



Méthode d'analyse et de modélisation des environnements personnels d'apprentissage

► **Joris FELDER** (Université de Fribourg)

■ **RÉSUMÉ** • Cette contribution méthodologique fournit au chercheur ou à l'ingénieur pédagogique désireux d'étudier ou d'exploiter les environnements personnels d'apprentissage (EPA) une méthode pour les analyser et les modéliser. Par une démarche de recherche-développement, un modèle générique et un langage de modélisation des EPA ont été conçus en visant les critères de qualité suivants : expressivité des instances d'EPA figurées par la modélisation, simplicité d'interprétation par les apprenants, portée ontologique, pragmatisme d'usage comme méthode de recherche et comme outil d'ingénierie pédagogique. La méthode a été développée dans le cadre d'une recherche longitudinale auprès de 15 étudiants universitaires, pour laquelle nous avons modélisé 60 instances d'EPA. Nous l'illustrons par un cas d'application et nous discutons sa qualité, ses limites et ses perspectives.

■ **MOTS-CLÉS** • Environnement personnel d'apprentissage, modélisation, méthode d'analyse

■ **ABSTRACT** • *This methodological contribution provides the researcher or educational engineer interested in studying or exploiting personal learning environments (PLE) with a method for analyzing and modeling them. Through a research-development approach, a generic model and an PLE modeling language were designed with the following quality criteria in mind: Expressiveness of PLE instances represented by the modeling, simplicity of interpretation by learners, ontological significance, pragmatism of use as a research method and as an educational engineering tool. The method was developed through a longitudinal study with 15 university students for which we modeled 60 instances of PLEs. We illustrate it with an application case and discuss its quality, limitations and perspectives.*

■ **KEYWORDS** • *Personal learning environment, modelling, analysis method*

1. Introduction

Cette contribution a pour but de fournir des concepts, une méthode et des instruments pour analyser et modéliser les environnements personnels d'apprentissage (EPA). Elle s'adresse au chercheur, à l'ingénieur pédagogique, à l'enseignant et à l'apprenant désireux d'exploiter ou d'étudier le concept d'EPA. S'il existe différentes conceptualisations de l'EPA (Henri, 2014), nous l'abordons ici comme une réalité subjective au sens donné par Väljataga et Laanpere (2010), c'est-à-dire comme la représentation que se fait l'individu de l'ensemble de ses instruments et de son projet d'apprentissage. Cette conceptualisation est vue comme une opportunité de renouveler la compréhension de l'apprenant d'aujourd'hui (Charlier, 2017 ; Felder, 2017 ; Henri, 2014 ; Heutte, 2014 ; Roland et Talbot, 2014) dans une « écologie d'usages » des instruments (Poizat et Durand, 2017, p. 37). Afin de saisir ce phénomène, des recherches sont menées pour comprendre sa nature, son émergence, ses tensions, ou encore ses effets sur l'individu, le dispositif d'apprentissage et la production et la transmission des savoirs. D'autres démarches de conception, d'enseignement ou de recherche consistent à exploiter le concept d'EPA comme une stratégie pédagogique – voire comme un dispositif – dans des situations d'enseignement-apprentissage visant à rendre l'apprenant plus autonome. Que l'on recoure à l'EPA dans une approche de recherche, dans des démarches pédagogiques ou de conception, les acteurs de la formation que sont les chercheurs, les développeurs, les enseignants et les apprenants ont besoin d'une instrumentation, c'est-à-dire de « concepts, méthodes et instruments d'analyse de l'activité propre et de celle d'autrui. » (Poizat et Durand, 2017, p. 36). Il s'agit d'être en mesure de capter et de rendre perceptible cet EPA qui diffère d'un individu à l'autre, qui évolue constamment et qui n'est, pour l'essentiel, pas visible.

Or, il s'avère que la recherche scientifique peine encore à concevoir, implémenter et évaluer une telle instrumentation. Une approche explorée par la recherche¹, consiste à modéliser les EPA et à les représenter visuellement, par l'apprenant lui-même (Felder, 2017 ; Mailles-Viard Metz *et al.*, 2017 ; Wilson *et al.*, 2015) ou par le chercheur (Roland et Talbot, 2014 ; Martinlade et Dowdy, 2016 ; Schaffert et Kalz, 2010). Ces approches n'utilisent aucun formalisme ou langage de modélisation formalisé. Les

¹ Mais aussi par des enseignants et des apprenants: pour un aperçu, rechercher « EPA » ou « PLE » dans un moteur de recherche.

modèles d'instance d'EPA ainsi obtenus recourent à des modes de représentations variés – textes, dessins, nombres ou flèches – dont l'expressivité sémantique et conceptuelle (Maisonasse *et al.*, 2010) n'est généralement pas explicitée. En conséquence, ces modélisations ne sont comparables et analysables que de manière très limitée. Le sens des éléments présents dans les modèles est sujet à une interprétation hasardeuse et peu intelligible pour les acteurs non-experts. Finalement, les méthodes de recherche ne sont pas reproductibles, ce qui pose des problèmes de validité scientifique, mais aussi de capitalisation de la recherche.

Fort de ces constats, nous avons mené une recherche-développement visant à concevoir une méthode d'analyse et de modélisation des EPA. Pour ces développements, nous avons fixé les quatre critères de qualité suivants: 1) pragmatisme d'usage comme méthode de recherche et comme outil d'ingénierie pédagogique, 2) expressivité des instances d'EPA figurées par la modélisation, 3) simplicité d'interprétation par les apprenants, 4) portée ontologique des modèles. Au terme de nos développements, la méthode de modélisation des environnements personnels d'apprentissage (MEPA) se réalise en cinq étapes qui exploitent ses deux composantes: un modèle générique de l'EPA et un langage de modélisation des EPA. La première composante formalise les concepts et les liens sémantiques utiles à l'analyse et à l'interprétation des EPA. La deuxième est un système de symboles permettant de modéliser les données avec un haut niveau d'expressivité, en fournissant plusieurs points de vue sur les données.

Dans la suite de cet article, nous exposons la démarche de recherche-développement que nous avons suivie. Puis nous présentons la méthode MEPA et ses deux composantes. Nous illustrons son application à partir de données collectées auprès d'un étudiant universitaire. Avant de conclure, nous discutons des limites et des perspectives de la méthode présentée.

2. Démarche de recherche-développement

Dans cette section, nous décrivons tout d'abord la démarche de recherche-développement suivie pour concevoir la méthode MEPA et ses deux composantes. Notre démarche exploite également des outils et des langages qui sont présentés en section 2.2 *Langages et outils*, car ils sont porteurs de sens et contribuent aux résultats de notre recherche.

2.1. Étapes de la recherche-développement

Comme l'illustre la figure 1, notre démarche de recherche-développement procède par des allers-retours successifs entre la littérature, la récolte de données empiriques, la modélisation et la validation intersubjective des modèles d'instance d'EPA produits.

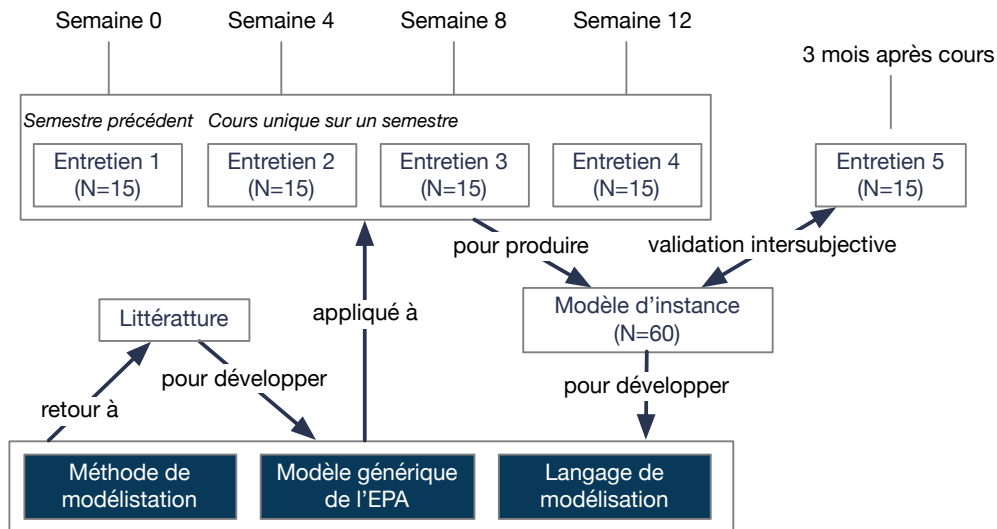


Figure 1 • Démarche de recherche-développement de la méthode MEPA

Nos données empiriques proviennent de 75 entretiens menés avec 15 étudiants universitaires inscrits au même cours de troisième année du programme de Bachelor en psychologie et rencontrés à cinq reprises chacun, au long d'un semestre. Le premier entretien a lieu avant le début du cours. Nous avons cherché à accéder à la représentation que se fait l'étudiant de son EPA lors du semestre précédant la recherche. Les données collectées se réfèrent à différentes situations d'apprentissage et nous ont permis de nous assurer que les développements de cette recherche pourront être appliqués à une large variété de situations d'apprentissage. Les trois entretiens suivants ont eu lieu à intervalles réguliers lors du semestre d'étude. Ils se focalisent sur la situation unique du cours sélectionné. Ainsi, lors du deuxième entretien, nous avons cherché à accéder à la représentation de l'EPA de l'étudiant après la quatrième semaine de cours. Les troisième et quatrième entretiens poursuivent le même objectif, après huit et douze semaines du cours respectivement. Les entretiens ont été retranscrits, afin d'être analysés et de produire quatre modèles d'instance d'EPA pour chacun des 15

