://www.sfsic.org/wp-inside/uploads/2024/05/actes-congres-sfsic-2023-volume-1_compressed.pdf
- Loison, V., Pirolli, F., Créatin-Pirolli, R. et Lopez, S. (2024). *Interroger l'appropriation des acteurs pour l'introduction des environnements de simulation par la réalité virtuelle en formation.* Ticemed 14 Digitalisation des pratiques en éducation : risques, valeurs et opportunités.
- Loison, V., Pirolli, F., Créatin-Pirolli, S. et Lopez, S. (2025). Simulation numérique et immersion pour la formation en Odontologie : Une appropriation et une intégration complexes. *Revue française des sciences de l'information et de la communication*, 29. <https://doi.org/10.4000/131fl>
- Lourdeaux, D. (2001). *Réalité virtuelle et formation : Conception d'environnements virtuels pédagogiques* [thèse de doctorat, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, France]. <file:///C:/Users/vloison/Downloads/tel-00006475.pdf>
- Malet, D., Vidal-Gomel, C. et Falzon, P. (2017, juin). Simuler et discuter le travail pour construire l'espace du « Soins de Manutention Raisonné ». *Actes du 4ème Colloque de Didactique Professionnelle.* <https://cnam.hal.science/hal-04089479v1/document>
- Mauroux, M. (2020). *La réalité virtuelle dans l'enseignement préclinique en Dentisterie Restauratrice : Le simulateur haptique VirTeaSy Dental est-il un outil discriminant et valide pour apprécier les performances des étudiants ?* [thèse de doctorat, 2020, Université de Bordeaux, France]. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02496233v1>
- Mellet d'Huart, D. (2001). *La réalité virtuelle : Un média pour apprendre.* Cinquième colloque Hypermédias et apprentissages (p. 331-338). <https://edutice.archives-ouvertes.fr/edutice-00000489/document>
- Melpomeni, P. (2022). Comment penser les rapports entre contraintes techniques et libertés d'action. *Éducation et socialisation*, 66. <https://doi.org/10.4000/edso.21768>

- Merlin, M. (2009). Foucault, le pouvoir et le problème du corps social : *Idées : la revue des sciences économiques et sociales*, 155, 51-59. <https://doi.org/10.3917/idee.155.0051>
- Molle, N., Privas-Bréauté, V. et Ciekanski, M. (2020). La réalité virtuelle comme vecteur d'immersion pour apprendre les langues. *Etudes en didactique des langues. Transmission & vecteurs/vectors*, 34, 69-89. <https://hal.science/hal-04013114/document>
- Ngu Leubou, R. (2021). *Impact de la réalité virtuelle sur la formation à distance. Synthèse d'image et réalité virtuelle* [thèse de doctorat, Université de Limoges, France]. <https://theses.hal.science/tel-03267864>
- Nonaka, I. et Takeuchi, H. (1995). *The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation*. Oxford University Press.
- Ourahmoune, A., Chegroune, S. E. et Benmerzoug, L. (2024). Integration of virtual reality and Support Vector Machines (SVM) in the clinical training of breast palpation. *Multimedia Tools and Applications*, 84(21), 23555-23575. <https://doi.org/10.1007/s11042-024-19998-9>
- Petit, L. et Oudart, A.-C. (2017). Apprendre et faire apprendre un geste professionnel. *Recherches en éducation*, 28. <https://doi.org/10.4000/ree.5995>
- Putranto, J. S., Heriyanto, J., Kenny, Achmad, S. et Kurniawan, A. (2023). Implementation of virtual reality technology for sports education and training: Systematic literature review. *Procedia Computer Science*, 216, 293-300. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.139>
- Rajaram, S., Surale, H. B., McConkey, C., Rognon, C., Mehta, H., Glueck, M. et Collins, C. (2025). Gesture and Audio-Haptic Guidance Techniques to Direct Conversations with Intelligent Voice Interfaces. *Proceedings of the 2025 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1133,1-20. <https://doi.org/10.1145/3706598.3714310>
- Rehman, I. U., Ullah, S., Ali, N., Rabbi, I. et Khan, R. U. (2022). Gesture-based guidance for navigation in virtual environments. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 16(4), 371-383. <https://doi.org/10.1007/s12193-022-00395-1>
- Renoir, N., Duvenci-Langa, S., Goff, C. L., Blatter, C., Gibbe, P., Létourneaux, F., Cappi, C., Hernandez, P. M. et Salvon, O. (2020). *Renforcement des compétences non-techniques dans un contexte inter-métiers, par la formation en réalité virtuelle*. Congrès Lambda Mu 22 « Les risques au cœur des transitions » (e-congrès). 22e Congrès de Maîtrise des Risques et de Sécurité de Fonctionnement, <https://hal.science/hal-03348009/document>
- Ribault, P. (2011). Du toucher au geste technique : La « technè des corps ». *Appareil*, 8. <https://doi.org/10.4000/appareil.1315>
- Rouge, J.-A. (2016). Intérêt pédagogique de la simulation. *Interbloc*, 35(3), 174-177. <https://doi.org/10.1016/j.bloc.2016.07.011>
- Roy, M. (2017). *La réalité virtuelle pour l'apprentissage des langues : Une étude auprès d'adolescents apprenant le français ou l'allemand* (Vol. 13), Peter Lang Verlag.
