

# Conception, Adaptation et Évaluation : quelles questions et perspectives pour les Environnements de Réalité Mixte pour l'Apprentissage Humain (ERMAH)

Jean-Marie Burkhardt<sup>1</sup> et Domitile Lourdeaux<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IFSTTAR - AME/LPC Satory Versailles

<sup>2</sup> Sorbonne universités, Université de technologie de Compiègne, CNRS, Heudiasyc UMR 7253

Les termes de « Réalité virtuelle » (RV) se réfèrent aux recherches nées au début des années 1970 dont l'une des principales préoccupations est l'obtention d'une interaction plus naturelle par l'intermédiaire de périphériques et d'interfaces multimodales de navigation et de manipulation en trois dimensions (casques ou écrans 3D, gants de manipulation, systèmes avec retours d'effort, etc.) et/ou de communications à distance médiées (MOO, MUD etc.). Les termes de « Réalité Augmentée » (RA) ont été introduits plus récemment, au début des années 1990 afin de désigner une forme spécifique d'interaction humain-machine (IHM) fondée sur l'association sémantique et spatiale d'objets réels et d'objets générés par un ordinateur. L'idée d'augmentation renvoie ainsi à l'enrichissement de l'information véhiculée par les objets virtuels. Les technologies de RA, à la différence de celles de réalité virtuelle (RV), ne visent pas une substitution du monde réel par une analogie virtuelle. Une tendance actuelle dans les deux domaines est à la mobilisation accrue de technologies à faible coût (e.g. Kinect), et au développement d'applications pour des situations de mobilité et/ou de collaboration en réseau. La dénomination « Réalité Mixte » (RM) représente aujourd'hui cet ensemble de technologies qui induisent de nouvelles formes d'interaction humain-machine et introduisent des évolutions potentielles dans bon nombre d'activités humaines.

Dans la perspective de la discussion qui sera menée dans le cadre des ateliers Orphée, ce document présente une première proposition d'articulation des questions associées à la conception d'Environnements mobilisant la Réalité Mixte pour l'Apprentissage Humain (ERMAH). Il a vocation à être complémentaires des contributions reçues, en indiquant notamment des pointeurs sur les questions abordées dans ces contributions. La liste des contributions reçues à ce jour est donnée dans la dernière partie du document.

## 1. Approche, méthodes et outils pour la conception des environnements de réalité mixtes pour l'apprentissage humain

Cet premier regroupement de questions porte sur les approches, les méthodes, les techniques ou les outils soutenant les différentes étapes de la conception avec l'objectif d'aboutir à un ERMAH utile, adapté aux utilisateurs ciblés (formateurs/enseignant/tuteur ; apprenants/ formés; les deux, etc.), et efficient en termes d'apprentissage. L'atteinte de cet objectif implique de concevoir différents « objets » : (a) le système en termes technique ( architecture, composants, dispositifs d'interaction, dialogue; base de données, capteurs, etc.) ; (b) le contenu des scénarii d'apprentissage, incluant les

connaissances à acquérir, la spécification des tâches à réaliser et des contenus, comportements et relations des objets et des situations associées à l'apprentissage, etc ; (c) les usages, les pratiques des utilisateurs (enseignants, apprenants, autres) dans lesquels prend place l'utilisation du système. Ces trois « objets » ne sont pas indépendants : ils évoluent et se nourrissent - voire se contraignent - mutuellement tout au long de la conception. Ainsi les pratiques actuelles des utilisateurs et les contextes où elles prennent place fournissent l'une des bases pour la conception du système. La spécification des connaissances à acquérir et les méthodes d'acquisition à mettre en œuvre constituent une autre base importante pour la définition des fonctionnalités et des autres caractéristiques du système. En retour, il les choix techniques ou organisationnels peuvent affecter les usages et les pratiques, voire l'approche pédagogique et didactique. La littérature fait apparaître un certain déséquilibre du fait, d'un côté de la précision des descriptions relatives à la dimension technique des systèmes et, de l'autre côté, la publicité moindre et souvent peu précise faites aux deux autres dimensions. La critique souvent faite quant au manque de prise en compte des besoins des utilisateurs (enseignants, formateurs ou apprenants, etc.) traduit du reste le fait que les pratiques et les contextes d'utilisation sont dans de nombreux cas prescrits par les caractéristiques du système, plutôt que l'inverse. Il nous semble par conséquent intéressant d'ouvrir à la discussion les méthodes et outils qui, en parallèle à la conception de l'artefact lui-même, sont dédiés à la spécification et à la conception des contenus pédagogiques et didactiques, ainsi que ceux assistant la façon dont les pratiques et l'utilisation en contexte se trouvent (re)conçus en même temps que l'artefact.

