



Cadrage scientifique et méthodologique

Responsable : Eric Sanchez

Contributeurs

Luca Bisognin, Valérie Emin-Martinez, Sébastien George, Kristine Lund, Claudine Piau-Toffolon, Eric Sanchez, Audrey Serna.

Historique des versions

Version 1.0	janvier 2015	version livrée le 9 janvier 2015
Version 1.1	mars 2015	mise en forme, pagination

Sommaire

Historique des versions	1
Introduction	3
1. Jeu épistémique numérique	4
1.1. Du jeu sérieux au jeu épistémique numérique	4
1.2. Conception de jeux et interactions contextualisées	8
1.3. Formalisation d'un modèle de JEN, d'un processus de conception de JEN et méta-modélisation	10
2. Problématique et questions de recherche	13
3. Méthodologie de la recherche	14
3.1. Recherche orientée par la conception et incubateur	14
3.2. Evaluation des jeux épistémiques : de ENA à mENA.....	17
3.3. Ingénierie des EIAH, traces, indicateurs	18
4. Bibliographie	20

Introduction

Ce document constitue le livrable 1.1.3 du projet JEN.lab retenu par l'ANR pour financement dans le cadre de l'appel à projets Apprentissage 2013. Ce livrable est décrit, dans le dossier de soumission, comme "un document de cadrage scientifique décrivant les cadres théoriques, les questions de recherche et les méthodologies mises en œuvre". Il s'agit donc de produire collectivement une vision scientifique partagée du projet tant du point de vue de ses dimensions théoriques que des approches méthodologiques qui sont mises en œuvre. Ce document est destiné à constituer un document de référence pour les différents partenaires du projet. Néanmoins, il est également destiné à évoluer en fonction des avancées. C'est pourquoi cette première version sera révisée en lien avec les résultats des travaux qui sont conduits.

Ce document est issu d'un travail qui a consisté à reprendre les éléments théoriques et méthodologiques qui avaient été mentionnés dans le dossier de soumission en les révisant pour tenir compte des premiers travaux qui ont été mis en œuvre. Ces travaux concernent en particulier un séminaire de recherche qui a été organisé lors de la réunion de lancement du projet. Ils concernent également les nombreuses réunions de conception des jeux qui ont d'ores et déjà eu lieu et qui ont permis d'initier les échanges au sein du consortium. Ce document a donc bénéficié des apports de l'ensemble des membres du projet JEN.lab et a été rédigé de manière collaborative par les membres du comité de pilotage du projet.

Dans une première partie, nous discutons la notion de jeu épistémique numérique en nous appuyant sur des travaux antérieurs et en montrant en quoi cette approche présente un intérêt pour aborder la question de l'usage du jeu en contexte éducatif ou de formation. Dans une seconde partie nous présentons la problématique et les questions de recherche et dans une dernière partie nous proposons une méthodologie de recherche.

1. Jeu épistémique numérique

1.1. Du jeu sérieux au jeu épistémique numérique

L'usage de jeux numériques pour l'enseignement et la formation tend à se développer mais les modèles qui décrivent ce type d'approche pédagogique sont encore peu formalisés et les travaux qui les documentent encore trop peu nombreux. Nous proposons ici un modèle théorique issu de la Théorie des situations didactiques (Brousseau, 1998) tel qu'il a été repris par Gonçalves dans sa thèse (Gonçalves, 2013).

Le terme français « jeu » est ambigu puisqu'il désigne aussi bien le jeu-*game*, la structure du jeu, l'artefact employé pour jouer, le jeu-*play*, c'est-à-dire le jeu libre ou la situation construite avec le jeu-*game*, que le *playing*, l'activité ludique (Sanchez, 2014; Sanchez and Emin-Martinez, 2013). Comme Henriot (Henriot, 1969), il nous semble préférable de considérer que « le jeu n'est pas dans la chose mais dans l'usage qu'on en fait » et nous inscrire en rupture avec le courant des *games studies* qui conduit à considérer l'artefact, le *serious game*, pour plutôt prendre en compte les interactions qui émergent de la situation et le jeu numérique épistémique, en tant que situation ayant des visées éducatives. Le modèle que nous retenons nous conduit à retenir l'expression *jeu épistémique numérique* plutôt que *jeu sérieux* afin de prendre en compte l'expérience vécue par le joueur plutôt que l'artefact utilisé pour jouer. Ainsi, un jeu-*game* n'est qu'une proposition et c'est l'attitude ludique du joueur, le *playing*, qui signe la mise en place du jeu-*play*.

Nos travaux s'appuient sur la Théorie des Situations Didactiques (Brousseau, 1998) qui intègre un point de vue piagétien sur l'apprentissage. L'apprentissage est un processus adaptatif qui résulte des interactions qui se nouent entre un apprenant et un *milieu didactique* (ibid.). Margolinas (1995) propose un modèle qui permet d'une part de rendre compte d'une structuration du *milieu didactique* en niveaux emboîtés et, d'autre part, de prendre en compte sa dynamique et son évolution dans le temps. Ainsi, une situation de niveau n constitue le milieu didactique du niveau $n+1$.

Dans nos travaux qui visent à modéliser un jeu-*play*, nous nous limitons, comme Gonçalves (2013) à un modèle qui rend compte des niveaux S-2, S-1 et S0 de Margolinas (1995). Une situation S-2 est une situation d'action qui se situe donc à un niveau infra-didactique. Le milieu didactique est représenté par le jeu-*game* qui rétroagit en fonction des actions effectuées par le joueur/apprenant (ou ludant). Dans le cas de

l'utilisation d'un jeu sérieux de type jeu vidéo, le milieu didactique est constitué de l'application elle-même. Mais, selon les jeux, ce milieu didactique peut être constitué d'autres éléments tels que des éléments réels que le concepteur du jeu aura combiné avec les éléments simulés de l'application.

Ce milieu didactique n'est pas un « donné » mais un « construit » dans le sens où, parmi tous les éléments qui ont été intégrés dans le jeu, seuls certains d'entre-eux sont effectivement perçus par le joueur/apprenant. En ce sens le jeu-*game*, en tant que milieu didactique, relève plus d'un *Umwelt* (von Uexküll, 1956) c'est-à-dire un monde sémiotique au sein duquel il va puiser du sens pour assoir son adaptabilité, que d'un milieu au sens physico-chimique du terme.

Les interactions qui se nouent entre le joueur/apprenant et l'application signent la mise en place d'une situation de jeu, un jeu-*play*. L'actant est un joueur/apprenant dont les connaissances évoluent en fonction des rétroactions du milieu et donc, en réponse à ses contraintes, selon un processus qui combine adaptation et assimilation. Ce niveau est également celui de la dévolution au sens que lui donne Brousseau (Brousseau, 1998). C'est au joueur/apprenant et à lui seul qu'incombe la responsabilité du problème à résoudre et c'est de lui dont dépend l'issue de la situation. L'enseignant est, à ce niveau, un simple observateur.

