



Ingénierie pédagogique et technologies émergentes : défis et leviers d'action identifiés dans la conception de jumeaux d'enseignement numériques immersifs et interactifs

<https://doi.org/10.52358/mm.vi20.439>

Natacha Dangouloff, postdoctorante
Laboratoire CESI-LINEACT, France
ndangouloff@cesi.fr

Lucie Cuvelier, enseignante-chercheuse
Laboratoire CESI-LINEACT, France
lcuvelier@cesi.fr

Solveig Fernagu, directrice de recherche
Laboratoire CESI-LINEACT, France
sfernagu@cesi.fr

RÉSUMÉ

Les jumeaux numériques d'enseignement (JNE) sont des environnements virtuels pour l'apprentissage humain (EVAH) qui ouvrent des perspectives en matière de conception pédagogique pour se rapprocher des réalités professionnelles des ingénieurs. Le jumeau numérique est la réplique numérique d'un objet ou d'un système industriel ou physique existant, qui peut être doté d'outils d'exploitation pour comprendre, analyser et prédire le fonctionnement et le pilotage de l'entité réelle. Il peut devenir un instrument pour l'enseignement. L'intégration des JNE, en tant que nouvel environnement virtuel d'apprentissage, engage un travail de conception pédagogique visant la création de situations d'apprentissage instrumentées. L'article porte sur ce travail de conception pédagogique mené de manière collaborative entre des ingénieurs pédagogiques, des enseignants-chercheurs et des développeurs informatiques dans le cadre du projet JENII (ANR-21-DMES-0006). Les



données de recherche sont issues de 13 entretiens semi-directifs menés auprès des acteurs du projet, de 3 entretiens avec des ingénieurs pédagogiques et de l'observation de 3 réunions de conception de scénarios pédagogiques utilisant des JNE. Les résultats permettent de mieux comprendre la conception collaborative de dispositifs pédagogiques, d'identifier les nouveaux acteurs autour de la technologie émergente des JNE et de mettre en lumière les leviers d'action pour optimiser l'ingénierie pédagogique avec des technologies émergentes.

Mots-clés : formation des ingénieurs, environnement virtuel pour l'apprentissage humain (EVAH), jumeaux numériques, ingénierie pédagogique, conception collaborative

Introduction

Les jumeaux numériques d'enseignement (JNE) sont des environnements virtuels pour l'apprentissage humain (EVAH). Ils font partie des innovations liées au développement du numérique qui permettent de nouvelles pratiques associées aux situations instrumentées (simulation, réalité virtuelle ou immersive). Ils ouvrent en particulier des perspectives en matière de conception pédagogique pour rapprocher les élèves ingénieurs en formation de leurs futures réalités professionnelles (Facon et Fernagu, 2023). En effet, le jumeau numérique (*digital twin* en anglais) est la réplique numérique d'un objet ou d'un système industriel ou physique existant, qui peut être doté d'outils d'exploitation pour comprendre, analyser et prédire le fonctionnement et le pilotage de l'entité réelle. Il peut devenir un instrument pour l'enseignement (David *et al.*, 2018; Havard *et al.*, 2023). C'est dans ce cadre que trois établissements d'enseignement supérieur français se sont associés dans le projet JENII (Jumeaux d'Enseignement Numériques Immersifs et Interactifs) pour développer des JNE et les diffuser dans les dispositifs de formation. L'intégration des JNE, en tant que nouvel environnement virtuel d'apprentissage, engage un travail de conception pédagogique spécifique, visant la création de situations d'apprentissage instrumentées. Ce travail est engagé par des professionnels de la formation et de l'enseignement, des ingénieurs pédagogiques et des enseignants-chercheurs, accompagnés par des développeurs informatiques. Il demande des compétences émergentes et une collaboration nouvelle, qui transforment les ingénieries pédagogiques habituelles et bousculent les identités professionnelles.

L'article porte sur ce travail de conception pédagogique mené de manière collaborative entre des ingénieurs pédagogiques, des enseignants-chercheurs et des développeurs informatiques. L'étude cherche à identifier les défis et les points d'appui en termes de travail collaboratif de conception pédagogique. Quels changements peuvent être relevés en termes d'ingénierie pédagogique? Quelles compétences ces changements demandent-ils aux professionnels de la formation qui y sont engagés? Quelles conditions favorisent ce nouveau type de travail collaboratif? Pour répondre à ces questions, l'article est structuré en quatre parties. Le contexte de l'étude est d'abord précisé, avant que le cadrage théorique ne permette de clarifier les notions de travail collaboratif et de conception de dispositifs de formation dans les projets technopédagogiques de développement d'EVAH. La méthodologie présente les données de la recherche, issues de 13 entretiens semi-directifs menés auprès des acteurs du projet JENII, de 3 entretiens avec des ingénieurs pédagogiques du projet et de l'observation de 3 réunions de conception de scénarios pédagogiques utilisant des JNE. Les résultats permettent de mieux comprendre la conception collaborative de dispositifs pédagogiques, d'identifier les nouveaux acteurs autour de la technologie émergente des JNE et de mettre en lumière les leviers d'action pour optimiser l'ingénierie pédagogique avec des technologies émergentes.



Contexte

En général, les écoles d'ingénieurs développent une formation fondée tout à la fois sur les sciences fondamentales et sur les applications techniques et industrielles (Lemaître, 2018) pour professionnaliser leurs élèves dès la formation initiale. À cette fin, elles s'intéressent particulièrement aux environnements d'apprentissage qui permettent une immersion dans les univers professionnels des ingénieurs, au plus près des exigences du travail. La simulation en situation de formation s'y développe fortement en ce sens. Ces situations simulées peuvent être vécues dans des environnements physiques – une plateforme technologique physique par exemple – ou virtuels – comme un jumeau numérique (Badets *et al.*, 2021; Léon et Belleghem, 2023).

C'est ainsi que trois écoles d'ingénieurs françaises se sont associées au sein du projet JENII, soutenues par un financement de l'Agence nationale de la recherche (ANR-21-DMES-0006). Le projet JENII entend proposer une offre de formation spécifique pour « l'industrie du futur » (Julien et Martin, 2020, 2021) fondée sur l'intégration et la diffusion de jumeaux numériques de systèmes industriels (Bondesan *et al.*, 2024; Courallet *et al.*, 2024; Fleury *et al.*, 2024; Sylla-Iyarreta *et al.*, 2023). La mobilisation de ce type d'environnement d'apprentissage permet de donner accès aux étudiants, de manière virtuelle, à des systèmes industriels existants (un atelier de fonderie ou de production, un laboratoire de chimie par exemple) dans lesquels des scénarios ou des processus de production peuvent être testés, des visites virtuelles d'atelier organisées... Les JNE sont alors utilisés en tant qu'outil à apprendre et/ou pour apprendre.

Pour concevoir ces JNE, une ingénierie pédagogique a été mise en place avec une collaboration entre ingénieurs pédagogiques, enseignants-chercheurs et développeurs informatiques. Dans les trois écoles d'ingénieurs, les cultures et les conceptions pédagogiques sont différentes, et les manières de concevoir les dispositifs de formation au regard des objectifs pédagogiques sont également variables.

Cadrage théorique

Projets technopédagogiques innovants et collaboration interprofessionnelle

Pour concevoir et intégrer les JENII, il a été mis en place une gestion de projet technopédagogique qui demande une collaboration interprofessionnelle (Barcellini, 2015) particulière. Un projet, en tant que démarche consistant à structurer une réalité à venir mais qui n'existe pas encore, intègre une diversité de contributions, venant d'acteurs d'horizons professionnels et disciplinaires variés (Boutinet, 2021; Garel, 2011). Dans le contexte du projet étudié, des enseignants, des ingénieurs pédagogiques, des développeurs informatiques doivent travailler ensemble dans un mode de coordination des actions qui agrègent plusieurs lieux et temporalités (Visser, 2002), avec un processus d'ajustement mutuel à chacune des étapes du projet. Il s'agit d'une conception conjointe (Marquesuzaà *et al.*, 2019) qui articule une technologie émergente et des pratiques pédagogiques à transformer ou à créer (Knibbe, 2016). Il y a alors des compromis à réaliser, entre des enjeux d'innovation technologique et des enjeux d'intégration dans les pratiques pédagogiques effectives des enseignants futurs utilisateurs de la nouvelle technologie. Les conditions de réussite d'un tel projet sont à étudier en regardant la collaboration mise en place entre les enseignants, les ingénieurs pédagogiques, les développeurs, voire aussi avec les étudiants, pour valider l'ergonomie de l'environnement virtuel nouvellement conçu ainsi que la charge cognitive associée au média utilisé (Lewis *et al.*, 2023).