étudiants, correspondant à des situations ou des moments différents (N=60).

En parallèle, nous avons développé la méthode MEPA et ses deux composantes. La grille d'analyse catégorielle (L'Écuyer, 1990) découle du modèle générique de l'EPA. Elle a été élaborée selon une approche mixte : certaines catégories sont prédéfinies, d'autres émergent des données. Cette approche nous a amené à retourner à la littérature en cours d'analyse pour développer le modèle générique de l'EPA - et donc par récursivité, la grille d'analyse catégorielle. Dans le même temps, nous avons développé le langage de modélisation des EPA, de manière itérative. Plusieurs essais ont été prototypés avant d'aboutir. Au terme de nos développements, nous avons révisé nos analyses de données et nos modélisations pour aboutir aux 60 modèles d'instances d'EPA.

Enfin, nous avons mené un cinquième entretien afin de procéder à une validation intersubjective d'une partie des modèles d'instances d'EPA. Nous avons choisi de retenir le modèle de chaque étudiant après 12 semaines de cours (N = 15), car ceux-ci étaient les plus riches et complexes. L'entretien s'est déroulé trois mois après l'examen du cours et a permis d'évaluer la portée pragmatique de notre solution. Lors de cet entretien, nous avons présenté à chaque étudiant son modèle d'EPA après 12 semaines de cours. Cette validation intersubjective nous a amené à apporter certains ajustements à notre méthode de modélisation et au langage de modélisation.

2.2. Langages et outils mobilisés

Dans cette section, nous précisons les langages de modélisation et les outils que nous avons retenus pour les développements, car ils sont porteurs de connaissances et concourent aux résultats présentés.

Le langage utilisé pour créer le modèle générique de l'EPA est l'Ontology Web Language (OWL), « un langage du web sémantique développé pour représenter des connaissances riches et complexes à propos de choses, de groupes de choses et de relations entre les choses (...) sous forme d'ontologies » (W3C, 2012). Ce langage permet un raisonnement selon l'hypothèse du monde ouvert : ce n'est pas parce qu'une information n'est pas connue que cette information est fautive. Cette hypothèse est pertinente pour la modélisation de l'EPA lorsqu'il est conceptualisé comme un phénomène subjectif. OWL permet également qu'une même donnée empirique puisse être associée à différents concepts.

De plus, le recours aux ontologies présente une véritable opportunité pour la capitalisation de la recherche sur les EPA. Celle-ci étant pluridisciplinaire et les cadres conceptuels mobilisés multiples, elle doit se doter d'un moyen pour expliciter les relations entre ces concepts. Avec OWL, il est possible de formaliser en quoi des concepts se disjoignent, se complètent, s'unissent ou encore se rejoignent (intersections).

Destiné principalement à être utilisé par des agents informatiques, le langage OWL est textuel et ne prévoit pas d'éléments graphiques pour représenter visuellement le modèle. Afin de faciliter le développement, la communication et l'interprétation de notre modèle générique, nous avons eu recours à l'éditeur G-MOT. Cet éditeur graphique mobilise le langage de modélisation par objet typé (MOT) pour représenter visuellement des ontologies OWL et pour générer une version textuelle exploitable par les agents informatiques (Paquette, 2002). Cette solution permet de formaliser et de représenter les informations syntaxiques et sémantiques conformément à notre conception de l'EPA.

3. Méthode de modélisation des EPA

La méthode MEPA est composée de cinq procédures que l'on pourra suivre de façon linéaire dans le cas d'une recherche ou que l'on pourra opérer en parallèle dans le cas d'une démarche de supervision par exemple.

- **1) Collecte de données.** Cette procédure peut avoir recours à l'entretien, au questionnaire, à l'observation ou à toute autre méthode de récolte de données.

- **2) Analyse de données.** Appliquer la grille d'analyse construite à partir du modèle générique de l'EPA pour catégoriser les données. Il est possible de recourir à une grille simplifiée en utilisant uniquement les concepts de haut niveau. Toutefois, les instances d'EPA générées seront moins expressives.

- **3) Reformulation.** Lorsque c'est nécessaire, reformuler les données pour les rendre intelligibles et intégrables aux éléments visuels lors de la procédure de modélisation suivante. Par exemple, les données collectées par entretien correspondant à un schème d'apprentissage peuvent être volumineuses et éparpillées : il faudra en générer une reformulation condensée.

- **4) Modélisation de l'EPA.** Transposer les données catégorisées et les reformulations vers les éléments graphiques du langage de modélisation. Le processus peut être automatisé, par exemple en combinant les

outils Maxqda pour l'analyse catégorielle (www.maxqda.com), Neo4 pour la gestion des données (www.neo4j.com), yEd pour la production des graphes (www.yworks.com/yed-live/) recourant aux fichiers SVG du langage de modélisation de l'EPA. La démarche peut être faite manuellement à l'aide d'un outil de dessin SVG.

- **5) Validation.** Valider l'EPA modélisé, soit par validation intersubjective avec chacun des sujets, soit par validation inter-chercheurs, soit par le sujet lui-même qui aurait été instruit aux différents concepts du modèle générique de l'EPA.

En préliminaire, on procédera à la description de la situation à laquelle se rapporte la modélisation de l'EPA. Cette description recourt aux concepts du niveau 0 du modèle générique de l'EPA.

4. Modèle générique de l'EPA : première composante de la méthode MEPA

Le modèle générique de l'EPA fournit le cadre conceptuel, sémantique et syntaxique nécessaire à l'analyse (étape 2) et à la modélisation (étape 4) des données collectées. Il sert également à interpréter les modèles d'instances produits. Nous le présentons en suivant son organisation en cinq sous-modèles répartis en trois niveaux.

4.1. Niveau 0 : articulation de l'activité observée, de l'EPA et de sa modélisation

Le niveau 0 du modèle générique de l'EPA est composé d'un modèle (cf. figure 2) qui articule conceptuellement l'activité d'apprentissage observée, l'EPA et sa modélisation.

Système d'activité d'apprentissage. La modélisation d'un EPA s'inscrit dans l'observation d'un système d'activité d'apprentissage au sens d'Engeström (1999). Cette conception systémique de l'activité fournit un cadre pour étudier l'EPA en situant l'apprenant dans un système d'activité d'apprentissage constitué du sujet, de l'objet, des artefacts médiateurs, des règles, de la communauté et de la division de la tâche (Felder, 2017). Dans ce système, le sujet est un apprenant qui construit et régule son EPA, situant l'EPA comme produit de l'activité, au même titre que les apprentissages (*ibidem*).

Projet personnel d'apprentissage. L'objet du système d'activité d'apprentissage observé est la représentation du projet personnel d'apprentissage par l'apprenant, au sens de Väljataga et Laanpere (2010). Dans cette activité, l'apprenant réalise un projet personnel d'appren-

tissage. Il s'agit d'un projet d'action à conduire dont l'acteur fait un usage opératoire, c'est-à-dire qu'il « cherche à développer la maîtrise au moins partielle d'une action gouvernée par un souci d'efficacité » (Boutinet, 2002, p. 223). Ce projet n'est pas forcément conscientisé ni intentionnel pour autant, mais peut l'être ou le devenir.