Il en découle plusieurs axes de questionnements :

1. **Méthodes et outils actuels – ou souhaitables - dans les processus de spécification et de conception d'un EMRAH.** Quelles sont les méthodes et les outils réellement mis en œuvre pour formaliser les différentes étapes de spécification puis d'implantation du projet, en ce qui concerne les trois dimensions précitées (artefact, scénario d'apprentissage, pratiques et utilisation ; le recueil et la formalisation constituent deux axes importants ; un autre axe également important, concerne le choix de la configuration de dispositifs d'interaction la plus appropriée à la situation d'apprentissage visée, et à la conception des métaphores d'interaction favorisant à la fois l'utilisabilité et l'efficacité du système relativement au(x) profil(s) de ses utilisateurs (apprenant, formateurs, enseignants, experts de la tâche, etc..)
2. **Formes et caractéristiques des situations variées de pratiques et de configuration d'utilisation des ERMAH.** Par exemple, Burkhardt, Lourdeaux & Lequatre (2005) montraient plusieurs patterns de conception spécifiques à des configurations et des pratiques différenciées de l'activité d'apprentissage : pattern correspondant à des situations d'apprentissage en tutorat, pattern pour l'apprentissage supervisé en groupe, pattern d'utilisation d'un EV comme support à l'exposé ou la démonstration de l'enseignant/ du formateur, pattern renvoyant à un usage de type auto-formation. Les évolutions n'ont pas manquées depuis cette époque, ce qui fait dire que les classes et le contenus de tels patterns sont probablement à reconsidérer, étoffer ou préciser aujourd'hui ; par exemple, une activité souvent éludée dans les projets de conception de simulation d'environnements virtuels ou de réalité augmentée concerne la phase de Debriefing. En effet, de nombreux travaux en formation et en éducation montrent que la réflexivité sur les apprentissages est primordiale. Les approches réflexives permettent d'amener l'apprenant à prendre conscience de ses stratégies d'apprentissage et du type d'apprenant qu'il est en adoptant une approche consciente face à sa progression tout au long de son parcours pédagogique. La phase de

débriefing serait donc essentielle pour permettre cette réflexivité. Il serait enfin intéressant de positionner les décisions de conception en termes d'acteurs et de configuration de la situation l'apprentissage, et rendre explicite tout au long de la conception l'articulation entre les choix théoriques, le scénario d'apprentissage et les choix de conception concernant l'artefact ; la notion de pattern pourrait être une façon d'opérationnaliser cette articulation, mais d'autres alternatives sont probablement envisageables.