Cette collaboration interprofessionnelle pour atteindre l'objectif commun qu'est la réussite du projet s'installe en structurant l'action collective par une démarche de conception participative (Badets *et al.*, 2021). Les acteurs du projet sont alors interdépendants (Arnoud *et al.*, 2022) et leur collaboration permet la mise en commun de connaissances et d'expertises qui conduit à réussir la réalisation du projet (Bedwell *et al.*, 2012; Castañer et Oliveira, 2020; Policard, 2014) ou à trouver des consensus intermédiaires entre les envies, les attentes, les besoins et les possibles. Deux types de moments de travail collectif peuvent être distingués : les moments de conception distribuée et ceux de coconception (Darses, 2009). Dans les moments de conception distribuée, les différents métiers de la conception travaillent sur des sous-tâches interdépendantes, avec une division du travail. Les moments de coconception quant à eux réunissent les acteurs pour un travail collaboratif interprofessionnel mis en œuvre le plus souvent dans des réunions, en présentiel ou en distanciel (Barcellini, 2015). C'est ce second type de travail collaboratif de coconception qui est présenté dans cet article.

Un enjeu traverse ce travail collaboratif de conception : celui de l'acceptabilité et de l'appropriation des JNE par les acteurs des formations concernées. En effet, l'introduction d'une nouvelle technologie au sein d'une activité professionnelle n'est jamais neutre; elle demande une reconfiguration de cette activité, conduisant les professionnels à accepter la nouvelle technologie, mais éventuellement aussi à l'ajuster, à l'améliorer, à la détourner, voire à la rejeter (Béguin, 2012; Bobillier-Chaumon et Dubois, 2009; Cuvelier, 2014; Poizat et Goudeaux, 2014; Rabardel, 1995). Dans le processus de conception pédagogique où est utilisée une technologie émergente, une place importante est faite à l'acceptabilité en amont de l'utilisation effective de la technologie (Blandin et Jeunesse, 2024). Pour Bobillier-Chaumon (2016), l'acceptabilité pratique est centrale dans le processus, par la démarche de l'expérience utilisateur : le travail se concentre sur le fait de rendre l'interface facilement utilisable pour l'utilisateur, en la composant de la manière la plus accessible possible. Mais cette seule acceptabilité pratique ne suffit pas à prévoir si la technologie sera ensuite utilisée dans l'activité professionnelle. L'acceptabilité sociale, avec les intentions d'usage des professionnels, est aussi à étudier. Celle-ci traite de l'utilité perçue de la nouvelle technologie par les professionnels concernés et de son utilisabilité, c'est-à-dire de sa facilité d'utilisation perçue et du contrôle que l'utilisateur a le sentiment d'avoir sur elle ainsi que des normes subjectives liées à cette technologie et ce qu'elle change au travail du professionnel (Bobillier-Chaumon et Clot, 2016). Dans l'ingénierie pédagogique, l'étape de la conception doit alors considérer les deux critères de l'utilité perçue et de l'utilisabilité pour anticiper les usages, même si cette anticipation ne permet pas de présager complètement l'appropriation de la technologie par les enseignants (Béguin et Weill-Fassina, 1997; Cuvelier *et al.*, sous presse).

Compétences en ingénierie pédagogique et technologies émergentes

L'ingénierie pédagogique (IP), en tant que discipline qui propose des démarches soutenant l'analyse, la conception, la réalisation et la planification de la diffusion des systèmes d'apprentissage (Basque, 2017; Paquette, 2005), a une relation consubstantielle avec le *digital learning*, terme utilisé de manière dominante aujourd'hui pour indiquer l'importance des technologies numériques dans les situations d'apprentissage (Blandin et Jeunesse, 2024; Cavignaux-Bros, 2023). L'introduction dans le vocabulaire de la notion d'*instructional design*, ou d'*instructional systems design* (ISD), développée aux États-Unis dans les années 1960 (Doucey et Goï, 2023; Las Vergnas et Cavignaux-Bros, 2024), témoigne de la montée en puissance des environnements technopédagogiques. Depuis la fin du 20^e siècle, le terme d'IP est utilisé en le différenciant de celui d'ingénierie de formation qui désigne la politique et l'organisation de la formation (Ardouin, 2023). L'IP est une discipline à la croisée de la conception pédagogique (avec l'utilisation de connaissances issues de la psychopédagogie des adultes), de la conduite de projet pédagogique et de l'usage des technologies de l'information et de la communication (Cavignaux-Bros, 2023; Musial et Tricot, 2020). Elle utilise donc des environnements d'apprentissage fondés largement sur les technologies numériques (Paquette, 2005).



Quand il est question comme ici de technologies émergentes (Burkhardt, 2010), les nouvelles pratiques pédagogiques associées à ces technologies réinterrogent fortement l'IP qui leur est nécessaire ainsi que les compétences attendues de la part des professionnels responsables de l'IP, dans un contexte de complexification et d'hybridation des dispositifs (Charlier et Henri, 2010; Fernagu et Frégné, 2024; Henri, 2019). Ainsi, les ingénieurs pédagogiques sont aujourd'hui spécialisés dans la conception de dispositifs liés à l'utilisation de plateformes collaboratives (Blandin et Jeunesse, 2024; Lameul *et al.*, 2014). Leur activité centrale est la transformation de contenus de cours en présentiel en contenus accessibles en ligne et leur gestion avec les logiciels dédiés, les Learning Management System (Cuvelier *et al.*, sous presse), dont Moodle est presque devenu un synonyme dans l'usage actuel (Gagneur, 2023). Mais les compétences mobilisées dans un projet technopédagogique comme celui des JNE sont sans doute plus complexes, en tout cas plus spécialisées. Elles sont de deux ordres. Les premières ont trait aux modalités pédagogiques utilisées pour créer des situations d'apprentissage dans les EVAH (Badets *et al.*, 2021; Blandin et Querrec, 2014). Elles peuvent se référer aux travaux sur la narration en réalité virtuelle (Fuchs, 2006; Hoguet, 2018), sur les effets des EVAH sur l'apprentissage (Fleury *et al.*, 2024; Hamilton *et al.*, 2021; Lewis *et al.*, 2023; Makransky *et al.*, 2021) et sur la simulation à visée formative (Chaliès et Dangouloff, sous presse; Cuvelier, 2018; Horcik, 2012; Sebastian et Krishnamachari, 2023). Les secondes sont des compétences en informatique, utilisées pour faire fonctionner les technologies liées aux EVAH (Havard *et al.*, 2023; Martínez-Gutiérrez *et al.*, 2023). Ces deux types de compétences sont encore rarement réunies chez les professionnels qui conçoivent actuellement les EVAH et les situations d'apprentissage afférentes. Il n'existe d'ailleurs pas à proprement parler de formation d'IP sur le développement des EVAH et sur les situations d'apprentissage instrumentées déployées dans ces derniers (Cavignaux-Bros, 2023). D'ailleurs, les recherches sur les EVAH signalent que les apprentissages véritablement réalisés dans ces environnements ont encore été peu étudiés. Les résultats des études expérimentales insistent sur l'existence d'un effet positif des EVAH sur les apprentissages seulement quand la technologie est intégrée dans des situations pédagogiques qui sont cohérentes avec les objectifs visés et les formats pédagogiques utilisés (Kaplan *et al.*, 2021; Radianti *et al.*, 2020).

Méthodologie

L'article expose la conception collaborative des JNE, avec des conditions plus ou moins favorables de collaboration, et de nouvelles fonctions pour les ingénieurs pédagogiques, les amenant vers une plus grande professionnalisation. Il interroge les défis que ce travail de conception intégrant des technologies émergentes rencontre, et les leviers d'action sur lesquels il est possible de s'appuyer pour les relever. La recherche sur le projet de conception de JNE en formation des ingénieurs a supposé une combinaison d'approches dans une étude exploratoire (Étienne, 2022) qui se base sur des entretiens et des observations de réunions.