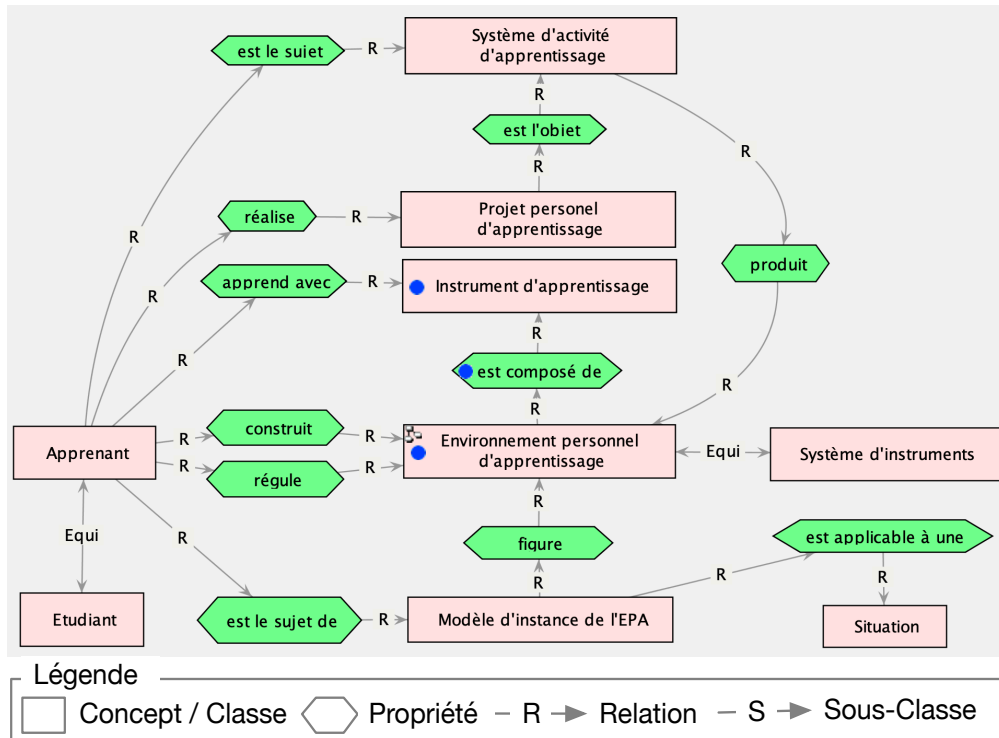


Figure 2 • Modèle générique de l'EPA : niveau 0

Instrument d'apprentissage². Dans ce système d'activité d'apprentissage, l'apprenant apprend avec des instruments d'apprentissage. À l'instar de nombreux auteurs, nous retenons la conception de l'instrument d'apprentissage au sens de l'approche instrumentale de (Charlier, 2014 ; Felder, 2017 ; Fluckiger, 2014 ; Rabardel, 1995 ; Roland et Talbot, 2014). Cette approche anthropocentrée permet « une réflexion théorique et un examen empirique des relations hommes-systèmes techniques centrées sur l'homme, vues du point de vue de celui-ci lorsqu'il est engagé dans des activités et des actions réelles, situées dans leurs contextes au travail, en formation ou dans la vie quotidienne »

² Lorsqu'un même élément se trouve sur plusieurs sous-modèles, le logiciel MOT marque d'une pastille bleue l'élément de référence et d'une pastille rouge l'élément référencé.

(Rabardel, 1995, p. 31). Il s'agit d'une analyse basée sur la représentation que se font les sujets eux-mêmes de leur environnement, approche cohérente avec la conceptualisation de l'EPA exprimée ci-dessous.

Environnement personnel d'apprentissage. Ce modèle générique de l'EPA s'appuie sur le postulat de Väljatage et Laanpere (2010) que nous avons repris (Felder, 2017) et qui considère que l'EPA est la représentation que se fait un individu de ses instruments d'apprentissage et de son projet d'apprentissage. Selon cette conceptualisation, l'EPA est une réalité subjective (Henri, 2014).

Modèle d'instance de l'EPA. Dans l'observation de ce système d'activité d'apprentissage dont l'apprenant est le sujet, la modélisation se focalise sur l'environnement personnel d'apprentissage. Chaque modèle d'instance de l'EPA est applicable à une situation d'apprentissage. Ainsi, la modélisation de l'EPA de l'étudiant est à comprendre en relation avec la représentation que l'étudiant se fait de son projet personnel d'apprentissage, qui sera de fait plus ou moins distinct du projet d'apprentissage conçu par les concepteurs du dispositif de formation.

4.2. Niveau 1 : l'EPA composé d'instruments constitués d'un schème et d'artefacts

Le niveau 1 du modèle générique de l'EPA est composé d'un sous-modèle (cf. figure 3) qui étend la définition de l'EPA comme un système d'instruments d'apprentissage exposée au niveau 1, en précisant qu'un instrument est constitué d'un schème et de quatre types d'artefacts.

Un EPA composé d'instruments d'apprentissages. Selon Rabardel, «un même schème d'utilisation peut s'appliquer à une multiplicité d'artefacts (...) inversement, un artefact est susceptible de s'insérer dans une multiplicité de schèmes d'utilisation qui vont lui attribuer des significations et des fonctions différentes.» (Rabardel, 1995, p. 4). L'artefact renvoie, dans une acception très large, aux produits transformés par l'activité humaine, qu'ils soient matériels, immatériels (numériques) ou symboliques. Dans le champ des EPA, Nieto et Dondarza se réfèrent à l'expression d'artefact digital pour des artefacts aussi divers que «des vidéos, des infographies, des présentations, des activités interactives et des tâches de tous types», «des applications, des outils et des services» (Nieto et Dondarza, 2016, p. 51). Dans de nombreux articles (Aladjem et Nachmias, 2013; Caron *et al.*, 2014; Denis et Joris, 2013; Hoehsmann et DeWaard, 2015), le terme d'artefact renvoie dans ces

textes autant à l'artefact utilisé (l'outil de traitement de texte, l'outil de création de présentation, etc.) qu'à l'artefact produit (le texte, la présentation, l'image, etc.) par l'apprenant dans son activité d'apprentissage.