3. **Acteurs et formes de participation aux projets de conception.** Quelle(s) place(s) et quel(s) rôle(s) des différents acteurs peuvent être aujourd'hui observés dans les projets de conception; une façon d'aborder cette question est d'examiner les "objets" ou les "outils" propres ou partagés entre ces différents acteurs, et leur articulation au cours du processus de conception.
4. **Cadres théoriques et modèles d'activité?** Quels sont les cadres et les modèles mobilisés pour la justification et l'argumentation des choix de conception, ou pour fournir la base aux hypothèses mises à l'épreuve dans les phases d'évaluation. dans le cas où plusieurs co-existent, comment ces cadres théoriques mobilisés sont-ils articulés dans et tout au long de la conception.
5. **Outils dédiés au recueil de données terrains et à la formalisation des pratiques et des contextes.** Ces outils permettent de fournir des données centrales pour nourrir le processus de spécification et d'évaluation. Selon le cas, ces outils visent soit à spécifier certaines fonctions ou variables importantes pour la conception de l'outil, soit permettent d'informer sur le contexte, les contraintes et les utilisations actuelles (tâche ou activité actuelle) ou anticipées (prescription).
6. **Langages et formalismes de description** sont utilisés pour des objectifs variés; ils permettent par exemple de représenter les connaissances qui sous-tendent l'environnement virtuel, et qui vont être utilisées par le moteur de scénarisation, ou par d'autres composants du système le cas échéant. Ces langages sont utilisés par les auteurs, formateurs et concepteurs de l'environnement virtuel pour décrire l'ensemble des scénarios possibles et souhaitables dans la simulation — soit directement, soit en faisant appel à un informaticien chargé de l'écriture des modèles. Selon (Barot, 2014), quatre propriétés sont nécessaires pour les formalismes : 1) la modularité, afin de pouvoir ajouter, supprimer, modifier ou réutiliser des parties de ce contenu sans avoir à le modifier en intégralité, 2) l'intelligibilité, afin que le contenu scénaristique puisse être renseigné directement par des experts du domaine concerné, et non uniquement par des informaticiens, 3) l'expressivité, afin de pouvoir modéliser des comportements complexes, rares, non-idéaux, à la fois au niveau des systèmes techniques et des comportements humains, 4) l'interprétabilité, afin de pouvoir être directement utilisé par des modules informatiques sans nécessiter de traduction manuelle préalable. Si un travail important est encore à faire dans ce domaine pour uniformiser les modèles et répondre à ces objectifs, il est intéressant de s'interroger sur les outils de ce type réellement utilisés, leur caractère approprié ou leurs limites, ainsi que les évolutions souhaitables.
7. **Génie logiciel et documentation.** L'intégration de ces différentes méthodes, techniques et outils doit favoriser l'efficacité et la documentation du processus de conception des scénarios, y compris sur la modélisation du contenu scénaristique faite en amont par des auteurs humains, sur l'évolution des pratiques et l'utilisation en contexte, ainsi que sur les pré-requis associés - (compétences requises, organisation à mettre en place, ressources matérielles nécessaires, etc.). Il s'agit de limiter l'effort nécessaire à la conception (authoring) des

environnements virtuels. Plusieurs objectifs principaux peuvent être mis en perspective relativement à cet aspect : passage à l'échelle, maintenabilité, réutilisabilité, interopérabilité.

## 2. Modèles et architecture pour l'adaptation, l'orchestration et la coopération

Les avantages de la Réalité Virtuelle dans un contexte de formation professionnelle ou d'entraînement sont nombreux et sont largement décrits dans (Burkhardt et al., 2006). Il en est de même en ce qui concerne l'intérêt et les hypothèses les plus fréquentes concernant l'usage de la Réalité Augmentée pour l'apprentissage (voir e.g. Anastassova et al. 2007). Souvent utilisée pour entraîner à des situations proches du réel, ces différents types d'environnements ne fournissent pas toujours des fonctionnalités de contrôle pédagogique et scénaristique des situations. De fait, il revient souvent aux formateurs/ enseignants de compléter ou d'intervenir dans la situation pour pallier le manque de flexibilité et de capacité d'adaptation des ERMAH actuels. Fournir des fonctionnalités de contrôle peut permettre de personnaliser et d'adapter les contenus à chaque apprenant en proposant les situations les plus pertinentes pour le développement de compétences (progression dans les apprentissages, remédiation à des conceptions erronées, approches réflexives, etc.).