Les données présentées sont issues de 13 entretiens semi-directifs menés dans la première année du projet avec les acteurs impliqués dans le projet JENII et retranscrits¹. Des binômes ou des trinômes d'ingénieurs pédagogiques, d'enseignants-chercheurs et parfois de développeurs informatiques ont participé à ces entretiens. Ensuite, dans la troisième année du projet, trois entretiens individuels ouverts ont été conduits avec des ingénieurs pédagogiques issus des trois écoles afin de recueillir leur vision et leur vécu de l'ingénierie pédagogique mise en œuvre. Trois réunions de conception de scénarios pédagogiques utilisant des JNE ont également été observées lors de la troisième année du projet, dans des équipes ayant des avancées différentes dans l'implémentation de leur JNE dans les cursus. Les acteurs participant à ces réunions avaient des fonctions d'ingénieurs pédagogiques, d'enseignants-chercheurs et de développeurs informatiques. Des notes ethnographiques et des dialogues ont été retranscrits et utilisés pour l'analyse.

¹ Ce travail a été réalisé par Cédric Facon dans le cadre d'un contrat doctoral, financé en partie par le programme d'investissement d'avenir au titre du projet JENII – ANR-21-DMES-0006.



Les écoles d'ingénieurs sont appelées école A, B et C, les prénoms des acteurs impliqués sont pseudonymisés pour faciliter la lecture. Le terme « enseignants » est utilisé pour désigner tous les enseignants, enseignants-chercheurs et formateurs intervenant dans les cours. Le terme « étudiants » est employé pour désigner les apprenants des écoles d'ingénieurs. La méthode utilisée pour l'analyse a été celle de la théorisation ancrée, où des données empiriques sont progressivement conceptualisées, dans un aller-retour entre les données recueillies sur le terrain et le processus de théorisation (Méliani, 2013). Des catégories sont définies à partir du corpus de données pour dénommer des phénomènes perceptibles, avec leurs caractéristiques, leurs logiques et leurs diverses formes possibles, avec une montée en généralité au fur et à mesure de l'analyse (Lejeune, 2019; Paillé et Mucchielli, 2021).

Cette analyse a permis de dégager des défis et des points d'appui en termes de travail collaboratif de conception pédagogique, selon le contexte des différentes écoles d'ingénieurs. Des extraits d'entretiens et d'observations des réunions viennent illustrer les activités collaboratives mises en œuvre entre les différents acteurs au service du projet de conception.

Résultats

Les défis du travail de conception pédagogique avec des technologies émergentes

TECHNOLOGIE ÉMERGENTE ET/OU INGÉNIERIES PÉDAGOGIQUES ÉMERGENTES

Les défis en termes de conception pédagogique avec un JNE peuvent être différenciés selon le niveau de maturité des IP dans les trois écoles d'ingénieurs du projet JENII. Celles-ci se caractérisent en effet par des cultures pédagogiques différentes qui impliquent des organisations variables du travail d'IP. L'école A est réputée novatrice sur le plan pédagogique en mettant en place des pédagogies adaptées aux adultes, puis des pédagogies dites actives (Blandin, 2011; Lemaître, 2007). L'IP y est originale, avec des enseignants, appelés « tuteurs », qui animent dans différents campus des dispositifs de formation conçus en amont par un groupe d'enseignants concepteurs, menés par un enseignant « pilote » du dispositif. Les enseignants concepteurs sont accompagnés d'une équipe d'ingénieurs pédagogiques spécialisée dans le *digital learning*, en particulier dans l'utilisation de Moodle, mais aussi dans des technologies émergentes comme les EVAH. L'école B est aussi engagée sur le plan pédagogique en étant spécialisée en formation continue des adultes et en proposant aux étudiants de suivre des dispositifs hybridés leur permettant de poursuivre ainsi une activité professionnelle en même temps que la poursuite d'études supérieures. Les enseignants y conçoivent eux-mêmes leurs cours, avec l'appui d'une équipe d'ingénieurs pédagogiques spécialisée également dans le *digital learning*. L'école C est plus traditionnelle en termes d'IP, avec son cursus principal en formation initiale des ingénieurs et des cours en présentiel animés par les enseignants qui les conçoivent. Une petite équipe d'IP commence aussi à accompagner les enseignants dans la diversification pédagogique de leurs cours et dans l'utilisation de Moodle, sans être spécialisée sur les EVAH.

Dans ces trois écoles, l'IP peut être décrite avec deux niveaux de maturité dans la gestion de projets technopédagogiques. L'IP apparaît parfois comme émergente, créée à l'occasion du projet étudié, avec peu ou pas d'expériences antérieures de conception en travail collectif d'un projet technopédagogique, en particulier pour l'école C et selon les enseignements pour l'école B. Dans d'autres situations, en particulier pour l'école A et en moindre mesure pour l'école B, l'IP apparaît davantage installée, avec des pratiques collaboratives régulières et institutionnalisées. Les acteurs ont alors l'habitude de travailler avec d'autres professionnels sur la conception de projets technopédagogiques. Les enjeux sont donc différents selon le



niveau de maturité de l'IP. Dans le cas d'une collaboration déjà institutionnalisée, l'enjeu est d'abord d'identifier les enseignants qui seront concepteurs et qui travailleront avec les ingénieurs pédagogiques et les développeurs. Les habitudes de travail collaboratif facilitent la conception. François, ingénieur pédagogique de l'école A, détaille le processus : « Pour les équipes de concepteurs, on est un an à l'avance. Il y a tout un travail : on identifie des besoins de conception, et des personnes associées. Et on demande à leurs responsables de département s'ils pourraient être disponibles pour travailler sur ce sujet-là, à raison de tant d'heures, de tant de jours... ». À l'inverse, dans le cas d'une collaboration plus émergente, le processus de travail n'est pas institutionnalisé et la première phase consiste à montrer aux enseignants l'intérêt de travailler avec des ingénieurs pédagogiques pour concevoir les JNE et les situations d'apprentissage utilisées avec ces nouveaux environnements. Océane, ingénieure pédagogique de l'école C, explique : « Je sollicite moi-même tous les enseignants de l'école C qui peuvent utiliser JENII dans le cours, pour leur proposer de travailler à l'IP de leur cours. Après, c'est eux qui donnent suite ou non, ce sont eux qui décident ». Les enseignants ont plutôt l'habitude de travailler seuls à la conception de leurs cours et de faire éventuellement appel à l'équipe d'ingénieurs pédagogiques dans un second temps pour placer des ressources pédagogiques sur Moodle. Il n'y a pas, dans ces cas, d'habitudes prises de réunions de conception pédagogique avec les ingénieurs pédagogiques.

Finalement, c'est la nécessité de travailler avec les développeurs du JNE qui amène à fixer des réunions de conception où enseignants, ingénieurs pédagogiques et développeurs se retrouvent pour imaginer des solutions viables techniquement, mais surtout didactiquement et pédagogiquement. L'initiative des réunions vient souvent des ingénieurs pédagogiques, qui ont alors un rôle de coordinateurs dans le projet technopédagogique; ils font le lien entre les différents acteurs. Océane, ingénieure pédagogique de l'école C, insiste : « la collaboration fonctionne bien quand il y a une certaine fréquence de travail en commun, avec des envois de ressources, des échanges de mails, des réunions ». Ils se positionnent comme médiateurs entre les différents acteurs dans une activité qui demande de relancer avec tact, de montrer l'intérêt de se réunir pour concevoir à plusieurs. « J'essaie de faire une réunion par mois, c'est moi qui demande de les fixer, qui relance », précise encore Océane. L'argument de rencontrer les développeurs, qui sont des prestataires externes non présents dans les écoles, permet de convaincre les EC de l'utilité de réunions entre les différents acteurs. Les réunions de conception arrivent ainsi à s'installer, mais au regard du caractère innovant des technologies mobilisées, elles restent très centrées sur le défi de l'acceptabilité pratique du JNE, au détriment parfois des réflexions plus pédagogiques. Le travail se focalise sur l'expérience utilisateur, sur les qualités ergonomiques de prise en main de l'EVAH, pour favoriser l'acceptabilité pratique du JNE chez les étudiants et les enseignants, futurs utilisateurs. Il est vrai que l'intégration de ces JNE présente de véritables défis techniques qui persistent durant tout le projet, rencontrant la crainte des enseignants d'une difficulté d'utilisation.