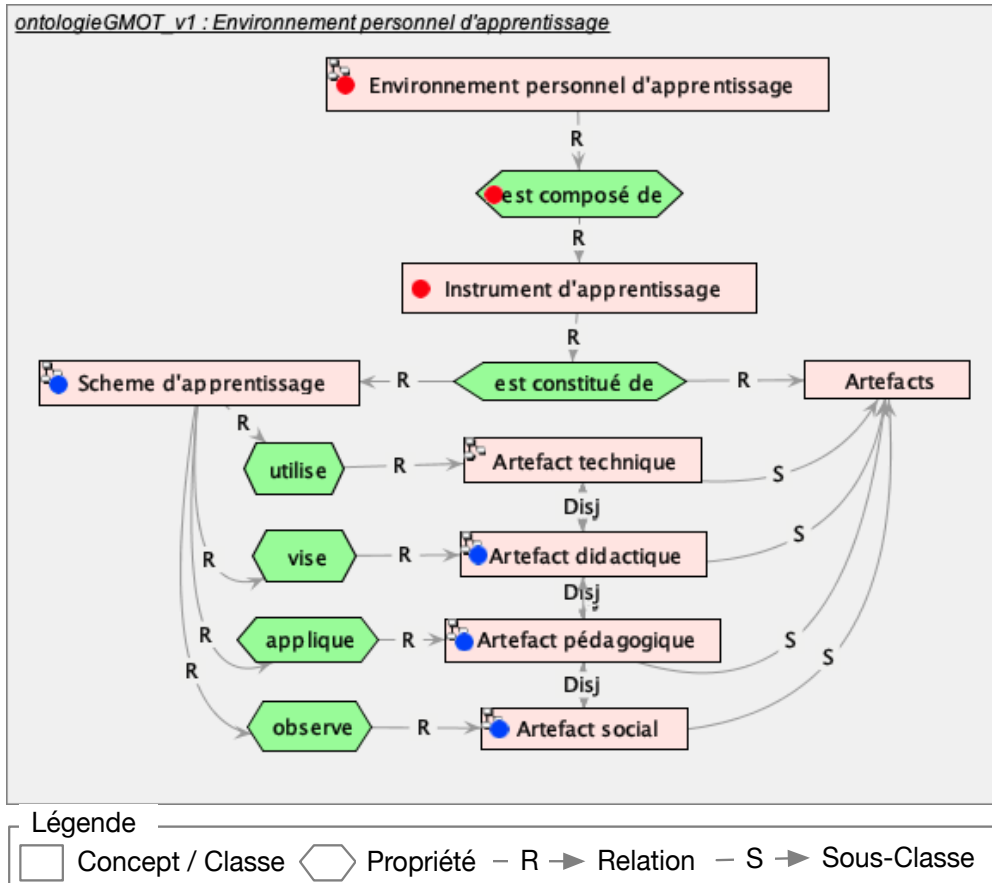


Figure 3 • Modèle générique de l'EPA : système d'instruments

Quatre sortes d'artefacts. Selon Marquet (2005), l'activité d'apprentissage instrumentée entremêle trois sortes d'artefacts (lien S sur la figure 3) - artefact technique, artefact didactique, artefact pédagogique - auxquels nous avons ajouté l'artefact social (Felder, 2014, 2017). Les définitions de ces concepts sont détaillées plus loin, pour nous concentrer ici sur leur articulation sémantique. La reconnaissance de cet entremêlement doit permettre de dépasser la seule observation des outils non intégrés et de percevoir l'EPA comme un système d'instruments. Au niveau sémantique, ce modèle propose que, dans son instrumentation et au travers d'un schème d'apprentissage, l'étudiant *utilise* un artefact technique, *vis* l'apprentissage d'un artefact didactique, *applique* un artefact pédagogique pour apprendre et *observe* un artefact social.

Schème d'apprentissage. Eu égard à la distinction de quatre sortes d'artefacts, l'expression *schème d'utilisation* ne paraît pas cohérente. C'est pourquoi l'expression *schème d'apprentissage* est proposée pour désigner « le canevas général qui peut se reproduire en des circonstances différentes et donner lieu à des réalisations variées » (Rabardel, 1995, p. 74). Cette distinction exprime la complexité de l'apprentissage au-delà de la seule utilisation de l'artefact technique. Elle permet de considérer par exemple les artefacts didactiques en l'exprimant avec un syntagme spécifique : [schème d'apprentissage]→[visé]→[artefact didactique].

4.3. Niveau 2 : modèles des instruments d'apprentissage

Le niveau 2 du modèle générique de l'EPA est composé de trois sous-modèles : l'artefact didactique (4.3.1), l'artefact pédagogique (4.3.2) et l'artefact social (4.3.3).

4.3.1. Modèle de l'artefact didactique

L'expression *artefact didactique* est utilisée pour désigner « les objets disciplinaires enseignés » (Marquet et Leroy, 2004, p. 2) et « les connaissances structurées » (Vázquez-Cano, 2016, p. 67-68). Ainsi, ce sous-modèle (cf. figure 4) précise l'artefact didactique par deux sous-concepts : celui de connaissance et celui de compétence cible.

L'articulation des connaissances et des compétences ainsi que leur déclinaison en une typologie de compétences et de connaissances sont issues de la Méthode d'Ingénierie des Systèmes d'Apprentissage (MISA) (Paquette, 2002). Selon cet auteur, une compétence est la capacité à mobiliser une habileté par rapport à une connaissance. L'habileté peut s'appliquer à une ou plusieurs connaissances. La typologie recourt à dix « sortes » d'habiletés principales (liens S sur la figure 4) dont certaines sont déclinées en habiletés plus précises. Les connaissances sont de quatre sortes. Ces habiletés et compétences sont listées dans la figure 4.

Enfin, ce sous-modèle comporte un lien avec le sous-modèle de l'artefact pédagogique par l'intermédiaire du concept « forme de représentation des informations ». Ce dernier n'est pas un artefact didactique (absence de lien « S »). Sa présence dans ce sous-modèle exprime qu'une connaissance (artefact didactique) visée est *représentée sous une forme de représentation des informations* (artefact pédagogique) ou son équivalent, une *forme de médiatisation des connaissances*.

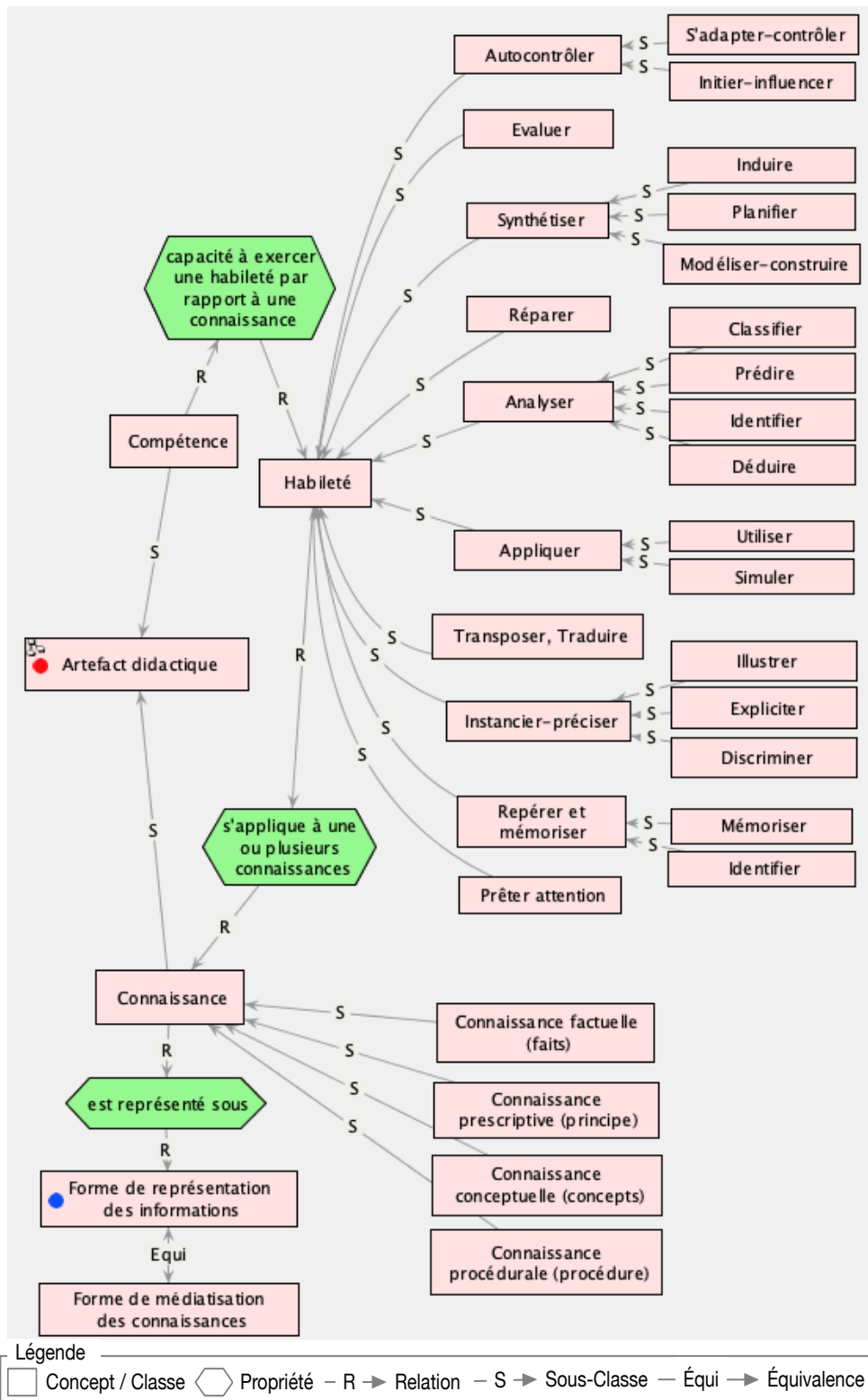


Figure 4 • Modèle générique de l'EPA : artefact didactique

4.3.2. Modèle de l'artefact pédagogique

Le sous-modèle de l'artefact pédagogique (cf. figure 5) recourt à la typologie de stratégies cognitives et métacognitives de Bégin (2008). Au moment de sa revue de la littérature, il existe selon cet auteur six sortes de stratégies cognitives de traitement de l'information : sélectionner, repérer, décomposer, comparer, élaborer, organiser. Les stratégies cognitives d'exécution sont au nombre de quatre : évaluer, vérifier, produire, traduire (vulgariser). Les stratégies métacognitives sont, selon Bégin, de deux sortes : anticiper et s'auto-réguler.