Dans un jeu épistémique, les interactions entre joueurs sont rendues nécessaires. Ce choix est destiné à faciliter la mise en place de *situations adidactiques de formulation (Ibid.)* c'est-à-dire des interactions, entre membres d'une même équipe pour formuler les règles qui conduisent à effectuer tel ou tel choix au cours du jeu. Il s'agit également de permettre des interactions dans le cadre de *situations adidactiques de validation* au cours desquelles des joueurs/apprenants vont être amenés à valider ou invalider de manière explicite les stratégies qui ont été expérimentées et, de ce fait, à identifier les connaissances qu'ils mobilisent. Le jeu-*play* devient alors le milieu adidactique d'une nouvelle forme de jeu-*play* qui est un jeu multijoueur et la situation mise en place alterne entre les niveaux S-2 et S-1 selon que le joueur-apprenant interagit avec l'application uniquement ou avec ses partenaires de jeu.

La phase d'*institutionnalisation* (ou débriefing) organisée par l'enseignant signe la sortie du jeu-*play*. En pratique, elle se déroule soit immédiatement après le jeu dans le cas d'un jeu organisé en présentiel soit après un temps plus ou moins long après la phase de jeu. Ce jeu-*play* devient alors le milieu didactique sur lequel s'appuie l'apprenant et

l'enseignant pour le déroulement d'une situation que l'on peut qualifier de situation didactique (niveau S0 de Margolinas). Les intentions didactiques de l'enseignant sont ici en partie explicites et l'objectif de la situation est de valider et d'institutionnaliser les savoirs qui ont été mobilisés dans le jeu.

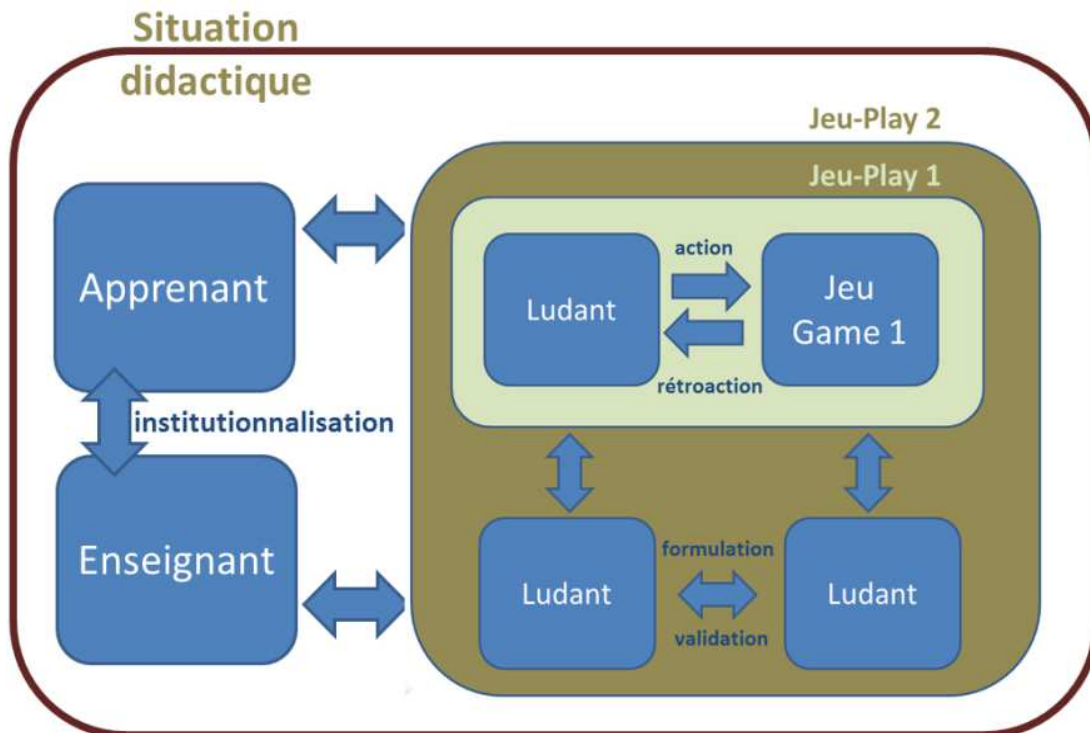


Figure 1. Représentations des différents niveaux de jeux emboîtés

Une telle modélisation (fig. 1) permet de considérer que le jeu-*game* est le milieu adidactique d'un jeu-*play* qui est lui-même le milieu didactique d'une situation didactique principalement caractérisée par une phase d'institutionnalisation. Cette modélisation permet donc de clairement distinguer le jeu-*play* du jeu-*game*, l'artefact constitué par l'application informatique dans le cas présent. En ce sens, nous évitons d'utiliser l'expression jeu sérieux pour, à la suite de Shaffer (Shaffer, 2006; Shaffer et al., 2009), retenir le terme *jeu épistémique*. L'expression *jeu numérique épistémique* (JEN) désigne alors une situation de jeu qui se développe avec un jeu numérique. Cette modélisation permet également de comprendre comment ce jeu-*play* peut être intégré dans une situation d'apprentissage.

Au cours du jeu, la nature du milieu didactique et donc le jeu épistémique lui-même évolue. Ainsi, deux types de jeux-*play* sont identifiables. Ils se situent à un niveau infra-didactique et consistent dans un jeu individuel

(jeu-play 1) que l'on peut modéliser sous la forme d'une *situation adidactique d'action* ainsi que dans un jeu multijoueur qui comprend des situations de formulation et de validation au sein d'une situation adidactique (jeu-play 2). Cette seconde situation devient le milieu d'une situation didactique lorsque l'enseignant organise l'institutionnalisation et donc signe la sortie du jeu.

Une autre dimension d'un JEN concerne la question de la prise en compte de la complexité des situations de référence dont le jeu vise l'apprentissage. Dans un contexte marqué par la nécessité de développer l'attractivité des formations, d'accueillir un nouveau public d'apprenants, et de concevoir des dispositifs d'apprentissage qui permettent le développement de compétences plutôt que de savoirs strictement disciplinaires, les JEN apparaissent comme une forme de pédagogie alternative aux approches traditionnelles. Les JEN sont des situations d'apprentissage ludiques qui conduisent l'apprenant à résoudre des problèmes complexes et non déterministes. Les JEN s'appuient sur l'intégration d'interactions contextualisées et situées pour concevoir des situations d'apprentissage authentiques du point de vue des interactions autorisées. Ils visent le développement de la capacité de l'apprenant à mobiliser, dans un contexte donné, un répertoire diversifié de ressources (savoirs disciplinaires et savoir-faire) et sa capacité de retour réflexif sur cette démarche (approche par compétences). Les JEN s'appuient également sur l'usage de dispositifs mobiles et de plateformes collaboratives qui autorisent une certaine flexibilité des temps et des espaces éducatifs. Ce sont des dispositifs techno-pédagogiques pervasifs et persistants. La dimension ludique des JEN permet de prendre en compte les problématiques de l'engagement du joueur/apprenant, de sa motivation, de son autonomie, de sa persévérance et du plaisir ressenti.