TENIR COMPTE DANS L'INGÉNIERIE PÉDAGOGIQUE DES ATTENTES ET DES CRAINTES DES ACTEURS

De manière très majoritaire (dans 12 des 13 entretiens semi-directifs, dans les 3 entretiens ouverts avec les ingénieurs pédagogiques et dans les 3 réunions de conception), les JNE semblent utiles pédagogiquement à la fois aux enseignants et aux ingénieurs pédagogiques, en particulier dans les domaines industriels qui comportent des risques importants si les étudiants s'entraînent dans la réalité physique (une centrale nucléaire, un laboratoire de chimie...). Houda, enseignante de l'école A, est enthousiaste : « On ne peut pas leur faire courir de vrais risques, on n'a pas les équipements... Donc là on peut le faire en réalité virtuelle. Il faudrait vraiment représenter les situations anormales... D'un point de vue pédagogique, la réalité virtuelle, c'est génial! ». L'idée de pouvoir aussi réaliser des travaux pratiques (TP) à distance en étant immergé dans une réalité virtuelle paraît intéressante aux différents acteurs du projet, surtout pour l'école B qui a un nombre important d'étudiants en formation continue physiquement éloignés des lieux de cours.



Mais un paradoxe apparaît parfois sur les représentations du rôle de l'enseignant dans cette nouvelle configuration de cours. En effet, lors des entretiens avec les ingénieurs pédagogiques et lors des réunions de conception, les situations d'apprentissage dans les JNE sont souvent pensées pour une utilisation dans des séances de TP, en autonomie pour les étudiants ou encadrées par des personnels techniques. Julien, ingénieur pédagogique dans l'école B, explique « ce JNE, c'est un *serious game*, il n'y pas besoin du prof, mais il y a toujours des problèmes techniques à régler avec les casques, le logiciel... ». Ainsi, dans les réunions de conception, certains enseignants peuvent avoir l'impression de travailler à leur propre disparition en tant qu'enseignants avec le retour du mythe de la technologie remplaçant le professeur... L'acceptabilité sociale des JNE est alors remise en question et le défi est alors de créer des JNE suffisamment contrôlables par les enseignants et les ingénieurs pédagogiques, et dans la mesure du possible adaptables/modulables selon les besoins pédagogiques de chaque cours. Le défi pour les ingénieurs pédagogiques est de proposer une pluralité de formats et de scénarios pédagogiques pour utiliser les JNE en présence ou non de l'enseignant.

Néanmoins, en ce début de projet et à cette étape de conception, la crainte principale concerne les problèmes techniques : face à la nouveauté, la technologie JNE apparaît peu fiable et donc risquée à utiliser pour les cours, comme l'exprime Nathanaëlle : « L'énorme difficulté, c'est la fiabilité des outils informatiques. Moi, je n'y crois pas, ça ne marche pas, ça bugge tout le temps. Et puis les mises à jour, c'est infernal! Si à chaque fois vous perdez une heure... ». Les enseignants réclament donc la présence de personnels techniques lors des séances mobilisant les JNE tout en craignant que cela ne puisse pas être possible. Dans une réunion de conception de l'école C, Henri, enseignant, s'inquiète : « Il faut toujours un technicien! On ne sait même pas allumer un casque! », Océane, ingénieure pédagogique, tente de le rassurer : « Je peux vous montrer, il faut tout mettre à jour... », mais l'enseignant reste alarmé sur les difficultés pressenties d'utilisation des casques de réalité virtuelle.

Il y a donc un véritable risque, s'ils le peuvent, que les enseignants ne se servent pas des JNE si les difficultés techniques les font reculer, tout comme la crainte de devoir gérer des étudiants malades avec la réalité virtuelle ou la refusant par peur de vivre des expériences virtuelles. « Il y a ces deux problématiques qui sont vraiment centrales, incontournables, les problèmes techniques et les problèmes de la réalité virtuelle avec les élèves, et qui vont ralentir à mon avis très fortement l'intérêt des jumeaux dans l'enseignement. Moi, je ne suis pas positive, je suis désolée, mais je pense qu'il faut être vraiment très réaliste », déclare Nathanaëlle, pourtant enthousiaste sur l'utilité pédagogique des JNE pour les thèmes de cours qu'elle assure en tant qu'EC. Les défis pour une utilisation effective des JNE dans les dispositifs de formation sont donc importants, mais des leviers pour optimiser le travail de conception peuvent être identifiés.

Des leviers pour optimiser le travail de conception pédagogique avec une technologie émergente

CRÉER EN COLLECTIF LES SCÉNARIOS PÉDAGOGIQUES

Dès le début du projet, des réunions avec les différents acteurs aident à cibler le cœur du travail de conception : évoluer à partir des objectifs généraux de formation vers des objectifs d'apprentissage précis et vers des scénarios pédagogiques qui permettent de les atteindre. Quand l'IP est émergente, ces réunions rendent explicite le travail de conception pédagogique des cours. Magali, enseignante dans l'école B, s'en rend compte, comme l'illustre le verbatim ci-dessous. Dans ces situations, c'est parfois même l'occasion de réfléchir à de nouvelles manières d'enseigner et de répondre autrement aux besoins des élèves en matière de modalités d'apprentissage, élargissant ainsi le répertoire de pratiques des enseignants. Lors d'une réunion de conception dans l'école C, Océane, ingénieure pédagogique, demande à Henri, enseignant : « D'habitude, tu l'organises comment ton TP? ». Et Henri de lui répondre :



« Historiquement, il n'y a pas de TD, pas de TP, que des cours magistraux. Donc "d'habitude" je ne fais pas! Je montre en démo seulement. Un TP numérique serait très utile. Et puis, les étudiants se plaignent de ne pas avoir assez de pratique ». L'introduction du JNE dans les cours offre ainsi l'occasion de revisiter la pédagogie, de l'améliorer, ou en tout cas d'en expliciter les stratégies et d'optimiser l'alignement pédagogique (Lanarès *et al.*, 2023) entre les objectifs d'apprentissage et les moyens de les atteindre.

« C'est toutes ces questions qu'on pose... enfin qu'on ne se pose pas au début... Par exemple le découpage, alors c'est ce que nos ingénieurs pédagogiques nous poussent à faire, le côté scénario qu'on n'a pas forcément l'habitude de faire ça bien dans nos cours (rires). Alors heureusement qu'on a les ingénieurs pédagogiques qui nous remettent sur les rails, par exemple, qui me disent : "oui, mais alors concrètement, quand les étudiants sont dans la salle, ils arrivent, qu'est-ce qu'ils font? Pourquoi ils le font?" Et donc, c'est tout ça où je me dis : "oui, bon, c'est vrai que j'avais manqué un peu de réflexion sur le scénario"... » (Magali, enseignante, école B).

La question de la transposition didactique et informatique du scénario pédagogique est particulièrement cruciale lorsque l'on cherche à intégrer des JNE dans les pratiques enseignantes. Nathanaëlle, enseignante de l'école B, souligne que « le scénario pédagogique est fondamental », en insistant sur la complexité du travail de rédaction : « Il faut numériser tous les chemins d'erreurs. Et donc il y a une grosse préparation en amont, avant de se lancer dans la création d'un jumeau. Et il faut savoir répondre à toutes les erreurs. Vous voyez, il y a vraiment cette espèce de scénario pédagogique qui n'est pas du tout linéaire, qui a plein de rues, de voies possibles sur les côtés. Et ça, ce n'est pas facile ». Celui-ci demande en effet un travail de conception extrêmement rigoureux et long. Julien, ingénieur pédagogique dans l'école B, explique : « Parfois, les enseignants veulent trop faire dans l'étape du scénario, c'est trop ambitieux et impossible à développer ensuite. Ça ralentit beaucoup le travail de conception, voir ça l'arrête... ». L'enjeu à ce stade n'est ni de décourager ni de frustrer les enseignants par trop de réunions de conception qui pourraient ne pas aboutir, mais de concevoir ensemble des solutions réalistes.