Pour permettre le contrôle et l'adaptation des situations, plusieurs axes de questionnement concernent les thèmes suivants :

8. **Diagnostic sur l'apprenant.** Comprendre le comportement de l'apprenant sur le plan de l'apprentissage requiert à la fois des connaissances de référence, un modèle de l'apprentissage, du développement et/ou du comportement des apprenants, et des moyens techniques pour recueillir, traiter et interpréter les informations pertinentes (Luengo, 2009). Il faut pouvoir détecter et caractériser les comportements de l'apprenant (e.g. adéquats vs. erronés), essayer d'attribuer ces comportements à des misconceptions, des connaissances erronées ou leur application inadaptée à la situation. Couramment réalisé dans le domaine des EIAH sur des apprentissages de connaissances théoriques (e.g. mathématiques, langues, informatiques), ce type de diagnostic est assez complexe à réaliser de façon dynamique dans des environnements virtuels ou de réalité augmentée "ouverts", i.e. proposant une grande liberté d'action et permettant un apprentissage par l'erreur. Quelles sont les méthodes et techniques les plus appropriées pour réaliser des diagnostics ? Pour adapter les situations à chaque apprenant, d'autres types de dimensions de son profil pourrait-il être diagnostiqué ? Par exemple, comment intégrer dans les profils apprenant des éléments physiologiques et émotionnel (détection de son attention, de son engagement, de sa motivation, de son stress, de ses émotions, etc.) ?
9. **Adaptation et personnalisation des situations d'apprentissage :** à partir d'un diagnostic et du profil apprenant (dynamique ou statique), il peut être intéressant de déterminer et orchestrer dynamiquement les situations et scénarios qui permettront à l'apprenant de favoriser ses apprentissages. Un contrôle scénaristique peut viser soit des objectifs pédagogiques pour permettre un apprentissage graduel (vérification des compétences acquises, renforcement des compétences, développement de nouvelles compétences, etc.), soit des objectifs narratifs pour moduler l'engagement ou jouer sur les émotions dans les apprentissages par exemple (tension dramatique, rebondissements, etc.). Dans le domaine des environnements virtuels

pour l'apprentissage comme dans le domaine du récit interactif ou de jeu vidéo, le contrôle des situations d'apprentissage s'oppose souvent à l'adaptabilité, la liberté d'action va à l'encontre du contrôle, l'alliance du contrôle et de l'adaptabilité met en péril la cohérence, et ainsi de suite. Dans le domaine du jeu vidéo, on parle du paradoxe narratif pour désigner l'opposition fondamentale entre l'interactivité et la narration. Cependant, il est fréquent que les systèmes qui proposent de concilier contrôle et adaptabilité se bornent à apposer une surcouches de contrôle sur une simulation composée d'entités autonomes, et que les interventions de ces systèmes perturbent la cohérence de l'environnement en modifiant à la volée des états de la simulation. Aujourd'hui, la plupart des approches proposent des approches hybrides pour pallier aux problèmes cités précédemment comme *Thespian* (Si, 2010), *Crystal Island* (Rowe et al., 2009), *#Seven* (Claude et al., 2014), *HUMANS* (Barot, 2014). Quelles techniques sont les mieux adaptées en fonctions des objectifs d'apprentissages ? Quelles sont les contraintes ? Quels sont les bilans ? Quelles nouvelles perspectives sont à envisagées ? Quels apports/contraintes d'intégrer des aspects récits interactifs et des théories narratives dans des environnements virtuels en termes d'apprentissage, de contrôle ? Comment personnaliser ?

10. **Assistance aux différents profils d'utilisateurs potentiels** : pour guider l'apprenant dans sa tâche ou remédier à des misconceptions ou erreur, des rétroactions peuvent être proposées à l'apprenant pour tenter d'y remédier (Buche, 2010), (Fricoteaux, 2012). Quelles assistances sont les plus adaptées ? Quelles intentions pédagogiques ? Quand les déclencher ? Comment les personnaliser ? Quelles assistances pour favoriser des approches réflexives ? Quelle place pour le formateur ? Quelle place pour le co-apprentissage ? Quelles classifications ? Quelles sont les spécificités des ERMAH ? En particulier concernant la notion d'assistance en Réalité Virtuelle, nous distinguons, sur le plan scénaristique deux types d'assistances : extra-diégétiques et intra-diégétiques (Carpentier, 2015). La diégèse est l'univers dans laquelle se déroule l'histoire présentée par un scénario. Les niveaux intra-diégétique et extra-diégétique se distinguent donc par le fait que le contenu qu'il représente appartient, ou non, à la diégèse. Le contenu intra-diégétique constitue ce qui est perceptible dans la simulation et qui serait perceptible dans le monde réel. Ainsi, les tâches à effectuer, les relations entre les personnages, les différents évènements prenant place relèvent de la diégèse. Ainsi, le niveau intra-diégétique peut proposer des assistances à l'apprenant sans sortir du contexte de la simulation. Ainsi, une assistance peut être apportée par un personnage virtuel jouant le rôle d'un collaborateur. Ce qui est extra-diégétique relève de ce qui n'existerait pas dans le monde réel mais qui peut malgré tout être rendu grâce aux capacités des environnements virtuels. Des indications temporelles ou spatiales peuvent être renseignées en sur-impression de l'environnement. On peut également avoir des informations plus générales sur les relations entre les personnages ou sur des événements passés qui ne peuvent être perçus par l'utilisateur. Il s'agit alors de contenus appartenant à la diégèse mais présentés en dehors de celle-ci.