- Sensevy, G. (2005). Sur la notion de geste professionnel. *La Lettre de l'AIRDF*, 36(1), 4-6. <https://doi.org/10.3406/airdf.2005.1638>

- Shetty, S., Errichetti, A., Narasimhan, S., Al-Daghestani, H. et Shetty, G. (2025). The use of virtual reality and haptics in the training of students in restorative dentistry procedures: A systematic review. *Korean Journal of Medical Education*, 37(2), 203-217. <https://doi.org/10.3946/kjme.2025.335>
- Simon, C., Hacene, M. B., Lebrun, F., Otmame, S. et Chellali, A. (2024). *Influence des instructions multimodales sur l'apprentissage par compagnonnage des compétences de manipulation d'outil dans un environnement immersif*. <https://hal.science/hal-04450132>
- Souchet, A. (2020). *Impacts de la fatigue visuelle sur l'apprentissage via serious game en réalité virtuelle* [thèse de doctorat, Université Paris 8 Vincennes - Saint-Denis].
- Thangavel, S., Sharmila, K. et Sufina, K. (2025). Revolutionizing Education Through Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR): Innovations, Challenges and Future Prospects. *Asian Journal of Interdisciplinary Research*, 8(1), 1-28. <https://doi.org/10.54392/ajir2511>
- Tisseron, S. (2021). La Réalité Virtuelle : Définition, usages et éthique. Dans S. Tisseron et F. Tordo (dir.), *Comprendre et soigner l'homme connecté* (p. 189-200). Dunod. <https://www.cairn.info/comprendre-et-soigner-l-homme-connecte--9782100817559-p-189.htm>
- Treanton, A. (2022). *La simulation haptique : Une nouvelle approche pédagogique en dentisterie restauratrice* [mémoire, Chirurgie-dentaire, Université de Bretagne Occidentale]. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03528125>
- Vadcard, L. (2022). Transmettre un geste – un rapport non évident au travail. Dans L. Vadcard (dir.), *Gestes techniques et formation* (p. 61-91). Presses universitaires de Grenoble. <https://shs.cairn.info/gestes-techniques-et-formation--9782706151835-page-61?lang=fr>
- Vincent-Geslin, S., Kaufmann, V. et Ravalet, E. (2016). Réversibilités spatiales, réversibilités sociales ? *SociologieS*, *Dossiers*. <https://doi.org/10.4000/sociologies.5473>
- Witte, K., Bürger, D. et Pastel, S. (2025). Sports training in virtual reality with a focus on visual perception: A systematic review. *Front. Sports Act. Living*, 7. <https://doi.org/10.3389/fspor.2025.1530948>
- Yu Hang Lam, W., Wang, C., Nagasawa, M., Schick, S.-G., Ranauta, A., Lingström, P., Bencharit, S., Sittoni-Pino, M. F., Felszeghy, S. et Quinn, B. (2025). Transforming Dental Education : Global Insights On Haptic Vr Challenges. *International Dental Journal*, 75(1). <https://doi.org/10.1016/j.identj.2025.104188>