DISSIPER LES MALENTENDUS ET LES MYTHES PÉDAGOGIQUES

Les mythes pédagogiques liés à l'utilisation des environnements numériques d'apprentissage (Amadiou et Tricot, 2020) peuvent s'avérer de véritables freins dans le processus d'enseignement-apprentissage. Les ingénieurs pédagogiques peuvent aider à déconstruire certaines croyances grâce à leur formation en pédagogie. Cela permet d'éviter des malentendus sur les théories de l'apprentissage impliquées dans les EVAH et ainsi de proposer des situations d'apprentissage optimisées. Par exemple, des enseignants citent l'avantage de pouvoir multiplier sans risque et à l'envie essais et erreurs dans le JNE, comme l'explique Anna dans le verbatim ci-dessous. L'apprentissage par essai-erreur est pourtant chronophage s'il n'est pas régulé par l'enseignant (voire par les autres élèves) avec des *feedbacks* informatifs rapides ou en temps réel pour éviter des renforcements négatifs (Bocquillon *et al.*, 2024; Musial *et al.*, 2011; Tricot, 2021). De nombreux essais avec des erreurs entraînent le risque que l'étudiant retienne des conceptions erronées plutôt que les solutions correctes.

« Je trouve que la meilleure façon de retenir quelque chose ou d'apprendre, c'est de se tromper, finalement. Et j'ai toujours rêvé de pouvoir dire aux élèves : "allez-y, vous êtes sur le banc de TP, faites ce que vous voulez, poussez-le au maximum quitte à le faire exploser, quitte à ce que...", voilà. Alors bien sûr, en réalité, on ne peut pas le faire. Mais là, je trouve qu'on peut tout se permettre et, bah voilà, le JN explose virtuellement, bah il explose virtuellement. Donc c'est plutôt pour torturer le JN... ». (Anna, enseignante, école B)



Une autre croyance est à mettre en lien avec le fait que les « jeunes » seraient davantage engagés dans l'apprentissage grâce aux environnements numériques et qu'il suffirait de leur en proposer pour qu'ils soient motivés à les utiliser, surtout si les environnements numériques présentent des caractéristiques ludiques (Cordier, 2020; Tricot, 2017). Ainsi, Nathanaëlle, enseignante dans l'école B, s'exclame qu'elle est « pour toutes les innovations dans les outils numériques qu'on peut utiliser pour capter l'attention de nos élèves (rires), les plus grands et les plus petits! » Le caractère ludique des environnements d'apprentissage peut en effet susciter de l'engagement, mais pose très rapidement la question de la persistance de cet engagement (Mayer, 2020). D'abord parce que les mécanismes du jeu peuvent être insuffisants pour maintenir la motivation, et ensuite parce que ces environnements JENII sont conçus d'abord pour apprendre et non pour jouer. Par exemple, quand les JNE sont présentés comme des jeux vidéo, il faut prévoir une déception parfois fortement démotivante chez les étudiants habitués à des jeux vidéo d'un très haut niveau de *game design*.

Certains enseignants pensent aussi que ces environnements d'apprentissage ne vont rien changer aux pratiques d'enseignement-apprentissage. Cette croyance les conduit à se former insuffisamment ou à continuer de faire « sans » ou comme si cela ne pouvait rien changer. Owen, enseignant qui conçoit un cours dans l'école A, explique avoir du mal à mobiliser les enseignants tuteurs en amont du cours pour échanger avec eux sur ce que change l'utilisation du JNE dans leur enseignement : « Les anciens tuteurs ne viennent pas au *briefing* 15 jours avant le début de la séquence de cours, ils connaissent suffisamment le cours et ils pensent que cela ne va pas leur être utile... Ils ne sont alors pas au courant de l'introduction du JN dans le cours existant ». Ces environnements d'apprentissage sont spécifiques et demandent une sensibilisation importante des enseignants aux écueils qu'ils peuvent rencontrer que cela soit du point de vue de leurs croyances, de leurs habitudes de travail ou des pratiques d'enseignement. Plus les acteurs travaillent ensemble, plus ces écueils peuvent être évités.

De manière générale, ce travail d'IP avec une technologie émergente a une dimension constructive forte, avec des possibilités d'apprentissages mutuels multiples pour chacun des acteurs mobilisés. Les ingénieurs pédagogiques jouent un rôle déterminant dans ces relations, un rôle de liant entre les contraintes techniques et pédagogiques en provenance des développeurs et des enseignants. Ils permettent de faire les ponts entre les expertises, de les exprimer et de les relier au regard de scénarios pédagogiques précis.

PRÉVOIR LA DIVERSITÉ DES SITUATIONS

Les JNE peuvent à terme supporter une diversité de scénarios pédagogiques possibles, des usages modulaires et flexibles. Ils sont en outre déclinables sur des supports variés, avec un ordinateur ou un casque de réalité virtuelle, ce qui permet selon la technologie disponible de mobiliser le JNE différemment. Le choix est ainsi laissé à l'enseignant, selon le matériel dont il dispose et l'utilité de ce matériel par rapport à son objectif pédagogique. Nathanaëlle, enseignante de l'école B, apprécie cette multimodalité possible : « Les élèves peuvent jouer les scénarios soit en environnement casque, donc tout seul dans le casque ou avec le prof dans le casque, soit sur un ordinateur avec la souris ou les flèches. C'est les deux outils sur lesquels on a développé ces TP ». Cela autorise ainsi les écoles à ne pas dépendre totalement des casques de réalité virtuelle, mais de penser une utilisation mixte, quelques casques et des ordinateurs, avec le plus souvent une organisation du travail pédagogique en sous-groupes, dans lesquels un étudiant a un casque et les autres le guident en suivant son parcours sur un écran, ou sont sur leurs ordinateurs.

La diversité d'utilisation dépend également de la liberté pédagogique des enseignants utilisant les JNE. François, ingénieur pédagogique de l'école A, insiste sur l'avantage des éditeurs de scénario dont les enseignants peuvent s'emparer par la suite selon leurs besoins : « La volonté, c'est de donner accès à des licences d'édition de scénarios, et ensuite des *players* pour utiliser à bon escient le JN ». Dans le cas où les JNE sont créés en tant que simulateurs sans scénario prédéfini, ils sont alors des outils



complètement paramétrables par l'enseignant et l'ingénieur pédagogique. « L'utilisateur peut définir lui-même des choses. Le prof peut créer son scénario. C'est complètement paramétrable. Le prof peut s'approprier complètement le cours! », apprécie Henri, enseignant de l'école C. Dans le cas où le JNE est utilisé avec un jeu sérieux, la liberté pédagogique sera alors dans le choix entre différents scénarios possibles, avec un paramétrage accessible pour enlever ou ajouter des éléments. Cette diversité d'utilisation est favorisée quand le travail d'IP est prévu comme une succession de boucles de conception continuée dans l'usage qui permet de faire des aller et retour entre ce qui est prévu et ce qui se passe, ce que l'on voudrait et ce qui est possible. Réunions de conception collaborative et temps de conception distribuée alternent alors, pour ajuster et réajuster les situations d'apprentissage créées avec les JNE. Océane, ingénieure pédagogique de l'école C, décrit cette conception itérative, qui commence « par la partie pédagogique, avec le design de scénario, puis le développement, et les pré-expérimentations, ou pré-tests, avec deux-trois élèves qui testent le scénario conçu. Ensuite, le scénario est retravaillé et finalisé avant le test réel. Le test réel, c'est avec tous les étudiants d'un cours et les enseignants, avec les techniciens pour aider avec le matériel. Ensuite, on *débrie* avec les étudiants sur les axes d'amélioration, et on rédige un rapport sur ce qui fonctionne bien et ce qui doit être amélioré ». C'est sans doute ces boucles de conception qui peuvent entraîner une meilleure acceptation en contexte de travail réel de cette technologie émergente par ses principaux utilisateurs, enseignants et étudiants.

Discussion et perspectives

Les conditions favorables pour une conception efficiente pédagogiquement

La création des JNE a suscité une collaboration interprofessionnelle autour de la pédagogie. Cette collaboration n'aurait sans doute pas existé sans le projet technopédagogique JENII. C'est un des points forts du projet, en plus des innovations proprement technologiques réalisées : il a permis d'avoir des dialogues moins technocentrés, davantage pédagogicocentrés, et de produire un livre blanc sur les JNE (Facon et Fernagu, 2023) qui regroupe des mises au point théoriques sur les processus d'enseignement-apprentissage dans les EVAH, des cas d'usage et des recommandations pédagogiques. Les outils technologiques peuvent ainsi permettre de redéfinir les dispositifs de formation, de mettre au centre la question des objectifs pédagogiques (Lanarès *et al.*, 2023; Musial *et al.*, 2023; Musial et Tricot, 2020), de leur définition et de leur évaluation.