*Ainsi, les JEN peuvent être définis comme des **situations d'apprentissage ludiques** qui conduisent un joueur/apprenant (ou ludant) à **résoudre des problèmes complexes et non déterministes**. Les JEN s'appuient sur la réalité mixte pour concevoir des **situations d'apprentissage authentiques du point de vue des interactions** qu'elles autorisent.*

Les JEN recouvrent différentes dimensions :

- une **dimension ludique** liée en particulier à la nature des interactions qui se nouent dans le cadre d'une situation qui permet au joueur d'être autonome, c'est-à-dire libre de ses choix dans le cadre de règles

(contraintes) arbitraires et en mesure d'exercer cette liberté en raison des rétroactions qu'il reçoit du jeu-*game*.

- une **dimension sociale** liée, en particulier, au jeu-*play* 2 qui se met en place lorsque deux ou plusieurs joueurs sont engagés dans des situations de formulation et/ou de validation ;
- une **dimension numérique** liée aux technologies employées pour la médiatisation des interactions et donc pour la conception d'un jeu-*game* privilégiant les interactions contextualisées.

1.2. Conception de jeux et interactions contextualisées

Les jeux épistémiques tels que définis dans ce projet doivent permettre aux apprenants de s'engager dans des **situations d'apprentissage** fondamentalement **authentiques, non déterministes** et les conduire à résoudre des **problèmes complexes, pluridisciplinaires** et **contextualisés**.

Cette authenticité des situations d'apprentissage est rendue possible par l'ancrage des interactions dans leur contexte d'usage. C'est cette notion de contextualisation que l'on retrouve dans les paradigmes d'apprentissage mobile ou encore d'apprentissage situé (Herrington and Olivier, 2000; Lave and Wenger, 1991). D'ailleurs, dans le domaine de l'Interaction Homme-Machine, certains travaux utilisent le terme d'informatique située ou interaction située pour décrire une approche de conception des systèmes interactifs qui prend en compte le contexte et les situations d'usage (Beaudouin-Lafon, 2000).

Les progrès en matière de technologies ont ouvert le champ des possibles concernant la contextualisation des interactions. On peut citer, par exemple, l'usage de la réalité augmentée embarquée dans les téléphones et tablettes pour donner des informations contextualisées à l'apprenant, l'usage d'objets physiques pour manipuler le monde virtuel ou encore l'utilisation de QRCode pour contextualiser un scénario d'apprentissage (Loiseau et al., 2013). Les travaux menés autour de l'usage de réalité alternée et de réalité mixte dans les jeux peuvent être une source d'inspiration pour la contextualisation des interactions dans les JEN.

En effet, les jeux à réalité alternée ou Alternate Reality Game (ARG) permettent aux joueurs de vivre une expérience ludique dans un univers parallèle, basé sur la simulation et la réalité augmentée, qui vient se surimposer à l'univers du joueur. Ces deux univers ont des frontières poreuses et il n'est pas toujours possible pour le joueur de distinguer ce

qui relève de la réalité simulée, c'est-à-dire construite par un appareil. Ces jeux s'appuient sur différentes plates-formes pour plonger les joueurs dans un scénario persistant (Breeze and Bono, 2004). La principale caractéristique d'un ARG est d'étendre le cadre du jeu au-delà des écrans. Finalement, la frontière entre le réel et la réalité simulée se trouve gommée dans les ARGs du fait qu'ils combinent différents éléments (Borland, 2005). Longeon (2011) synthétise bien ce qu'est un ARG : « un jeu qui entremêle les expériences dans le monde réel et dans le virtuel. » Le concept de jeu à réalité alternée bouleverse les codes prédéfinis dans le monde du Jeu puisqu'il combine les alternances et les transferts dans ces deux dimensions. On constate alors une tension entre réel (TINAG : *This is not a game*) et virtuel (TIAG : *This is a game*) qui est maintenue, entretenue par l'intermédiaire de l'usage de technologies mobiles et d'objets connectés. Celles-ci sont alors des vecteurs translationnels entre le réel et une autre réalité, simulée et construite par des technologies, rendant ainsi le jeu pervasif.

La réalité mixte (RM), définie par Milgram et Kishino (1994), forme un continuum entre monde réel et monde simulé en combinant objets réels et objets simulés. Elle s'appuie sur des technologies telles que les lunettes de réalité augmentée, les dispositifs mobiles (téléphones, tablettes,...) ou les tables *multitouch* augmentées par des interfaces tangibles. Les analyses d'usages de la réalité mixte ont d'ores et déjà permis de mettre en évidence leur intérêt pour l'apprentissage: amélioration de l'ancrage des apprentissages (Cook et al., 2008), mise en activité du joueur au sein d'un contexte qui présente une certaine authenticité (Nilsen et al., 2004). Cette authenticité est en particulier permise par le fait que l'apprenant/joueur peut bénéficier d'une combinaison d'informations liées au réel et d'informations apportées par la simulation ou la réalité augmentée. Quelques jeux en réalité mixte, ou Mixed Reality Learning Game (MRLG) ont d'ores et déjà vu le jour. *Eduventure* (Ferdinand et al., 2005), *Zoo Scene Investigator* (Perry et al., 2008), *Mad City Mystery* (Squire and Jan, 2007), *Explore !* (Ardito et al., 2008). C'est l'apprentissage en contexte authentique qui est la caractéristique la plus souvent mise en avant par les auteurs pour justifier leur approche. L'authenticité du contexte est souvent liée à l'authenticité des interactions qu'il permet. Cette authenticité est, pour de nombreux auteurs, un moyen d'améliorer le transfert de ces connaissances (Schrier, 2006). Pourtant, malgré leur potentiel éducatif, les jeux basés sur l'usage de la RM sont encore peu nombreux et les études encore rares. Récemment, le projet

SEGAREM (George et al., 2013)* a permis le développement d'interfaces tangibles pour le MRLG Lea(r)nIT conçu pour l'apprentissage des principes du *Lean Management* en école d'ingénieurs. Les résultats montrent l'intérêt de la situation pour l'apprentissage (George et al., 2013)*. Néanmoins ; les MRLG existants sont tous dédiés à des situations spécifiques et ne sont facilement exploitables ou transposables à d'autres situations. Ainsi, la volonté d'analyser et de mettre en évidence des facteurs génériques, de proposer des patrons de conception permettant d'intégrer des interactions authentiques et contextualisées dans les JEN est un point novateur du projet JEN.lab.