Dans ce sous-modèle, nous utilisons encore l'expression « forme de représentation des informations » pour désigner « les objets médiateurs du savoir (...) comme le langage, les formalismes et les techniques visuo-figuratives, les mnémotechniques » (Marquet et Leroy, 2004, p. 3) ou des ressources (Trouche, 2005). Cette sorte d'artefact pédagogique est relié avec le modèle de l'artefact didactique. Par exemple, il correspond à des éléments tels qu'un article scientifique, un tableau, une animation, un enregistrement audio, une note personnelle, ou encore un résumé.

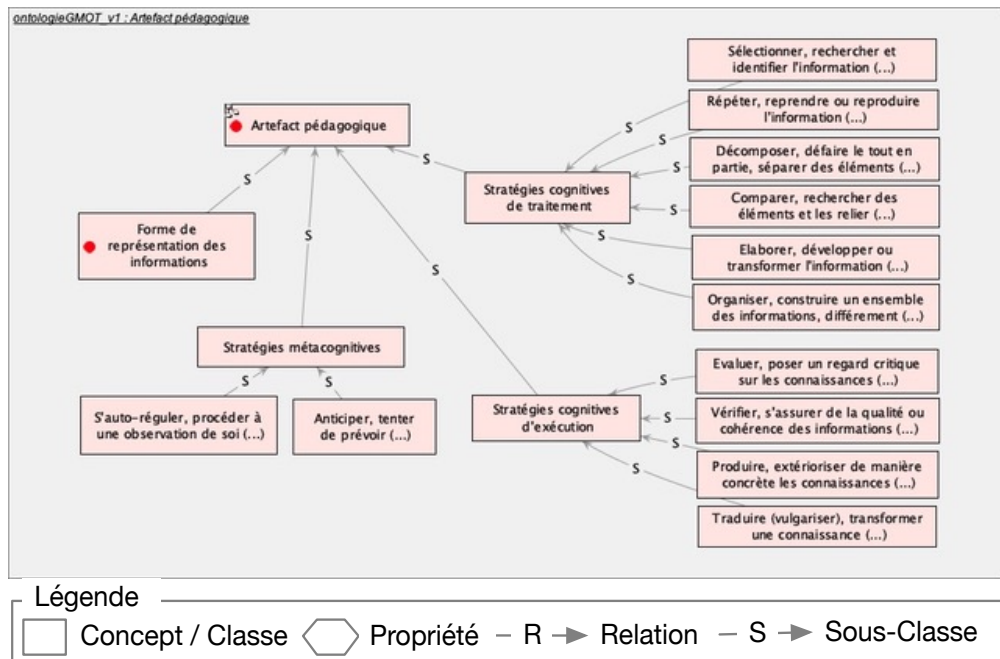


Figure 5 • Modèle générique de l'EPA : artefact pédagogique

4.3.3. Modèle de l'artefact social

Le concept d'artefact social est vu dans le champ des sciences des systèmes d'information comme l'ensemble des interactions ou des relations entre les individus et les objets sociaux persistants tels que les institutions, les rôles, les lois ou les interactions uniques telles que les décisions (Vartiainen et Tuunanen, 2016, p. 1268) (notre traduction). Alter (2015) rappelle, à la suite de Guarino, Bottazzi, Ferrario et Sartor, que « dans les systèmes sociotechniques complexes, les artefacts sociaux sont des normes et des institutions déterminant ce qui doit être fait et gouvernant les obligations, les buts, les pouvoirs » (Guarino *et al.*, 2012, p.2). L'auteur exprime la difficulté de distinguer l'artefact social de l'artefact technique, car tout artefact créé par l'homme contient obligatoirement une dimension sociale. Cependant, la conceptualisation de l'instrument d'apprentissage exprime cette imbrication du social avec le technique ou encore du pédagogique avec le didactique (cf. figure 6).

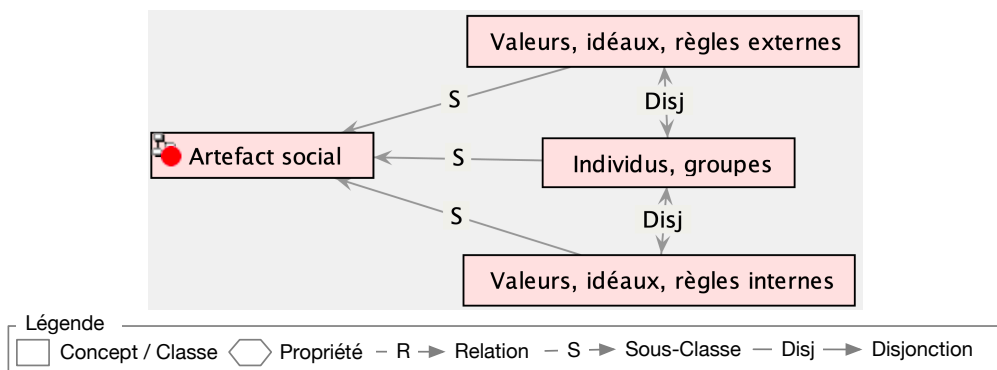


Figure 6 • Modèle générique de l'EPA : artefact social

5. Langage de modélisation des EPA, deuxième composante de la méthode MEPA

Dans cette partie, nous présentons le langage de modélisation des EPA. Il s'agit d'un système de formalismes et de symboles graphiques (cf. figure 7) qui est en relation avec une sélection de concepts du modèle générique de l'EPA. Ce langage résulte d'une hybridation du langage MOT, du modèle générique de l'EPA et d'attributs graphiques que nous avons conçus. Au total, ce langage de modélisation des EPA est composé de 42 éléments et 4 sortes de liens (cf. figure 8).

Symboles relatifs au niveau 1 du modèle générique. Le langage de modélisation des EPA a pour but de représenter l'EPA comme un système d'instruments, tel que formalisé au niveau 1 du modèle générique de l'EPA. Le système de symboles (cf. figure 7) recourt à la forme ovale pour figurer un schème et à la forme rectangulaire pour figurer un artefact. Quatre couleurs distinguent ensuite les sortes d'artefacts : le vert correspond à l'artefact didactique ; l'orange à l'artefact pédagogique ; le bleu à l'artefact technique ; et le violet à l'artefact social. La couleur jaune est associée au schème d'apprentissage en redondance à la forme ovale. Aussi, quatre flèches servent à relier le schème d'apprentissage aux quatre types d'artefacts, afin d'exprimer le concept d'instrument d'apprentissage. Les labels des flèches renvoient aux liens sémantiques entre concepts tels qu'exprimés dans le modèle générique (*voit* un artefact didactique, *utilise* un artefact technique, *applique* un artefact pédagogique, *observe* un artefact social).

Symboles relatifs au niveau 2 du modèle générique. En relation aux sous-modèles de niveau 1 du modèle générique de l'EPA, huit symboles distinguent les classes principales des quatre types d'artefacts. Un label en haut de la forme renvoie aux différents items de haut niveau des typologies décrites dans le modèle générique de l'EPA. Un label au bas de la forme renvoie aux items de bas niveau de ces typologies. Au centre, est réservé un emplacement pour inscrire la représentation de l'étudiant dans une forme succincte.