### 3. Approches et questions sur l'évaluation des ERMAH

La notion d'évaluation fait référence à « l'action d'évaluer », c'est-à-dire à l'action de mesurer, d'estimer, de déterminer la valeur ou encore de juger. La mise en place une évaluation peut viser une

variété d'objectifs (mettre au point et concevoir, sélectionner, accompagner l'apprentissage et le développement, etc.) et concerner des cibles de nature et de complexité assez différentes (e.g. évaluer l'utilité d'un logiciel, l'efficacité d'une métaphore d'interaction, la performance d'un logiciel d'apprentissage, etc.). Les questions relatives à l'évaluation sont multiples, se regroupant possiblement autour de thèmes généraux suivants:

11. **Approches sommative et formative de l'évaluation.** Deux approches principales sont souvent distinguées : l'évaluation **sommative**, qui vise à mesurer la qualité d'un système et/ou quantifier des dimensions de la performance des participants ; l'évaluation **formative**, qui vise à produire des données – le plus souvent qualitative ou mixte quantitative/qualitative – sur l'activité observée et les processus mis en œuvre dans la situation observée, sur les difficultés rencontrées et les facteurs explicatifs les plus probables, sur l'identification de besoins non pourvus, voire sur des idées de solutions potentielle aux problèmes et aux questions ainsi identifiées. Quelles sont les approches, méthodes et techniques mobilisées ou envisageables aujourd'hui, avec quels objectifs et pour quelles limites? Quels sont les avantages et faiblesses de ces méthodes variées, comment les combiner de façon complémentaire au cours de l'évaluation des prototypes et des technologies en cours de développement.
12. **Utilisation et utilité des évaluations sans « utilisateurs » (apprenants, enseignants, experts, autre...).** Les méthodes sans utilisateurs sont généralement focalisées sur l'évaluation de l'utilisabilité et de la qualité ergonomique. Moins coûteuse que les études sur le terrain avec des apprenants et/ou des enseignants/formateurs, elles peuvent s'utiliser de façon très précoce et itérative au cours du processus de conception. Elles constituent une approche qui peut compléter le processus de conception avant ou entre deux études avec des utilisateurs. il serait intéressant de mieux cerner leur utilisation réelle dans les projets d'ERMAH, le périmètre des dimensions auxquelles elles s'appliquent, ainsi que les moments et les articulations faites avec les autres processus au cours de la conception.
13. **Utilisation et validité des évaluations basées sur les utilisateurs.** Coûteuses mais plus efficaces, les approches de l'évaluation basées sur la mise en situation de participants/utilisateurs s'inspirent du paradigme expérimental. Toutefois, les sujets humains ne sont ni des « tables rases » ni de simples transducteurs de l'environnement et des conditions expérimentales dans lesquels ils sont placés. Dans le cas de comportements complexes et d'une population présentant de réelles spécificités (e.g. du fait de leur expertise, de leur métier, de leur culture, etc.), la simplification et la réduction des « variables » présentes dans l'environnement expérimental peut induire des comportements ou des performances modifiées voire créées de toute pièce par la situation du fait de l'absence des informations ou des dimensions de l'environnement habituellement mobilisées dans l'activité et la genèse du comportement. Dans ce contexte, la notion de « validité écologique » constitue un argument ou un critère mobilisé de façon récurrente dans la mise au point des évaluations réalisées et/ou dans l'interprétation et l'utilisation des données d'études publiées, sans que le concept sous-jacent soit toujours clairement défini. De fait, la notion de validité écologique renvoie à la question plus générale de la validité des études menées dans un milieu artificiel souvent simplifié et modifié pour des raisons de contrôle expérimental (laboratoire), par opposition au comportement humain dans son « milieu naturel ». La validité peut se décomposer en plusieurs types, parmi lesquels sont couramment distinguées la validité **théorique**, **interne** et **externe**, cette dernière étant généralement assimilée à la notion de