1.3. Formalisation d'un modèle de JEN, d'un processus de conception de JEN et méta-modélisation

Les travaux qui ont porté sur la conception des *serious games* et des *learning games* visent en particulier la conception de nouveaux outils pour assister le concepteur. C'est le plus souvent une approche qui s'appuie sur la scénarisation pédagogique et repose sur la conception de contenu, l'organisation de ressources, la planification de l'activité, des interactions et des médiations pour accompagner l'apprentissage et l'orchestration des situations d'apprentissage proposées. Le travail de thèse de Marfisi-Schottman (Marfisi-Schottman, 2012) propose un état de l'art assez complet sur les jeux sérieux et propose des modèles et un éditeur (Legadee) pour faciliter leur scénarisation.

Dans le cadre du projet JEN.lab, nous nous intéressons à la conception de jeux épistémiques numériques. Il s'agira, à partir de l'étude de la conception des JEN (incubateur) et des jeux produits résultants, de définir un modèle de JEN et un processus "métier" de conception ou tout au moins un cadre pour ce processus. L'expression « modèle de JEN » renvoie à une description formelle en termes de situations ludo-éducatives (dimensions pédagogiques et ludiques) et des technologies employées. Le modèle comprend également une description du modèle de traces numériques d'apprentissages produites. Ce modèle est formalisé à partir des invariants (pédagogiques et technologiques) identifiés à partir des expérimentations conduites.

Le processus "métier" de conception des JEN comprend les étapes principales de la définition des besoins d'ordre pédagogique (rôles, activités, ressources, objectifs d'apprentissage,...) et d'ordre ludique (ressorts de jeu, mécaniques ludiques, scores, avatars...).

Parmi les propositions de modèles et d'outils auteur pour la scénarisation de parcours ludo-éducatifs, nous retenons également ScenLRPG (Mariais, 2012; Pernin et al., 2014)*, Legadee (Marfisi-Schottman et al., 2010)* et WEEV (Marchiori, 2010). Ces propositions s'appuient sur différents niveaux de patrons de conception (situation de jeu, scénario ludo-éducatif, situation d'interaction, tâche...) et sont en partie adaptées à un public d'enseignants-concepteurs non spécialistes de *game-design* ou de développement informatique (Labat and Marne, 2012). De façon générale, la notion de patron de conception, introduite à l'origine dans le domaine de l'architecture par (Alexander et al., 1977), reprise en génie logiciel par (Gamma et al., 1995) et en *Instructional Design* par Mor & Winters (Mor and Winters, 2007), se positionne à un haut niveau de spécification d'un problème récurrent et de sa solution. La solution spécifie le contexte et les particularités du problème, et comment ceux-ci peuvent être adressés par les instruments de conception désignés. Dans le cas d'un patron pédagogique (*pedagogical pattern*), Bergin (2009) précise que l'intention est de capturer l'essence de la pratique pédagogique dans une forme concise facilement partageable.

Suivant les différents types de jeux identifiés dans le projet, on pourra ainsi définir des patrons de conception de JEN (notamment à partir des outils développés dans l'incubateur : cartes de conception, personas...).

Parmi les travaux visant à étudier et développer des outils de scénarisation devant permettre aux ingénieurs pédagogiques mais aussi aux enseignants-concepteurs de formaliser les besoins pédagogiques et de les opérationnaliser (*ie.* rendre les modèles de scénario computationnels) sur des plateformes de formation on retient deux approches à base de patrons. Les travaux sur Collage (Hernández-Leo et al., 2006) ou MDEduc (De Moura and MDEduc, 2008) se basent sur une approche à base de gabarits ou de patrons de conception utilisant le méta-modèle IMS-LD. D'autres travaux s'appuient sur une approche DSL/DSM. L'intérêt de cette approche est de favoriser l'expression et la formalisation des besoins pédagogiques (parcours, objectifs, compétences, besoins d'observation,...) dans un langage proche du métier des utilisateurs concepteurs. Parmi les langages métiers de modélisation pédagogique on peut citer le modèle ISIS (Emin et al., 2011; Emin-Martinez, 2010) et l'outil auteur ScenEdit ainsi que différents outils auteurs de scénarisation (Abedmouleh, 2013), (Clayer et al., 2014) développés au LIUM. En particulier, les travaux de (Zendagui, 2010) visaient à aider les enseignants à définir les besoins d'observation et les

indicateurs nécessaires pour le suivi des apprenants dans leurs scénarios pédagogiques. Deux approches sont proposées l'une partant des concepts métiers embarqués dans les plateformes de formation (Abedmouleh, 2013) et l'autre davantage axée sur les concepts métiers manipulés par les enseignants (Clayer et al., 2014). Abedmouleh (2013) a étudié un processus de scénarisation et proposé un outil éditeur prototype qui permettent aux enseignants concepteurs de concevoir leur situation pédagogique sous forme de modèle (scénario pédagogique) à partir des concepts de la plateforme de formation cible. (Clayer et al., 2014) propose pour sa part un processus de conception et un outil éditeur associé qui permet aux enseignants de concevoir leurs scénarios pédagogiques selon une approche à base de patrons. Les patrons et leur méta-modèle sont définis à partir des concepts métiers de la scénarisation pédagogique. Les outils prototypes proposés sont externes à la plateforme. Une telle approche offre des opportunités de conception participative et est bien adaptée au domaine de la conception pédagogique en permettant aux enseignants une démarche de conception propre à leur communauté sous-tendue par l'approche pédagogique suivie (Laurillard, 2012; Mor and Winters, 2007). Elle permet aux enseignants de formaliser leurs besoins dans un langage (*pattern language*) qui leur est accessible, utilisant leurs concepts métiers tout en offrant une vue spécialisée pour être utilisable dans un environnement technique. Le projet Graphit (www-lium.univ-lemans.fr/~laforcade/graphit/) étudie les techniques du *Model Driven Engineering* et *Domain Specific Modeling* pour aider à spécifier des langages de modélisation centrés plateforme favorisant l'expressivité des scénarios pour les enseignants-concepteurs tout en facilitant l'import/export des scénarios dans les plateformes cibles. L'approche que nous retenons s'appuie sur les travaux cités mais également s'en démarque pour l'adapter aux JEN qui sont des situations d'apprentissage particulières.

Les travaux évoqués adressaient des situations pédagogiques où les dimensions caractérisant les JEN ne se retrouvent pas dans leur globalité. Ainsi si on retrouve la dimension numérique à travers les dispositifs de mise en œuvre, la dimension ludique est souvent absente. Dans les cas de ludicisation, les situations pédagogiques restent essentiellement déterministes, on s'intéresse davantage à l'artefact scénario produit (le

jeu-*game*). Les interactions entre les apprenants sont intégrées, planifiées dans le cadre d'un scénario d'activités pédagogiques.

Ainsi l'approche que nous proposons s'attache moins au scénario pédagogique prescrit qu'aux interactions que l'on souhaite voir se développer dans la situation.