Mais dans l'enseignement supérieur où la structuration de l'IP n'est pas toujours aboutie, les activités du travail collaboratif de conception sont encore à organiser. Ce travail réunit différents acteurs des métiers de l'enseignement supérieur et de la formation, dont les activités ne recouvrent que partiellement l'intitulé de leurs emplois (Fernagu et Frégné, 2024). Les activités de ces différents professionnels sont encore floues, comme le montrent les données recueillies pour cet article. Durant les réunions de conception, les activités collaboratives de génération-évaluation de solutions, de clarification et de régulation à la fois de la tâche et des interactions, qui ont été identifiées finement par Barcellini (2015), ne sont sans doute pas encore à l'œuvre de manière optimale. Pourtant, concevoir des situations d'apprentissage professionnel simulées dans des EVAH (Cahagne et Fuzet, 2022; Fleury *et al.*, 2024; Lewis *et al.*, 2023) est un travail nécessairement interprofessionnel : les enseignants ont la connaissance des objectifs d'apprentissage et des savoirs pédagogiques nécessaires, les ingénieurs pédagogiques accompagnent la scénarisation pédagogique et les développeurs indiquent ce qu'il est possible de réaliser dans un environnement numérique virtuel.



De nouvelles études portant sur les activités de conception collaborative lors des réunions permettraient de formuler des recommandations sur les manières de générer et d'évaluer des solutions technopédagogiques durables. La collaboration pourrait être organisée de manière à favoriser les interactions entre des professionnels qui ont des statuts très différents, en particulier entre enseignants et ingénieurs pédagogiques. Ces derniers semblent avoir une importance centrale dans la réussite des projets technopédagogiques, et cette importance va de pair avec la nécessité de mettre en œuvre des compétences particulières liées aux EVAH.

Le rôle central de l'ingénieur pédagogique : vers une professionnalisation accentuée

Les ingénieurs pédagogiques ont ainsi parfois un rôle de coordination du projet technopédagogique, qui peut être difficile à tenir selon les contextes de management, comme le soulignent déjà d'autres travaux (Las Vergnas et Cavignaux-Bros, 2024). Dans les trois écoles qui sont le terrain de l'étude, les ingénieurs pédagogiques sont aussi des médiateurs entre les technologies et les enseignants : s'ils ont des connaissances sur les facteurs limitant l'usage des technologies dans l'enseignement, ils peuvent permettre de favoriser une utilisation réelle de celles-ci, qui corresponde aux besoins du processus d'enseignement-apprentissage et aux pratiques enseignantes (Cuvelier *et al.*, sous presse; Lewis *et al.*, 2023). La temporalité semble ici fondamentale : le temps nécessaire au processus itératif de conception permet de réajuster la place et le rôle de la technologie dans les activités d'enseignement, pour éviter un rejet global peut-être dommageable aux vues des avantages pédagogiques des EVAH.

Différents travaux récents argumentent que pour mener cet accompagnement complexe de conception de situations d'apprentissage instrumentées avec des technologies émergentes, les ingénieurs pédagogiques doivent réaliser une montée en compétences sur les méthodes pédagogiques et les théories de l'apprentissage liées aux EVAH (Fleury *et al.*, 2024; Hamilton *et al.*, 2021; Makransky *et al.*, 2021). Ainsi, le choix de créer des JNE en mode « simulateur » ou en mode « jeu sérieux » induit des formats pédagogiques différents. Par exemple, en mode « jeu sérieux », donc avec une utilisation en autonomie, des leviers motivationnels pourront être inclus au préalable dans le jeu sérieux. Avec un simulateur, l'enseignant peut concevoir les exercices qu'il décide de proposer dans le JNE et animer la séance de cours avec le simulateur en réalité virtuelle. Pour répondre à cette complexité dans le métier d'ingénieurs pédagogiques, des masters sont créés ou modifiés en ce sens, et permettent soit à des techniciens en informatique d'acquérir des connaissances en pédagogie, soit à des enseignants d'en acquérir en informatique... Ainsi, les nouvelles compétences demandées aux ingénieurs pédagogiques dans l'enseignement supérieur permettent d'orienter leur formation vers une plus grande professionnalisation (Jorro et De Ketele, 2011; Jorro et Wittorski, 2013; Wittorski, 2022), avec une spécialisation qui s'approfondit et une offre de formation à la fois plus large et plus appuyée sur les apports de la recherche.

Liste de références

- Amadiou, F. et Tricot, A. (2020). *Apprendre avec le numérique*. Retz.
- Ardouin, T. (2023). *Ingénierie de formation (6^e éd.) : intégrez les nouveaux modes de formation dans votre pédagogie* (6^e édition). Dunod.
- Arnoud, J., Barcellini, F., Cerf, M. et Perez Toralla, M. S. (2022). *Dynamiques développementales dans les interventions sur le travail : entre héritages et perspectives*. Octarès.
- Badets, A., Blandin, B., Havard, V. et Baudry, D. (2021). Conception de situations instrumentées : étude de cas d'une situation d'apprentissage des concepts du Lean Manufacturing. *NEO-SAI – Colloque Comprendre et construire les nouvelles situations d'apprentissage instrumentées*.



- Barcellini, F. (2015). *Développer des interventions capacitanes en conduite du changement. Comprendre le travail collectif de conception, agir sur la conception collective du travail*. [Habilitation à diriger des recherches]. Université de Bordeaux. <https://theses.hal.science/tel-01150586v1>
- Basque, J. (2017). *Introduction à l'ingénierie pédagogique*. Université TÉLUQ.
- Bedwell, W. L., Wildman, J. L., DiazGranados, D., Salazar, M., Kramer, W. S. et Salas, E. (2012). Collaboration at work: An integrative multilevel conceptualization. *Construct Clarity in Human Resource Management Research*, 22(2), 128-145. <https://doi.org/10.1016/j.hrmr.2011.11.007>
- Béguin, P. (2012). Conception et développement. Appropriation, dialogues et sens du développement. Dans Y. Clot (dir.), *Vygotski maintenant* (p. 175-191). La Dispute.
- Béguin, P. et Weill-Fassina, A. (1997). *Simulation en ergonomie : connaître, agir, interagir*. Octarès.
- Blandin, B. (2011, juin 8). *Professionalisation des ingénieurs : quelques réflexions à partir de nos travaux de recherche sur l'apprentissage*. VI^e colloque Questions de pédagogie dans l'enseignement supérieur. Les courants de la professionnalisation : enjeux, attentes, changements, Angers.
- Blandin, B. et Jeunesse, C. (2024). Développement du digital learning. Dans *Traité des sciences et des techniques de la Formation* (5^e, p. 540-563). Dunod.
- Blandin, B. et Querrec, R. (2014). *Quelle méthode pour concevoir un environnement virtuel pour apprendre une activité? Une tentative de réponse : le projet EAST*. Didactique Professionnelle – Troisième Colloque international, Conception et formation, Caen.
- 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>
- Bobillier-Chaumon, M.-E. et Clot, Y. (2016). Clinique de l'usage : les artefacts technologiques comme développement de l'activité. *Activités*, 13(2).
- Bobillier-Chaumon, M.-E. et Dubois, M. (2009). L'adoption des technologies en situation professionnelle : quelles articulations possibles entre acceptabilité et acceptation? *Le travail humain*, 72(4), 355-382. Cairn.info. <https://doi.org/10.3917/th.724.0355>
- Bocquillon, M., Baco, C., Derobertmasure, A., Demeuse, M., Gauthier, C., Bissonnette, S. et Bressoux, P. (2024). *Enseignement explicite : pratiques et stratégies. Quand l'enseignant fait la différence* (1^{re} édition). De Boeck Supérieur.
- Bondesan, P., Fleury, S., Boisadan, A. et Richir, S. (2024). Assessing the educational effectiveness of immersive digital twins in engineering education. *International Journal of Design and Innovation Research*, 8(2).
- Boutinet, J.-P. (2021). *Psychologie des conduites à projet*. 7^e éd. Presses Universitaires de France.
- Burkhardt, J.-M. (2010). *Conception, utilisation et formation : trois perspectives sur l'apprentissage en ergonomie des technologies émergentes* [Habilitation à diriger des recherches].
- Cahagne, C. et Fuzet, B. (2022). *Concevoir et diffuser une expérience de formation immersive : intégrer la réalité virtuelle dans un module pédagogique*. GERESO.
- Castañer, X. et Oliveira, N. (2020). Collaboration, Coordination, and Cooperation Among Organizations: Establishing the Distinctive Meanings of These Terms Through a Systematic Literature Review. *Journal of Management*, 46(6), 965-1001. <https://doi.org/10.1177/0149206320901565>
- Cavignaux-Bros, D. (2023). *Ingénierie pédagogique et numérique : une analyse selon l'approche par les capacités*. Éditions L'Harmattan.
- Chaliès, S. et Dangouloff, N. (sous presse). *La simulation en formation professionnelle : continuums d'activités et de situations*. Octarès.
- Charlier, B. et Henri, F. (2010). *Apprendre avec les technologies*. Presses Universitaires de France.
- Cordier, A. (2020). Déconstruire le mythe des digital natives, et au-delà : cheminements théoriques et méthodologiques. Dans S. Jehel et A. Saemmer (dir.), *Éducation critique aux médias et à l'information en contexte numérique*. Presses de l'Enssib.
- Courallet, A., Baudry, D., Havard, V. et Maillard, F. (2024). Editing complex industrial scenarios with human and autonomous agents from an immersive digital twin using authoring-by-doing. *Doctoriales Laval Virtual 2024*.