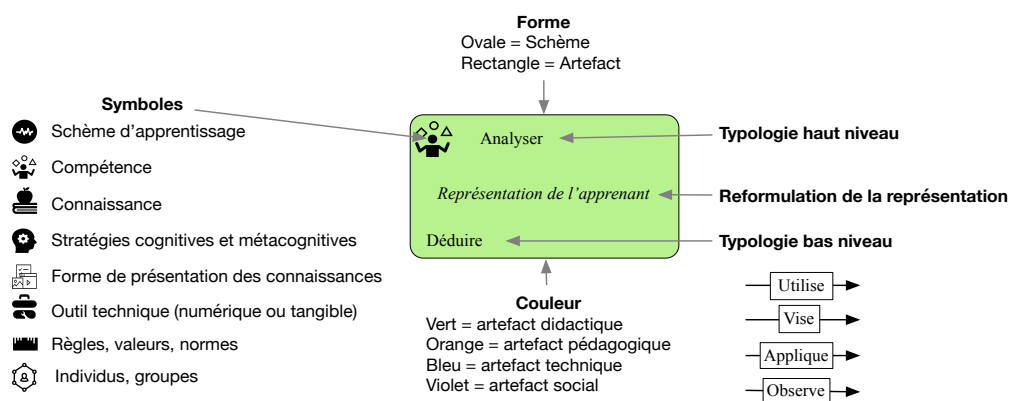


Figure 7 • Système de symboles du langage de modélisation des EPA

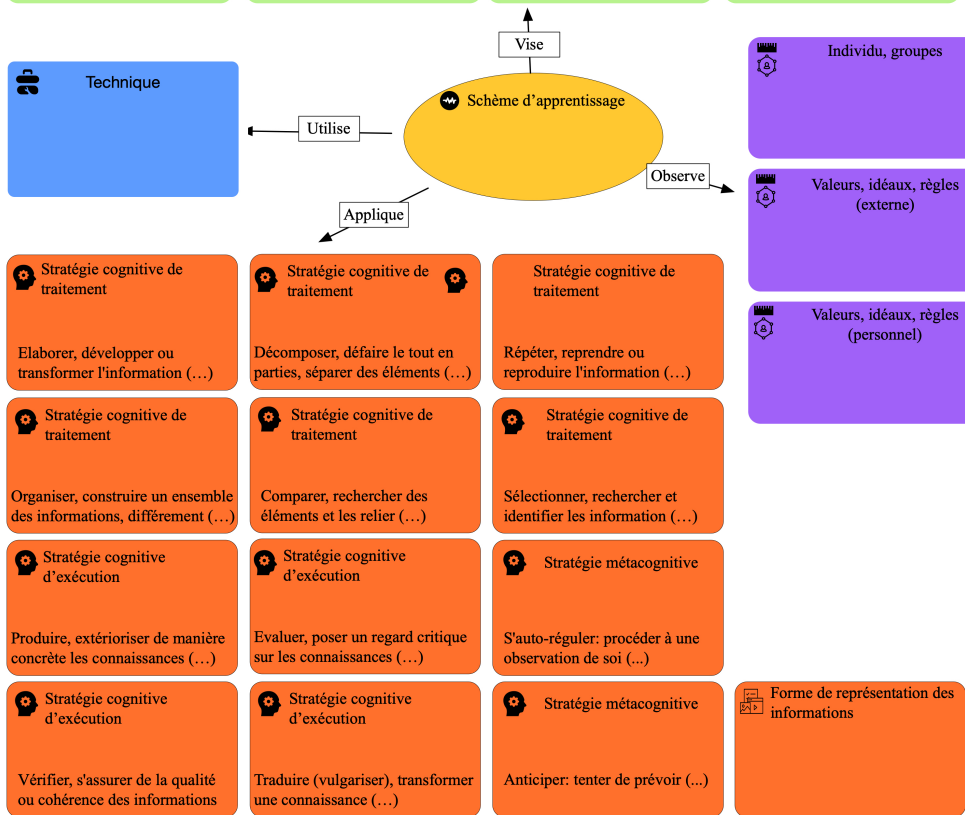


Figure 8 • Les éléments du langage de modélisation des EPA

6. Application de la méthode MEPA

Nous appliquons ici la méthode MEPA à partir d'un jeu de données collectées (procédure 1) dans le cadre de notre recherche-développement auprès de l'étudiant 13, après 12 semaines de cours de psychologie cognitive du langage. Ce cas est choisi comme exemple pour sa qualité d'illustration, afin d'éclairer la méthode MEPA. Nous décomposons la démonstration de la modélisation en cinq étapes, qui incrémentent tour à tour de nouveaux éléments: le schème et les artefacts techniques, les artefacts pédagogiques, les artefacts didactiques, les artefacts sociaux. Ces étapes mettent en œuvre et répètent les procédures 2 à 4 de la méthode MEPA exposées plus haut. Selon notre expérience, il s'avère en effet pragmatique et efficace de rassembler l'ensemble des données (procédure 1) puis de répéter les procédures 2 à 4 selon les étapes ci-dessous, et, finalement, de procéder à la validation intersubjective de l'ensemble du modèle d'EPA produit. Par ailleurs, nous proposons un commentaire au cours de l'application de cette méthode, pour tenter d'initier quelques réflexions manifestant de l'utilité de la modélisation des EPA.

Verbatim analysé : étudiant 13 (extrait)

Là, c'est sur les stéréotypes et les genres. Je sais plus le nom exact (...). L'article, il y a une étape sur ordi, sur aperçu. Sur l'article même j'ai mis des mots-clés, j'ai souligné. Et après ça je suis revenu sur l'article pendant que je résumais. Je relisais le bout, je résumais, j'allais au prochain. Puisqu'ils [les chapitres] étaient par groupe en fait. Par mots-clés, introduction, méthode. Donc c'était une manière qui allait bien en même temps. Parce que sur l'écran je mettais Aperçu et Word. Et du coup je lisais tout ce que j'avais déjà lu et annoté. Plus je relisais une fois et là j'écrivais tout ce que j'avais besoin d'écrire. (...) Là j'ai fait avec la méthode Cornell. Je ne fais pas toujours comme ça. Mais ça allait bien sur le moment. Je n'ai pas forcément une façon de prendre les notes. (...) Là j'ai pris un cahier exprès pour ça. Pragmatique. J'ai directement mis le nom de l'article, le nom de la personne qui a écrit l'article, ce que je pensais être important. Je mets le nom de l'expérience, le nom des auteurs et puis je décris, enfin vraiment les gros mots-clés qui apparaissent dans l'expérience (...) Le plus rapide si c'est une phrase complète que je ne comprends en anglais pas parce qu'il y a un terme je ne suis pas sûr dedans et que ça peut changer tout le contexte de la phrase, j'utilise Google Translate. Même si ce n'est pas forcément un bon outil de

traduction, généralement ça donne une bonne idée de ce que ça pourrait être. Et puis vraiment si j'ai un gros doute, le dictionnaire anglais-français en ligne. Et on se partage les résumés sur le Google Drive. Il y a des gens qui ne voulaient pas partager les résumés avec ceux qui n'avaient pas participé aux résumés, c'est pour ça qu'il y a eu un Google Drive plutôt que sur la Dropbox où il y a tout le monde qui peut aller chercher.

Étape 1 : identifier un schème et les artefacts techniques (figure 9)

Il faut tout d'abord identifier un schème d'apprentissage en répondant à la question « Que fait l'apprenant pour apprendre ? ».

À partir du verbatim qui précède, le modélisateur évalue à quel niveau de précision il souhaite situer la modélisation. Les données récoltées sont reformulées pour les rendre intelligibles, tout en veillant à rester fidèle aux mots de l'étudiant.

Ainsi, dans la figure 9, l'ellipse réfère au concept de schème d'apprentissage et contient la représentation que s'en fait l'étudiant : « Je lis deux articles. Je les annote. Je fais un résumé. Je partage mon travail avec l'équipe ».

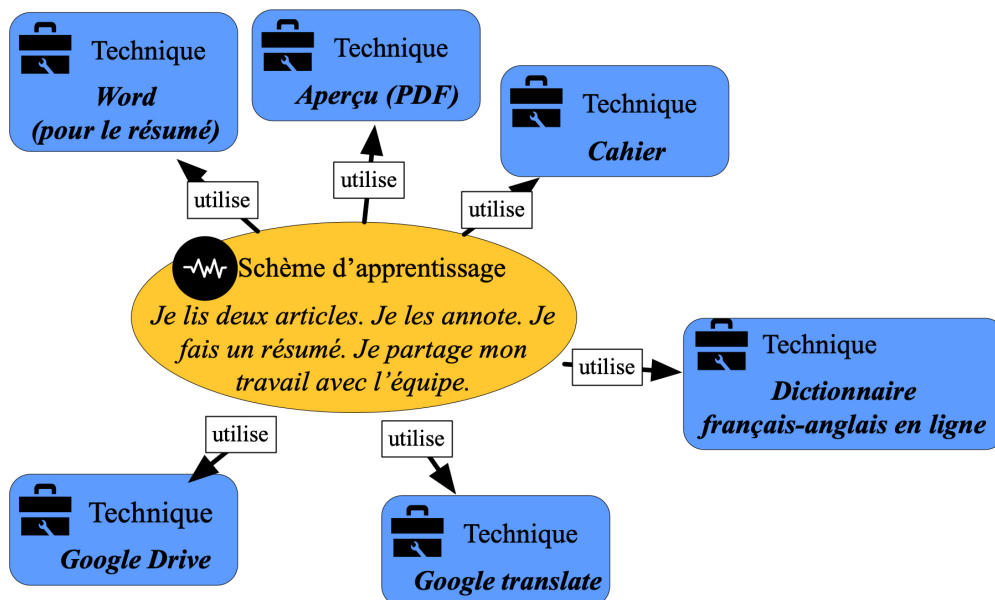


Figure 9 • Modélisation de l'EPA - étape 1

Le schème étant désormais identifié et situé, il devient possible de faire de même avec les artefacts techniques rattachés à ce schème en se posant la question « Qu'est-ce que l'apprenant utilise pour apprendre ? ». Dans notre cas, ce dernier indique qu'il utilise le lecteur de documents Aperçu (Systèmes Mac) pour lire les fichiers PDF, le logiciel Word, Google translate, un cahier, et Google Drive. Ces outils sont représentés dans un rectangle référant au concept d'artefact bleu technique et une flèche avec le label « utilise » est tracée entre le schème et l'artefact. L'ensemble réfère au concept d'instrument.