2. Problématique et questions de recherche

D'un point de vue méthodologique le projet vise à :

- Formaliser une méthodologie de conception participative de JEN (incubateur)

Les verrous identifiés concernent les aspects contributifs de la conception : intégration des enseignants dans le processus de conception pour assurer l'acceptabilité, l'utilité et l'utilisabilité du dispositif conçu (en prenant en compte la question du développement professionnel des enseignants à la mise en œuvre de ce type de pédagogie). Ils concernent également la prise en compte des aspects collaboratifs (formalisation d'une méthodologie permettant la collaboration) et itératifs (temps long, "*failure-based design*"...) de la conception.

- Mettre en place une méthodologie spécifique d'évaluation des JEN fondée sur une analyse des interactions multimodales et épistémiques (mENA)

Les verrous identifiés concernent la nature des traces à recueillir, les modalités de cette collecte (d'un point de vue pratique, temporel ainsi que de l'échelle d'enregistrement choisie), le traitement de ces traces, la visualisation et l'exploitation des traces collectées.

La mENA sera une nouvelle méthodologie d'analyse originale basée d'une part sur une analyse épistémique, combinée avec une analyse des interactions multimodales: *multimodal Epistemic Network Analysis* (mENA).

D'un point de vue théorique le projet vise à :

- Formaliser un modèle de JEN du point de vue des interactions permises par la situation

Les verrous identifiés concernent la genericité du modèle formalisé, l'intégration dans ce modèle de la question des compétences à développer, de la prise en compte de la dimension collaborative (jeu-*play* 2), de la prise en compte des contraintes institutionnelles et de l'hétérogénéité des apprenants.

- Formaliser un modèle de JEN du point de vue des technologies à employer pour médiatiser ces interactions

Les verrous identifiés concernent les questions de l'opérationnalisation et de l'implémentation du modèle dans un contexte technologique en évolution rapide (*responsive design*) ainsi que la question du passage à l'échelle. L'architecture du système s'appuiera sur des briques génériques réutilisables.

Ces questions seront abordées par la conception et l'expérimentation en conditions écologiques de trois JEN.

3. Méthodologie de la recherche

3.1. Recherche orientée par la conception et incubateur

Le projet s'appuie sur une méthodologie de recherche qualifiée de recherche collaborative orientée par la conception (Sanchez and Monod-Ansaldi, soumis) ou *Design-Based Research*.

Selon Wang et Hannafin (Wang and Hannafin, 2005), les questions posées par les travaux qui s'inscrivent dans la *Design-Based research* (que nous traduisons par recherche orientée par la conception ou ROC) sont des questions qui ont trait à la pratique. Ainsi, la ROC s'appuie sur un travail de conception (*design*) qui peut concerner une situation ou un artefact (Durlach and Lesgold, 2012), des programmes éducatifs, des stratégies d'enseignement-apprentissage (Nieveen, 2007).

Les résultats produits éclairent la pratique en permettant une meilleure compréhension des processus en jeu. Cette compréhension permettrait également une diffusion des réalisations. Les connaissances produites, du fait de leur ancrage dans la pratique, ont une dimension prescriptive. Ce sont des connaissances qui portent sur la méta-conception car, résultant de recherches centrées sur la résolution de problèmes pédagogiques, elles concernent des principes généraux, des procédures et des cadres qui guident la conception. La ROC conduit donc à des recherches finalisées parfois également qualifiées de recherche-développement (Nieveen et al., 2006). D'autres résultats produits par ces recherches concernent plutôt des modèles théoriques. Le travail empirique qui est mené vise à confronter ces modèles théoriques aux réalités du terrain et la ROC peut alors être qualifiée de recherche de validation (*Ibid.*). Ce sont ces modèles qui permettent de fonder les décisions prises tant par les acteurs institutionnels (par exemple pour la mise en place de réformes

éducatives) que les praticiens (en tant qu'ingénieur en charge de la conception, de la mise en œuvre et de l'évaluation de dispositifs techno-pédagogiques).

Il s'agit donc bien de construire des rapports dialectiques entre recherche et pratique, entre réflexion et action, dans le champ de l'éducation. Théorie et pratique sont ainsi liées de manière inextricable dans le sens où la théorie produit de nouvelles possibilités pour la pratique et où la théorie est soumise à l'épreuve de sa mise en pratique. La ROC permet donc l'innovation pédagogique en explorant les opportunités offertes par la théorie. Sa dimension expérimentale résulte du fait que les situations et les artefacts qui sont élaborés incluent les hypothèses de la recherche (Diana, 2004) qui seront mis à l'épreuve en contexte écologique. Sandoval (Sandoval, 2004) utilise l'expression *embodied conjecture* pour souligner que le processus de conception intègre les hypothèses issues des modèles théoriques de la recherche. Le dispositif conçu consiste donc dans une réification des modèles théoriques de la recherche en prenant en compte les contraintes du contexte. Ces modèles peuvent alors être mis à l'épreuve du contrôle empirique. Ce point renvoie à une autre dimension soulignée par Wang et Hannafin (Wang and Hannafin, 2005) : la RFC est fondée scientifiquement dans le sens où le processus de recherche débute avec un état de l'art de la question travaillée ce qui permet de fonder le travail de conception sur les modèles théoriques.

Une condition pour que se mette en place une collaboration est que chercheurs et praticiens puissent partager un ensemble d'éléments de nature praxéologique (Sensevy et al., 2013). Pour décrire les relations qui se nouent entre chercheurs et praticiens engagés dans la RFC ainsi que ses effets du point de vue de la pratique et de l'avancée des connaissances sur cette pratique nous nous appuyons sur le modèle de la transposition méta-didactique (Aldon et al., 2013). Ce modèle prend en compte (1) les interactions qui se développent entre enseignants et chercheurs au cours de la formation, (2) les contraintes imposées au niveau institutionnel telles que les programmes de formation (niveau noosphérique) et (3) les contraintes institutionnelles posées à un niveau plus local (comme le matériel disponible pour l'enseignant).

Le modèle de la transposition métadidactique s'appuie sur la Théorie anthropologique du didactique (TAD) (Chevallard, 1999). Un concept central de la TAD est le concept de praxéologie. Une praxéologie s'organise selon deux niveaux : le savoir-faire (ou praxis) et la connaissance (logos) qui décrit, explique et justifie la pratique. Une

praxéologie est constituée d'un bloc technologico-théorique habituellement identifié comme un savoir et un bloc pratico-technique qui constitue un savoir-faire.

Une praxéologie méta-didactique (Aldon et al., 2013) décrit les réflexions pratiques et théoriques qui se développent lorsque chercheurs et enseignants sont engagés dans un travail de recherche de type ROC. Le processus de collaboration doit conduire à la mise en place d'une praxéologie partagée pour le prototypage de dispositifs techno-pédagogiques expérimenté en conditions écologiques tels que des JEN. La transposition méta-didactique est le processus qui, à partir de praxéologies distinctes, notées des chercheurs et des praticiens, grâce aux interactions qui se mettent en place, va permettre d'élaborer une praxéologie partagée c'est-à-dire un discours commun sur la pratique. Cette praxéologie partagée influence les praxéologies des différents acteurs, qui sont modifiées suite aux interactions. Dans le cadre de recherches collaboratives de type ROC, un tel processus conduit à une évolution, d'une part des savoir-faire mis en œuvre lors de la conception et de l'expérimentations par rapport aux tâches et techniques usuelles des praticiens et des chercheurs et, d'autre part, d'une évolution des justifications technologiques (les modèles) voire théoriques qui justifient la mise en œuvre de ces savoir-faire pour les deux types d'acteurs.