- Cuvelier, L. (2014). Les dimensions collectives de l'appropriation : questionnement sur les liens entre développement des collectifs de métiers et développement des instruments. *TransFormations - Recherches en Éducation et Formation des Adultes*, 12, 137-154. <https://transformations.univ-lille.fr/index.php/TF/article/view/6/7>
- Cuvelier, L. (2018). "Never the first time on a patient": The stakes of high-fidelity simulation for safety training. *Development and Learning in Organizations: An International Journal*, 32(5), 23-25. <https://doi.org/10.1108/DLO-09-2018-131>
- Cuvelier, L., Fernagu, S. et Pagetti, M. (sous presse). Concevoir des LMS capacitants : une démarche pédagogique et ergonomique. Dans *Le Learning Management System dans l'enseignement supérieur : boule à facettes technopédagogiques*. École des mines.
- Darses, F. (2009). Résolution collective des problèmes de conception. *Le travail humain*, 72(1), 43-59.
- David, J., Lobov, A. et Lanz, M. (2018, octobre). *Learning Experiences Involving Digital Twins*. IECON 2018, 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society.
- Doucey, B. et Goï, C. (2023). *Vocabulaire de l'ingénierie pédagogique*. Rabelais.
- Étienne, R. (2022). L'approche exploratoire : techniques, finalités, exploitation des données. Dans B. Alberio et J. Thievenaz (dir.), *Enquêter dans les métiers de l'humain*, vol. 2 (p. 99-108). Éditions Raison et Passions. <https://doi.org/10.3917/rp.alber.2022.01.0099>
- Facon, C. et Fernagu, S. (2023). *Livre blanc 2023 JENII : enseigner avec des jumeaux numériques immersifs et interactifs*. Projet JENII ANR-21-DMES-0006.
- Fernagu, S. et Frégné, C. (2024). Les métiers de la formation. Dans *Traité des sciences et des techniques de la Formation* (5^e, p. 679-698). Dunod.
- Fleury, S., Baudouin, C. et Bondesan, P. (2024). *Immersive Digital Twins of an Industrial Forge in Engineering Education*. The 20th International CDIO Conference, Tunisie.
- Fuchs, P. (2006). *Le traité de la réalité virtuelle* (vol. 5). Presses des Mines.
- Gagneur, C.-A. (2023). Travail, formation, numérique : quels formateurs pour quels apprentissages? *Éducation Permanente*, 234-235(1-2), 179-189. <https://doi.org/10.3917/edpe.234.0179>
- Garel, G. (2011). Qu'est-ce que le management de projet? *Informations sociales*, 167(5), 72-80. <https://doi.org/10.3917/inso.167.0072>
- Hamilton, D., McKechnie, J., Edgerton, E. et Wilson, C. (2021). Immersive virtual reality as a pedagogical tool in education: A systematic literature review of quantitative learning outcomes and experimental design. *Journal of Computers in Education*, 8(1), 1-32. <https://doi.org/10.1007/s40692-020-00169-2>
- Havard, V., Courallet, A., Baudry, D. et Delalin, H. (2023). Digital twin, virtual reality and opcu-a-based architecture for pedagogical scenarios in manufacturing and computer sciences curriculum. *Virtual Reality and OPCUA-based architecture for pedagogical scenarios in Manufacturing and Computer Sciences curriculum*. The 13th Conference on Learning Factories (CLF 2023).
- Henri, F. (2019). Quel changement à l'ère numérique? Quelle ingénierie pédagogique pour y répondre? *Médiations et médiatisations*, 2, 227-235. <https://doi.org/10.52358/mm.vi2.102>
- Hoguet, B. (2018). *La narration réinventée, la grammaire de la réalité virtuelle : des histoires qui se racontent aux histoires qui se vivent*. DIXIT.
- Horcik, Z. (2012). Apprendre et travailler dans les environnements simulés. Dans E. Bourgeois et M. Durand (dir.), *Apprendre au travail* (p. 129-139). Presses Universitaires de France.
- Jorro, A. et De Ketele, J.-M. (2011). *La professionnalité émergente : quelle reconnaissance?* De Boeck Supérieur.
- Jorro, A. et Witorski, R. (2013). *Les rapports entre professionnalisation, évaluation et reconnaissance professionnelle*.
- Julien, N. et Martin, É. (2020). *Le jumeau numérique : de l'intelligence artificielle à l'industrie agile*. Dunod.
- Julien, N. et Martin, É. (2021). *L'usine du futur : stratégies et déploiement*, 2^e éd. - *Industrie 4.0, de l'IoT aux jumeaux numériques* (2^e édition). Dunod.
- Kaplan, A. D., Cruik, J., Endsley, M., Beers, S. M., Sawyer, B. D. et Hancock, P. A. (2021). The Effects of Virtual Reality, Augmented Reality, and Mixed Reality as Training Enhancement Methods: A Meta-Analysis. *Human Factors*, 63(4), 706-726. <https://doi.org/10.1177/0018720820904229>