validité **écologique**. La validité théorique porte, relativement aux questions ciblées, sur (1) le caractère adéquat des concepts et du contenu des outils de mesure choisis ou élaborés, (2) l'identification des variables et de leurs relations les plus pertinentes et les plus représentatives (3) la sélection d'indicateurs statistiquement corrélées aux critères de références externes usuels et pertinents pour traiter la question. Dans le contexte des ERMAH, la validité **interne** peut s'interpréter dans le sens de l'observation avérée de la production d'un apprentissage consécutif à l'utilisation de/ à l'interaction avec le système. Toutefois la validité interne n'est pas suffisante pour juger de l'utilité et l'efficacité réelle d'un ERMAH. En fait, la validité interne est un prérequis plus qu'une preuve : si il n'y a pas d'amélioration lors de l'utilisation de l'ERMAH, alors il est peu probable qu'il puisse y avoir ensuite un transfert vers la tâche et la situation réelle. Par contre, une amélioration dans les situations simulées n'implique pas forcément ensuite un transfert dans l'activité en situation réelle. Ce deuxième point renvoie à la notion de **validité externe** – souvent assimilée à la **validité écologique**- qui caractérise de façon générale le degré possible de généralisation des résultats observés au-delà de la situation expérimentale elle-même. Dans le contexte des ERMAH, la validité externe peut être ainsi comprise comme la réponse à la question du transfert de ce qui est appris avec l'ERMAH dans les situations réelles d'activité (Hoareau, 2016). Une autre ligne de questionnement porte sur les plans, méthodes et outils mobilisés pour l'évaluation des ERMAH aujourd'hui, et sur les perspectives envisageables.

14. **Spécificités** liées au contexte des technologies mobilisées dans les ERMAH. Plusieurs spécificités sont a priori remarquables. La première découle du fait qu'il s'agit de systèmes et de situations variées orientées vers l'apprentissage. La seconde découle des types de technologies mobilisées. Cela inclut par exemple : (a) l'importance accrue de la dimension physique et gestuelle dans l'activité associée à l'usage du dispositif, et de l'introduction de la profondeur dans l'espace d'interaction et à la mobilité ; (b) l'imbrication, plus ou moins transparente pour les utilisateurs, d'informations présentes dans l'environnement réel et d'informations artificielles engendrées par le système informatique, voire la concurrence ou l'interférence entre ces sources et ses informations ; en particulier lorsqu'il s'agit de réalité augmentée, il y a également la spécificité de (c) l'utilisation dans un environnement ouvert extérieur (outdoor) et (d) l'utilisation en mobilité. Une autre spécificité peut être liée à la nature de ce qui est à apprendre : par exemple, si de nombreux exemples de systèmes ciblent des matières scolaires ou l'apprentissage de procédure, d'autres domaines tels celui des compétences non techniques ont donné lieu à peu de travaux. Quelles sont les autres spécificités remarquables, et en quoi impactent-elles la construction des évaluations, comment en tenir compte pour garantir une utilité pratique et une bonne validité etc. font partie des questions qui peuvent être posées.

## 4. Contributions reçues à ce jour

Bekkadja Body, S. , Bobillier Chaumon, M.-E. & Cuvillier, B. Introduction de la Réalité Virtuelle et Évolution de la Conception Pédagogique de Formation Professionnelle.