La production commune doit avoir du sens dans la praxéologie partagée, et on peut penser que ce sens est rapatrié par chacun dans sa propre praxéologie, ce qui la fait évoluer. Cette production commune est une « chimère » entre réification de modèles théoriques et éléments issus du contexte empirique, qui dépendent non seulement du contexte où le dispositif a vocation à s'insérer (niveau étudié, niveau des élèves, conditions matérielles de la classe, etc...), mais aussi du contexte de la recherche elle-même (composition de l'équipe, relations entre ses membres, possibilités de rencontres, outils utilisés, etc.). Le processus est dynamique, itératif. Un nouveau cycle de recherche conduira chercheurs et praticiens à faire évoluer leurs praxéologies de nouveau.

Sur un plan davantage opérationnel, nous formulons l'hypothèse que la ROC peut bénéficier positivement des travaux issus du corpus méthodologique dit « agile ». Ce corpus, dont le cadre de référence s'appuie sur le manifeste agile (Beck et al., 2001), a permis l'émergence d'un certain nombre de paradigmes et outils de conception/production et d'évaluation à même de s'inscrire dans notre démarche de ROC. Ce corpus repose sur une analyse critique des cycles de développement en cascade

et formule divers principes méthodologiques parmi lesquels nous retrouverons notamment les notions suivantes :

1. Itérativité : les cycles de réalisation doivent être itératifs, à savoir revenir régulièrement sur les différentes étapes de réalisation telles que conception/réalisation/diffusion/évaluation pour satisfaire à l'objectif visé par la méthode.
2. Incrémentalité : les cycles de réalisation visent à combler progressivement le besoin défini au cours des différents cycles par incréments.
3. Qualité : les cycles de réalisation doivent être évalués dans chacune de leur instanciation
4. Adaptativité : les cycles de réalisation doivent s'inscrire dans une temporalité à même d'adapter l'objet produit au besoin.

Sur ce dernier aspect, on constate que le corpus méthodologique agile se nourrit depuis 2001 des principes de conception centrés sur l'expérience utilisateur (UX Design) qui s'étend elle-même à la conception d'interfaces homme-machine (IHM) qui sont au cœur de la du projet JEN.lab. L'utilisation même du produit définit dès lors le besoin et fait apparaître la nécessité d'inverser les principes traditionnels de production qui reposent sur un principe de spécification et de planification exhaustive pour proposer davantage un modèle de conception misant sur le prototypage permanent du JEN.

3.2. Evaluation des jeux épistémiques : de ENA à mENA

Nous partons du principe que l'évaluation de l'apprentissage des joueurs nécessite la définition et la mesure de deux ensembles d'indicateurs de nature différente.

Le premier ensemble d'indicateurs est inspiré de *Epistemic Network Analysis* (ENA) et se focalise sur la performance en contexte (entendue en opposition aux connaissances abstraites et au savoir-faire isolé (Shaffer et al., 2009). Il conduit à s'intéresser au développement épistémique des apprenants, c'est-à-dire à l'évolution de leurs représentations sur la nature des connaissances qu'ils mobilisent et la nature du processus qui conduit à la production de ces connaissances (Hofer and Pintrich, 1997; Sanchez and Emin-Martinez, 2013)

Le deuxième ensemble de connaissances est inspiré des travaux en analyse conversationnelle, associés à ceux de la linguistique interactionnelle, (i.e. étude de la grammaire en interaction) et particulièrement aux analyses vidéo de la parole en interaction (*gesture*,

gaze and embodiment comme des pratiques sociales organisées interactivement (Goodwin, 1986, 2000, 2003, 2007; Kendon, 1981, 2000, 2004) et se focalise sur la façon dont le jeu-play est organisé par les joueurs eux-mêmes. Deux questions principales sont abordées: 1) comment le jeu-play se déroule-t-il ? et 2) quelle est la nature des échanges : entre joueurs, entre joueurs et objets ? Les gestes, les postures, les regards, la prosodie, les pauses, et la manipulation de ressources sont étudiés comme porteurs de sens sur l'organisation et la coordination (ou non) de l'interaction (Colón De Carvajal, 2013), mais également les accords, désaccords, et émotions exprimés (Polo et al., 2013).

3.3. Ingénierie des EIAH, traces, indicateurs

Les EIAH permettent aujourd'hui d'obtenir des traces numériques d'apprentissage. La communauté EDM (*Educational Data Mining*) s'est développée autour des verrous liés à l'exploitation de ces traces numériques (Romero et al., 2010). Les enjeux associés concernent aussi bien les modèles de traces (Settouti et al., 2007), les techniques de visualisation (May et al., 2008), le processus d'analyse (Iksal, 2011), l'analyse pédagogique de l'observation que la capitalisation (Dyke, 2009; Reffay et al., 2008), la réutilisation et le partage de cette connaissance. L'observation d'un processus d'apprentissage passe par la description des observables (ce qu'il faut observer) si l'on veut prendre en compte le "quand", le "comment", le "quoi" et, si possible le "pourquoi" pour un "qui" particulier (Lund and Mille, 2009). Dans le cadre du projet JEN.Lab, nous envisageons d'une part la prise en compte des traces numériques sur différents supports (PC, mobile, tablette, tableau numérique interactif,...) et d'autre part la prise en compte des traces audio-visuelles de l'activité face-à-face autour de ses objets et ressources mobilisé(e)s. L'analyse d'usage du/des dispositifs nécessitera la prise en compte de ces données de sources hétérogènes et éventuellement distantes, connectées en permanence ou de façon temporaire. Il sera alors nécessaire d'intégrer ces spécificités dans l'expression des besoins d'observation ainsi que dans la formalisation du calcul des indicateurs, que ce soit à distance, face-à-face, et impliquant les ressources numériques ou non. Ces contraintes nous obligent à proposer des solutions innovantes sur les modalités d'obtention des données observées, sur les modalités de calcul des indicateurs ainsi que sur la retransmission de la connaissance obtenue.

Pour évaluer la progression de l'apprentissage, nous nous appuyons sur deux approches complémentaires. Premièrement, il s'agit des travaux de Shaffer (Shaffer et al., 2009) qui propose de modéliser les cadres épistémiques sous forme de réseaux épistémiques dans lesquels les nœuds sont les éléments du cadre et les arrêtes les interactions possibles (ou du moins observées) entre ces éléments. Shaffer emploie les méthodologies d'analyse de réseaux, notamment sociaux (Social Network Analysis, SNA) sur ces réseaux épistémiques et développe ainsi l'ENA (Epistemic Network Analysis). Cette approche permet de construire des indicateurs quantifiant les cadres épistémiques des apprenants et ainsi de suivre l'évolution de leur construction et de les comparer avec les cadres épistémiques aboutis des experts/instructeurs. Cette approche pourra être révisée en prenant en compte d'autres travaux sur le développement épistémique des apprenants tels que le modèle de Hofer & Pintrich (Hofer and Pintrich, 1997).