- Knibbe, C. (2016). *Concevoir avec des technologies émergentes pour la construction conjointe des pratiques et des artefacts : Apports d'une méthodologie participative à l'innovation technologique et pédagogique* [thèse de doctorat]. Paris, CNAM.
- Lameul, G., Loisy, C. et Charlier, B. (2014). *La pédagogie universitaire à l'heure du numérique* (1^{re} édition). De Boeck Supérieur.
- Lanarès, J., Laperrouza, M. et Sylvestre, E. (2023). *Design pédagogique*. Espistémé.
- Las Vergnas, O. et Cavignaux-Bros, D. (2024). Ingénierie pédagogique. Dans P. Carré, C. Frégné, P. Caspar et O. Las Vergnas (dir.), *Traité des sciences et des techniques de la Formation*. 5^e édition. (p. 518-539). Dunod.
- Lejeune, C. (2019). *Manuel d'analyse qualitative : analyser sans compter ni classer*. De Boeck.
- Lemaître, D. (2007). Le courant des « pédagogies actives » dans l'enseignement supérieur : une évolution postmoderne? *Recherches en éducation*, 2. <https://doi.org/10.4000/ree.3666>
- Lemaître, D. (2018). Formation et professionnalisation des ingénieurs en France : le modèle de l'école d'ingénieurs et ses recompositions. *Savoirs*, 47(2), 11-39. <https://doi.org/10.3917/savo.047.0011>
- Léon, X. et Belleghem, L. V. (2023). Quand la réflexivité s'invite dans un dispositif de simulation. *Éducation et socialisation. Les Cahiers du CERFEE*, 68. <https://doi.org/10.4000/edso.24014>
- Lewis, F., Mendoza, G. A. A., Brassard, C. et Plante, P. (2023). Usage des technologies immersives (réalité virtuelle, augmentée et vidéo 360) dans l'enseignement supérieur. *Médiations et médiatisations*, 15, Article 15. <https://doi.org/10.52358/mm.vi15.330>
- Makransky, G., Andreasen, N. K., Baceviciute, S. et Mayer, R. E. (2021). Immersive virtual reality increases liking but not learning with a science simulation and generative learning strategies promote learning in immersive virtual reality. *Journal of Educational Psychology*, 113(4), 719-735. <https://doi.org/10.1037/edu0000473>
- Marquesuzaà, C., Etcheverry, P., Dagorret, P., Lopistéguy, P., Nodenot, T. et Fontenla, M. T. (2019). Une plateforme et des modèles pour la scénarisation coopérative de modules pédagogiques. *Médiations et médiatisations*, 2, 156-175. <https://doi.org/10.52358/mm.vi2.81>
- Mayer, R. E. (2020). *Multimedia Learning. Third Edition*. (3^e édition). Cambridge University Press.
- Méliani, V. (2013). Choisir l'analyse par théorisation ancrée : illustration des apports et des limites de la méthode. *Recherches qualitatives*, 15, 435-452.
- Musial, M., Pradère, F. et Tricot, A. (2011). Prendre en compte les apprentissages lors de la conception d'un scénario pédagogique. *Recherche et formation*, 68, Article 68. <https://doi.org/10.4000/rechercheformation.1483>
- Musial, M., Pradère, F. et Tricot, A. (2023). *Comment concevoir un enseignement?* De Boeck Supérieur.
- Musial, M. et Tricot, A. (2020). *Précis d'ingénierie pédagogique* (1^{re} édition). De Boeck Supérieur.
- Paillé, P. et Mucchielli, A. (2021). *L'analyse qualitative en sciences humaines et sociales*, 5^e édition. Armand Colin.
- Paquette, G. (2005). *L'ingénierie pédagogique : pour construire l'apprentissage en réseau*. Presses de l'Université du Québec.
- Poizat, G. et Goudeaux, A. (2014). Appropriation et individuation : un nouveau modèle pour penser l'éducation et la formation? *TransFormations – Recherches en Education et Formation des Adultes*, 12, 13-38.
- Policard, F. (2014). Apprendre ensemble à travailler ensemble : l'interprofessionnalité en formation par la simulation au service du développement des compétences collaboratives. *Recherche en soins infirmiers*, 117(2), 33-49. <https://doi.org/10.3917/rsi.117.0033>
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies; approche cognitive des instruments contemporains*. Armand Colin.
- Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J. et Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*, 147, 103778. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>
- Sebastian, R. et Krishnamachari, A. (2023). Unlocking the potential of introduction to teaching courses through simulations. *Teaching and Teacher Education*, 133, 104276. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2023.104276>
- Sylla-Iyarreta, M., Pommet, M., Garnier, G. M., Lagarde, N., Khaoulani, S., Hauquier, F., Havet, J. L., Gomez, C., Guiga, W., Gervais, M., Garcia, R., Dewez, S. et Cousquer, C. (2023). CAP'VR, un projet collaboratif pour développer des travaux pratiques immersifs. *L'Actualité Chimique*, 486, 37-85.



- Tricot, A. (2017). *L'innovation pédagogique*. Retz. <https://doi.org/10.3917/retz.trico.2017.01>
- Tricot, A. (2021). Le numérique permet-il des apprentissages scolaires moins contraints? Une revue de la littérature. *Éducation et Sociétés*, 45(1), 37-56. <https://doi.org/10.3917/es.045.0037>
- Visser, W. (2002). Conception individuelle et collective. Approche de l'ergonomie cognitive [Individual and Collective Design. The Cognitive-Ergonomics Approach]. Dans *Cognition et création. Explorations cognitives des processus de conception*. Mardaga.
- Wittorski, R. (2022). Professionnalisation. Dans A.Jorro (dir.), *Dictionnaire des concepts de la professionnalisation* (vol. 2, p. 333-336). De Boeck Supérieur. <https://doi.org/10.3917/dbu.jorro.2022.01.0333>

Abstract / Resumen / Resumo

Pedagogical engineering and emerging technologies: Challenges and levers for action identified in the design of Immersive and Interactive Digital Teaching Twins

ABSTRACT

Digital Educational Twins (DETs) are virtual environments for human learning (VEHLs) that open up new perspectives in educational design, bringing them closer to the professional realities of engineers. A digital twin is a digital replica of an existing industrial or physical object or system, which can be equipped with operating tools to understand, analyze and predict the functioning and control of the real entity. It can become a teaching tool. The integration of DETs as a new virtual learning environment involves pedagogical design work aimed at creating instrumented learning situations. This article focuses on the collaborative pedagogical design work carried out by pedagogical engineers, teacher-researchers and IT developers as part of the JENII project (ANR-21-DMES-0006). The research data are derived from thirteen semi-structured interviews with project participants, three interviews with pedagogical engineers and observation of three pedagogical scenario design meetings using DETs. The results provide a better understanding of the collaborative design of pedagogical devices, identify new players around the emerging technology of DETs and highlight levers for action to optimize pedagogical engineering with emerging technologies.

Keywords: engineering education, virtual environment for human learning (VHEL), digital twins, pedagogical engineering, collaborative design



Ingeniería pedagógica y tecnologías emergentes: retos y palancas de actuación identificados en el diseño de Gemelos Digitales de Enseñanza Inmersiva e Interactiva

RESUMEN

Los gemelos digitales de enseñanza (GDE) son entornos virtuales para el aprendizaje humano (EVAH) que abren nuevas perspectivas en materia de diseño educativo para acercarse a las realidades profesionales de los ingenieros. El gemelo digital es una réplica digital de un objeto o sistema industrial o físico existente, que puede equiparse con herramientas operativas para comprender, analizar y predecir el funcionamiento y control de la entidad real. Puede convertirse en una herramienta pedagógica. La integración de los GDE, como nuevo entorno virtual de aprendizaje, implica un trabajo de diseño pedagógico destinado a crear situaciones de aprendizaje instrumentadas. Este artículo examina el trabajo de diseño pedagógico realizado de forma colaborativa por ingenieros pedagógicos, profesores-investigadores y desarrolladores informáticos en el marco del proyecto GDEII (ANR-21-DMES-0006). Los datos de la investigación se basan en trece entrevistas semiestructuradas realizadas a participantes en el proyecto, tres entrevistas a ingenieros pedagógicos y la observación de tres reuniones para diseñar escenarios educativos utilizando GDE. Los resultados permiten comprender mejor el diseño colaborativo de dispositivos educativos, identificar a los nuevos actores implicados en la tecnología emergente de los GDE y poner de relieve las palancas de actuación para optimizar la ingeniería educativa con tecnologías emergentes.

Palabras clave: formación de ingenieros, entorno virtual para el aprendizaje humano (EVAH), gemelos digitales, ingeniería educativa, diseño colaborativo



Engenharia pedagógica e tecnologias emergentes: desafios e pistas de ação identificados na concepção de Pares Didáticos Digitais Imersivos e Interativos

RESUMO

Os gémeos educativos digitais (DET) são ambientes virtuais de aprendizagem humana (VHE) que abrem novas perspectivas em termos de concepção pedagógica, aproximando-os da realidade profissional dos engenheiros. O gémeo digital é uma réplica digital de um objeto ou sistema industrial ou físico existente, que pode ser equipado com ferramentas operacionais para compreender, analisar e prever o funcionamento e o controle da entidade real. Pode tornar-se uma ferramenta didática. A integração dos NEJ, enquanto novo ambiente virtual de aprendizagem, implica um trabalho de concepção pedagógica destinado a criar situações de aprendizagem instrumentadas. Este artigo analisa o trabalho de concepção pedagógica realizado de forma colaborativa por engenheiros pedagógicos, professores-investigadores e programadores de TI no âmbito do projeto JENII (ANR-21-DMES-0006). Os dados da investigação baseiam-se em treze entrevistas semi-estruturadas com participantes no projeto, três entrevistas com engenheiros pedagógicos e na observação de três reuniões de concepção de cenários educativos com recurso a JNE. Os resultados permitem uma melhor compreensão da concepção colaborativa de dispositivos educativos, identificam os novos intervenientes na tecnologia emergente dos JNE e destacam as alavancas de ação para otimizar a engenharia educativa com tecnologias emergentes.

Palavras-chave: ensino de engenharia, ambiente virtual de aprendizagem humana (VHEL), gémeos digitais, engenharia educativa, concepção colaborativa