Blandin, B. Réalités mixtes, virtuelles et augmentées pour l'apprentissage : perspectives et challenges pour la conception, l'évaluation et le suivi

- Boccaro, V. & Delgoulet, C. L'analyse des travaux pour la conception d'environnements virtuels de formation
- Bourrier, Y., Jambon, F., Garbay, C. & et Luengo, V. Modèles de raisonnement pour le diagnostic et le feedback dans l'apprentissage de la gestion des compétences non techniques en situation critique
- Da Costa, J. & Szilas, N. Conceptualiser les Phénomènes Physiques à travers la Réalité Augmentée
- Ganier, F. Réalité Virtuelle, Réalité Augmentée et apprentissage de procédures
- Muller, N., Panzoli D., Lagarrigue, P. & Jessel, J.-P. Métaphores d'Interactions en Réalité Virtuelle pour les Learning Games Immersifs.
- Oubahssi, L. & Piau-Toffolon, C. Conception et développement d'un environnement virtuel pour l'apprentissage : Application dans le cadre du projet ARVAD
- Saunier, J. Les personnages virtuels autonomes comme compagnons d'apprentissage

## Références

- (Barot, 2014) BAROT C., Scénarisation d'environnement virtuel. Vers un équilibre entre contrôle, cohérence et adaptabilité, PhD thesis, Université de Technologie de Compiègne, Compiègne, février 2014.
- (Buche et al., 2010) BUCHE C., BOSSARD C., QUERREC R., CHEVAILLIER P., PEGASE : A generic and adaptable intelligent system for virtual reality learning environments , International Journal of Virtual Reality, vol. 9, n° 2, p. 73-85, IPI Press, septembre 2010.
- (Burkhardt, Lourdeaux & Lequatre, 2005). BURKHARDT, J-M, LOURDEAUX, D., et LEQUATRE, F. Environnements Virtuels pour l'Apprentissage: de l'image d'Epinal à la réalité des usages et des configurations socio-techniques. In : *Proceedings of the 17th Conference on l'Interaction Homme-Machine*. ACM, 2005. p. 163-170. doi>[10.1145/1148550.1148571](https://doi.org/10.1145/1148550.1148571)
- (Burkhardt et al., 2006) BURKHARDT J.-M., LOURDEAUX D., MELLET-D'HUART D., La réalité virtuelle pour l'apprentissage humain , G. Moreau (Coord.), B. Arnaldi & P. Guitton (Coords). Le Traité de la réalité virtuelle, vol. 4, p. 43–100, 2006.
- (Carpentier, 2015) CARPENTIER K., Scénarisation personnalisée dynamique dans les environnements virtuels pour la formation, PhD thesis, Université de Technologie de Compiègne, Compiègne, janvier 2015
- (Claude et al., 2014) CLAUDE G., GOURANTON V., BOUVILLE BERTHELOT R., ARNALDI B., Short Paper : #SEVEN, a Sensor Effector Based Scenarios Model for Driving Collaborative Virtual Environment , NOJIMA T., REINERS D., STAADT O., Eds., ICAT-EGVE, International Conference on Artificial Reality and Telexistence, Eurographics Symposium on Virtual Environments, Bremen, Germany, p. 1-4, décembre 2014.
- (Fricoteaux, 2012) FRICOTEAUX L'interaction informée par un système décisionnel pour un retour multimodal en environnement virtuel : application à la formation au transport fluvial, PhD thesis, Université de Technologie de Compiègne, Compiègne , 2012
- (Luengo, 2009) LUENGO V., Les rétroactions épistémiques dans les Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain, Habilitation à diriger la recherche, Université Joseph Fourier - Grenoble I, 2009



- (Rowe et al., 2009) ROWE J., MOTT B., MCQUIGGAN S., ROBISON J., LEE S., LESTER J., Crystal island : A narrative-centered learning environment for eighth grade microbiology , workshop on intelligent educational games at the 14th international conference on artificial intelligence in education, Brighton, UK, p. 11–20, 2009.
- (Si, 2010) SI M., Thespian : a decision-theoretic framework for interactive narratives, PhD thesis, University of Southern California, 2010.