Deuxièmement, il s'agit d'une analyse dite "multimodale", approche utilisée au sein de l'analyse conversationnelle et de la linguistique interactionnelle (voir plus haut). Les apprentissages observables dans les interactions humaines ne se limitent pas à un développement épistémique et la prise en compte de la multimodalité permet de prendre en compte les aspects sociaux et la co-construction du jeu-play au sens de "mise en place d'une organisation émergente/non provoquée" au sein de l'interaction humaine.

La combinaison de ces deux approches (épistémique et multimodale) permet à la fois de quantifier la progression des apprenants, et d'évaluer le JEN lui-même au regard des buts qui lui sont assignés.

4. Bibliographie

- Abedmouleh, A. (2013). Approche Domain-Specific Modeling pour l'opérationnalisation des scénarios pédagogiques sur les plateformes de formation à distance. phdthesis. Université du Maine.
- Aldon, G., Arzarello, F., Cusi, A., Garuti, R., Martignone, F., Robutti, O., Sabena, C., Soury-Lavergne, S., Lindmeier, A.M., and Heinze, A. (2013). The meta-didactical transposition: a model for analysing teachers education programs (Kiel, Germany).
- Alexander, C., Ishikawa, S., Silverstein, M., Jacobson, M., Fiksdahl-King, I., and Angel, S. A (1977) Pattern Language: Towns, Buildings, Construction. Oxford University Press :
- Ardito, C., Buono, P., Costabile, M.F., Lanzilotti, R., Pederson, T., and Piccinno, A. (2008). Experiencing the Past through the Senses: An M-Learning Game at Archaeological Parks. IEEE Multimed. 15, 76–81.
- Beaudouin-Lafon, M. (2000). Contexte et interaction : vers l'informatique située. In Le Temps, (Cépaduès Editions),.
- Beck, K., Beedle, M., van Bennekum, A., Cockburn, A., Cunningham, W., Fowler, M.,... & Thomas, D. (2001). The agile manifesto.
- Bergin, J. (2009). Fourteen Pedagogical Patterns. Proceedings of the Fifth European Conference on Pattern Languages of Programs, (2000).
- Borland, J. (2005). Blurring the line between games and life.
- Breeze, M., and Bono, J. (2004). What is an ARG?
- Brousseau, G. (1998). Théorie des situations didactiques (Grenoble: La Pensée sauvage).
- Chevallard, Y. (1999). L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique. Rech. En Didact. Mathématiques 2, 221–266.
- Clayer, J., Piau-Toffolon, C., and Choquet, C. (2014). Assistance for Learning Design Community - A Context-awareness and Pattern-based Approach. (Barcelona, Spain), pp. 293–300.
- Colón De Carvajal, I. (2013). Choix méthodologiques pour une analyse de conversation en situation de jeu vidéo. pp. 20–35.
- Cook, S., Mitchell, Z., and Goldin-Meadow, S. (2008). Gesturing makes learning last. Cognition 106, 1047–1058.
- Diana, J. (2004). The Practice of Design-Based Research: Uncovering the Interplay Between Design, Research, and the Real-World Context. Educ. Psychol. 9, 235–242.
- Durlach, P.J., and Lesgold, A.M. (2012). Adaptive Technologies for Training and Education (Cambridge University Press).
- Dyke, G. (2009). Un modèle pour la gestion et la capitalisation d'analyses de traces d'activités en interaction collaborative. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.
- Emin, V., Pernin, J., and Guéraud, V. (2011). Scénarisation pédagogique dirigée par les intentions. STICEF 18.
- Emin-Martinez, V. (2010). Modélisation dirigée par les intentions pour la conception, le partage et la réutilisation de scénarios pédagogiques. Thèse en Informatique. Université de Grenoble.

Ferdinand, P., Muller, S., Ritschel, T., and Wechselberger, U. (2005). The Eduventure—A new approach of digital game based learning combining virtual and mobile augmented reality games episodes. (Rostock),.

Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., and Vlissides, J. (1995). Design patterns: elements of reusable object-oriented software.

George, S., Michel, C., Serna, A., and Bisognin, L. (2013). Evaluating the impact of a Mixed Reality Learning Game on Learning. *Int. J. Learn. Technol.*

Gonçalves, C. (2013). Appropriation et Authenticité. Une étude didactique des expériences d'apprentissage d'étudiants engagé dans un "jeu sérieux" en Epidémiologie et Biostatistique. Université de Grenoble.

Goodwin, C. (1986). Gesture as a Resource for the Organization of Mutual Orientation. *Semiotica* 62, 29–49.

Goodwin, C. (2000). Action and Embodiment Within Situated Human Interaction. *J. Pragmat.* 32.

Goodwin, C. (2003). The Body in Action. In *Discourse, the Body and Identity*, J. Coupland, and R. Gwyn, eds. (New York: Palgrave/Macmillan), pp. 19–42.

Goodwin, C. (2007). Environmentally Coupled Gestures. In *Gesture and the Dynamic Dimensions of Language*, S. Duncan, J. Cassell, and E. Levy, eds. (Amsterdam/Philadelphia: John Benjamins), pp. 195–212.

Henriot, J. (1969). *Le jeu* (Paris: Presses Universitaires de France).

Hernández-Leo, D., Villasclaras-Fernandez, E., Asensio-Pérez, J., Dimitriadis, Y., Jorin-Abellan, I., Ruiz-Requires, I., and Rubia-Avi, B. (2006). COLLAGE: A collaborative Learning Design editor based on patterns. *Educ. Technol. Soc.* 9, 58–71.

Herrington, J., and Olivier, R. (2000). An instructional design framework for authentic learning environments. *Educ. Technol. Res. Dev.* 48, 23–48.

Hofer, B., and Pintrich, P. (1997). The development of epistemological theories : Beliefs about knowledge and knowing and their relation to learning. *Rev. Educ. Res.* 67.

Iksal, S. (2011). Tracks analysis in learning systems : A prescriptive approach. *Int. J. E-Learn. Secur.* 1, 3–9.

Kendon, A. (1981). Nonverbal Communication, Interaction and Gesture: Selections from *Semiotica*. *Approaches Semiot.* 41.

Kendon, A. (2000). Language and Gesture: Unity or Duality. In *Language and Gesture: Window into Thought and Action*, D. McNeill, ed. (Cambridge: Cambridge University Press), pp. 47–63.

Kendon, A. (2004). *Gesture: Visible Action as Utterance* (Cambridge: Cambridge University Press).