Étape 2 : identification des artefacts pédagogiques de l'instrument (figure 10)

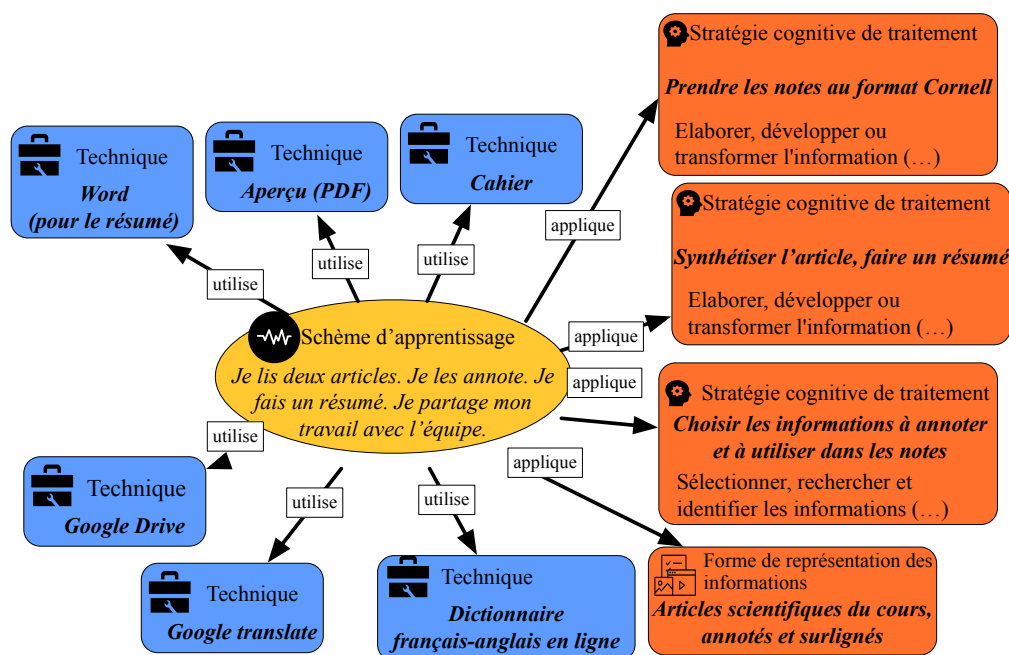


Figure 10 • Modélisation de l'EPA - étape 2

Pour être en mesure de représenter et d'analyser les EPA plus finement, il est nécessaire de dépasser la dimension technologique de l'instrument. Pour ce faire, il faut d'abord se demander « À quelle forme de représentation d'information l'instrument s'applique-t-il ? ». Nous repérons dans ce cas qu'il s'agit d'articles scientifiques fournis dans le cours. Ensuite, on cherche à savoir « Quelle opération mentale l'étudiant applique-t-il ? » pour identifier les stratégies cognitives et métacognitives. Du corpus ci-dessus, nous notons que l'étudiant fait la sélection des informations à

annoter et à surligner ; qu'il prend des notes au format Cornell ; puis qu'il revoit l'article et rédige un résumé. En recourant aux éléments du langage de modélisation, nous pouvons associer ces trois opérations respectivement aux stratégies cognitives de traitement *sélectionner, rechercher et identifier les informations (...)* et *élaborer, développer ou transformer l'information*. Ce faisant, nous constatons que cette dernière stratégie est mise en œuvre par cet apprenant selon deux modalités différentes.

Soulignons que la forme de représentation des informations évolue au cours de l'activité d'apprentissage : ce sont d'abord des articles ; ils deviennent des articles annotés. Finalement, l'apprenant fait un résumé puis prend des notes à partir de son résumé. Si nous avons choisi de modéliser cet ensemble comme un seul instrument, il serait possible de procéder à une modélisation plus fine.

Commentaire : on peut dès lors s'interroger sur la raison menant l'étudiant à entreprendre deux actions de même type et à la pertinence de celle-ci. Est-ce le degré de difficulté de l'article qui l'a poussé à le traiter en deux étapes similaires au niveau cognitif ? Pourrait-il se contenter de traiter l'article scientifique en prenant des notes au format Cornell ? Lui sera-t-il plus aisé par la suite de continuer à apprendre à partir des notes Cornell ou du résumé ?

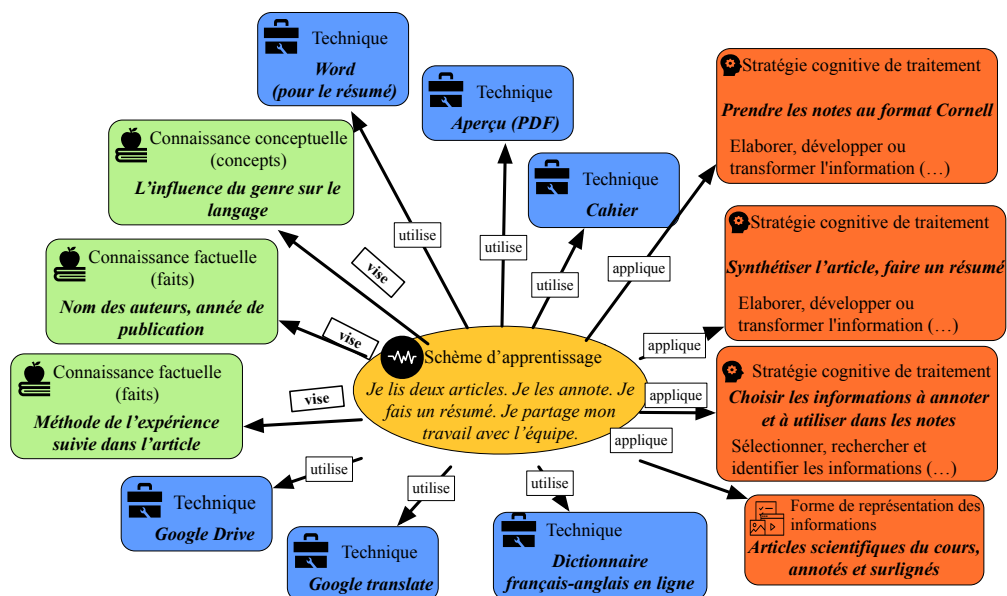


Figure 11 • Modélisation de l'EPA - étape 3

Étape 3 : identification des artefacts didactiques de l'instrument (figure 11)

À cette étape, il faut se demander « Quels objectifs et compétences l'étudiant vise-t-il ? » pour identifier les artefacts didactiques. Du corpus ci-dessus, nous constatons que selon la représentation de l'étudiant, son objectif est d'acquérir des connaissances relatives aux concepts des stéréotypes et du genre³, de retenir le nom de l'auteur et la date de l'article, de comprendre (retracer) le déroulement de l'expérience scientifique relatée dans l'article. En recourant aux éléments du langage de modélisation, nous pouvons associer le premier objectif aux connaissances conceptuelles et les deux derniers aux connaissances factuelles.

Commentaire : cet instrument pourrait-il être modifié afin d'apprendre d'autres concepts et faits ? Comment aider l'étudiant à prendre conscience des compétences qu'il développe ?

Étape 4 : identification des artefacts sociaux de l'instrument (figure 12)

À cette étape, il faut se demander « quels individus ou groupes - quels principes, règles, valeurs externes et personnels - l'étudiant observe ? » pour identifier les artefacts sociaux de l'instrumentation. Dans le corpus de ce cas, nous constatons qu'il apprend en collaboration avec un groupe d'étudiants et qu'il observe le principe d'une répartition équitable du travail tout en se conformant au principe d'informer les membres du groupe en cas de doute quant à la qualité de son travail.

Commentaire : que produirait cet instrument d'apprentissage si l'étudiant n'avait pas pour principe d'informer ses collègues en cas de doute ? Comment l'étudiant s'approprierait-il les connaissances traitées dans des articles préparés par d'autres étudiants ? Serait-il souhaitable, dans le cadre de ce cours précisément, que la collaboration dans les apprentissages prenne la forme d'une répartition entre les étudiants des articles à traiter ?