Labat, J.-M., and Marne, B. (2012). Implémentation de patrons de conception pour l'adaptation des parcours pédago-ludiques dans les jeux sérieux. pp. 69–79.

Laurillard, D. (2012). *Teaching as a Design Science, Building Pedagogical Patterns for Learning and Technology* (Routledge edition).

Lave, J., and Wenger, E. (1991). *Situated learning: Legitimate peripheral participation* (Cambridge: Cambridge University Press).

Loiseau, M., Lavoué, E., Marty, J., and George, S. (2013). Raising awareness on Archaeology: A Multiplayer Game-Based Approach with Mixed Reality. pp. 336–343.

Longeon, T. (2011). Conception d'un jeu a réalite alternée. Master. Université des sciences et technologies de Lille.

- Lund, K., and Mille, A.() D. (2009). Traces, traces d'interactions, traces d'apprentissages définitions, modèles informatiques, structurations, traitements et usages. In *Analyse de Traces et Personnalisation Des EIAH, Traité Informatique et Systèmes d'Information*, J.C. Marty, and A. Mille, eds. (Cachan: Hermes-Lavoisier), pp. 21–56.
- Marchiori, E.J. (2010). *WEEV: A Multidisciplinary Approach to Educational Game Development*. Complutense University at Madrid.
- Marfisi-Schottman, I., George, S., and Frank, T.B. (2010). Tools and Methods fo Efficiently Designing Serious Games. pp. 226–234.
- Margolinas, C. (1995). La structuration du milieu et ses apports dans l'analyse a posteriori des situations. In *Les Débats de Didactique Des Mathématiques*, C. Margolinas, ed. (Grenoble: La Pensée sauvage éditions), pp. 89–102.
- Mariais, C. (2012). *Modèles pour la conception de Learning RolePlaying Games en formation professionnelle*. Université de Grenoble.
- May, M., George, S., and Prévôt, P. (2008). Tracer, analyser, et visualiser les interactions des apprenants pendant les activités de communications médiatisées. pp. 251–263.
- Milgram, P., and Kishino, F.(A taxonomy of mixed reality visual displays I.T. on I. and S.E. series D. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. IEICE Inst. Electron. Inf. Commun. Eng. Trans. Inf. Syst. Spec. Networked Real. 1321–1329.
- Mor, Y., and Winters, N. (2007). Design approaches in technology-enhanced learning. *Interact. Learn. Environ.* 15, 61–75.
- De Moura, C., and MDEduc (2008). conceiving and implementing a language-oriented approach for the design of automated learning scenarios.
- Nieveen, N. (2007). Formative Evaluation in Educational Design Research. In *An Introduction to Educational Design Research*, T. Plomp, and N. Nieveen, eds. (Enschede, the Netherlands: SLO •Netherlands institute for curriculum development),.
- Nieveen, N., McKenney, S., and van den Akker, J. (2006). Educational design research: The value of variety. In *Educational Design Research*, J. van den Akker, K. Gravemeijer, S. McKenney, and N. Nieveen, eds. (London: Routledge), pp. 151–158.
- Nilsen, T., Linton, S., and Looser, J. (2004). Motivations for Augmented Reality Gaming. 4, 86–93.
- Pernin, J.-P., Mariais, C., Michau, F., Emin-Martinez, V., and Mandran (2014). Using game mechanisms to foster GBL designers' cooperation and creativity. *Int. J. Learn. Technol. To be published*.
- Perry, J., Klopfer, E., Norton, M., Sutch, D., Sandford, R., and Facer, K. (2008). AR Gone Wild: Two Approaches to Using Augmented Reality Learning Games in Zoos. In *Proceedings of the 8th International Conference on International Conference for the Learning Sciences - Volume 3*, (Utrecht, The Netherlands: International Society of the Learning Sciences), pp. 322–329.
- Polo, C., Plantin, C., Lund, K., and Niccolai, G. (2013). Quand construire une position émotionnelle, c'est choisir une conclusion argumentative : le cas d'un café-débat sur l'eau potable au Mexique. *Semen* 1, 41–64.
- Reffay, C., Chanier, T., Noras, M., and Betbeder, M.L. (2008). Contribution à la structuration de corpus d'apprentissage pour un meilleur partage en recherche. *STICEF* 15, 185–219.
- Romero, C., Ventura, S., Pechenizkiy, M., and Baker, R.S. (2010). *Handbook of Educational Data Mining. Data Mining and Knowledge Discovery* (Boca Raton, FL: CRC Press).

Sanchez, E. (2014). Serious Games? Four ideas that should be considered when it comes to introducing games into the classroom. In *Media Fr. J. Media Media Represent. Engl.-Speak. World*.

Sanchez, E., and Emin-Martinez, V. (2013). *Atelier Serious games, jeux épistémiques numériques - Méthodologies de recherche pour l'étude des interactions*.

Sanchez, E., and Monod-Ansaldi, R. (soumis). Recherche collaborative orientée par la conception. Un paradigme méthodologique pour prendre en compte la complexité des situations d'enseignement-apprentissage. *Educ. Didact.*

Sandoval, W.A. (2004). Developing learning theory by refining conjectures embodied in educational designs. *Educ. Psychol.* 39, 213–223.

Schrier, K. (2006). Using Augmented Reality Games to Teach 21st Century Skills. In *ACM SIGGRAPH 2006 Educators Program*, (New York, NY, USA: ACM),.

Sensevy, G., Forest, D., Quilio, S., and Morales, G. (2013). Cooperative engineering as a specific design-based research. *ZDM Int. J. Math. Educ.* 45, 1031–1043.

Settouti, L.S., Prié, Y., Marty, J.C., and Mille, A. (2007). Vers des systèmes à base de traces modélisées pour les EIAH. Technical Report Rapport de recherche RR-LIRIS-2007-016 (Villeurbanne: LIRIS -Lyon 1).

Shaffer, D.W. (2006). Epistemic frames for epistemic games. *Comput. Educ.* 46, 223–234.

Shaffer, D.W., Hatfield, D., Svarovsky, G.N., Nash, P., Nulty, A., Bagley, E., Franke, K., Rupp, A.A., and Mislevy, R. (2009). Epistemic Network Analysis: A prototype for 21st Century assessment of learning. *Int. J. Learn. Media* 1, 33–53.

Squire, K.D., and Jan, M. (2007). Mad City Mystery: Developing scientific argumentation skills with a place-based augmented reality game on handheld computers. *J. Sci. Educ. Technol.* 5–29.

Von Uexküll, J. (1956). *Mondes animaux et monde humain; suivi de Théorie de la signification* (Paris: Denoël).

Wang, F., and Hannafin, M.J. (2005). Design-based research and technology-enhanced learning environments. *Educational Technology Research and Development. Educ. Technol. Res. Dev.* 53, 5–23.

Zendagui, B. (2010). Modélisation de l'observation dans un contexte de réingénierie : une approche dirigée par les modèles.