³ Lors de la validation intersubjective de son modèle, l'étudiant corrige et mentionne que les connaissances visées sont relatives à l'influence du genre sur le langage.



Figure 12 • Modélisation de l'EPA - étape 4

Étape 5 : modélisation de l'EPA complet (figure 13)

Enfin, en analysant l'ensemble du corpus issu de l'entretien avec l'étudiant, nous produisons un modèle de l'EPA représentant l'ensemble des instruments d'apprentissage qui s'organisent en système d'instruments. Certains artefacts techniques utilisés par plusieurs instruments et certaines connaissances (artefacts didactiques) nous apparaissent être visés par l'ensemble de l'instrumentation et non pas par un seul instrument. Pour cette raison nous ne les relient pas à un schéma en particulier. D'autres instruments complètent celui représenté et décrit précédemment : un instrument dédié à la prise de notes sur le PDF des diapositives du cours lors de la séance en présence, un instrument dédié à la mise en place de la collaboration avec le groupe d'étudiants (communication, partage, organisation), un instrument dédié à l'apprentissage des concepts traités par les autres membres du groupe qui ont fait les résumés d'autres articles scientifiques, un instrument dédié à la préparation à l'examen où l'étudiant identifie la structure attendue et les critères d'évaluation.

Commentaire : on peut dès lors étudier cet EPA dans son ensemble et identifier les fonctions qu'il remplit, ses lacunes, les éventuels conflits instrumentaux (Marquet, 2005), les instruments ou artefacts pivots, les médiations ou encore les catachrèses. Dans le cas présent, l'étudiant aurait-il dû, par exemple, s'entraîner à réaliser un examen blanc ou du moins établir pour lui-même un plan de réponse ? Quelle différence, en termes d'apprentissages, son instrumentation de lecture personnelle des articles produit-elle par rapport à celle où il reçoit les résumés d'articles faits par d'autres étudiants ? La prise de notes en format Cornell lors de la lecture des articles scientifiques ne représente-elle pas un conflit instrumental, dès lors que l'évaluation porte moins sur les connaissances acquises que sur la discussion de la construction des connaissances scientifiques par le biais des expériences de recherche ? Quel rôle particulier jouent les articles scientifiques s'illustrant dans cet EPA clairement comme des artefacts pivots, autour desquels tout le système d'instrumentation s'organise ? Quelle est la relation entre cet artefact pivot et les autres artefacts pivots de cet EPA ? Enfin, en disposant de différents modèles d'EPA à différents moments du cours, il est possible d'étudier les phénomènes d'évolution des EPA.

7. Discussion

Notre objectif était de développer une méthode d'analyse et de modélisation des EPA constituée d'un modèle générique et d'un langage de modélisation de l'EPA. Cet objectif devait répondre aux critères de qualité suivants : expressivité des instances d'EPA figurées par la modélisation, simplicité d'interprétation par les apprenants, portée ontologique des modèles, pragmatisme d'usage comme méthode de recherche et comme outil d'ingénierie pédagogique.

Nous jugeons que le critère d'expressivité des modèles d'instances d'EPA est atteint. En effet, ces modèles reposent sur un langage de modélisation des EPA dont les concepts sont reliés à un modèle générique (sémantique) de l'EPA, valide conceptuellement et empiriquement. Les concepts mobilisés permettent de décrire les EPA avec plusieurs points de vue, augmentant ainsi l'expressivité des informations modélisées (Maisonasse *et al.*, 2010). De plus, ce modèle générique de l'EPA peut servir à l'analyse d'une large variété de situations d'enseignement-apprentissage ainsi qu'à des situations uniques longitudinales. Néanmoins, ce modèle générique est appelé à évoluer avec les apports des futures recherches sur les EPA et sur l'instrumentation de l'apprentissage. Nous

pensons notamment que des propositions de typologies d'outils techniques ainsi que d'artefacts sociaux doivent être développées.

Le critère de simplicité d'interprétation des modèles d'instance des EPA par les apprenants nous paraît être atteint. En effet, lors de la validation intersubjective, aucune difficulté d'interprétation par les étudiants n'est apparue. Certains étudiants anticipaient par moments notre présentation ou nous demandaient d'apporter quelques compléments à leur modèle pour mieux correspondre à leur vécu. Il reste toutefois que ce critère de simplicité d'interprétation devrait être évalué par d'autres études auprès d'étudiants de différents contextes et niveaux de formation.

Nous évaluons le critère de portée ontologique des modèles par leur disposition à permettre l'analyse des propriétés de l'EPA et de ses liens au-delà de leur seule portée représentative. Les modèles produits par la méthode MEPA dépassent largement l'expression morphologique (Maisonasse *et al.*, 2009) des EPA que l'on connaissait jusqu'ici. Ils expriment les EPA comme des systèmes complexes dont les éléments distingués s'assemblent pour former un tout dont le sens est plus fort que la somme des parties (Morin, 2005). Ces modèles nous offrent ainsi des perspectives intéressantes pour l'analyse des phénomènes liés aux EPA. Avec cette instrumentation, le chercheur peut désormais les objectiver et traiter de questions soulevées par la recherche ces dernières années, notamment : quelle est la nature de l'EPA (Henri, 2014) ? Quels impacts les EPA ont-ils sur le devenir personnel et professionnel des personnes (Charlier, 2014) ? Quels sont les impacts des choix collectifs sur les EPA (Peraya et Bonfils, 2014) ? Quelles transformations les EPA engendrent-ils chez l'apprenant ou dans son environnement ? Quelles divergences et tensions les EPA soulèvent-ils (Fluckiger, 2014) ? Quel est le processus de construction et de régulation de l'EPA par l'étudiant (Felder, 2014) ?

À partir de l'ensemble des EPA modélisés dans le cadre de notre recherche, nous observons notamment qu'ils puissent être situés selon quatre dimensions, allant 1) des EPA majoritairement numériques aux EPA minoritairement numériques ; 2) des EPA fortement sociaux aux EPA fortement solitaires ; 3) des EPA présentant une large variété de stratégies cognitives aux EPA à une variété restreinte de stratégies cognitives ; 4) des EPA abondamment instrumentés aux EPA parcimonieusement instrumentés. Ainsi, des réflexions devraient être menées et des recommandations devraient être formulées avec précaution sur le caractère

optimal d'un EPA. S'il est certainement possible d'optimiser un EPA, son équilibre instrumental peut être fragile et son ajustement devrait être réfléchi - à l'image de cet étudiant de notre recherche qui, lors de la discussion de son modèle d'instance a reconnu tout d'abord dans son EPA une grande efficacité en termes de réussite, mais une faible efficacité temporelle et qui a par la suite réfléchi aux possibilités de l'ajuster pour apprendre aussi bien, mais en moins de temps. Il a finalement réalisé que son instrumentation avait aussi pour but de gérer son anxiété lors des examens et il a donc préféré être prudent dans l'ajustement de son instrumentation.

Le critère de pragmatisme d'usage comme référence pour la conduite des recherches de qualité nous semble prometteur. Nous avons en effet pu appliquer rationnellement cette méthode pour récolter et analyser des données issues de 60 entretiens de recherche afin d'en produire autant de modèles d'EPA. Dans le cadre d'une recherche portant sur le potentiel réflexif de ces modèles, nous avons également pu traiter de questions de recherches spécifiques afin d'évaluer les changements conceptuels (Vosniadou, 2007) liés à l'apprentissage auprès d'étudiants universitaires (Felder, 2019). Par conséquent, nous croyons que l'utilisation par les chercheurs d'un même mode de modélisation des EPA serait un vecteur important pour la capitalisation de la recherche. Le modèle générique de l'EPA peut également être étendu pour exprimer les cadres conceptuels mobilisés par d'autres recherches sur les EPA. Le langage OWL (W3C, 2012) et l'outil GMOT (Paquette, 2002) utilisés pour la modélisation du modèle générique permettent pleinement un tel développement par extensions.

8. Conclusion

Cette contribution avait pour objectif de fournir au chercheur et à l'ingénieur pédagogique désireux d'étudier ou d'exploiter les EPA une méthode pour les analyser et les modéliser. Nous avons exposé la méthode de recherche-développement que nous avons suivie pour produire la méthode MEPA, son modèle générique et son langage de modélisation des EPA. Cette instrumentation a été éprouvée dans le cadre d'une recherche longitudinale auprès de 15 étudiants ayant produit 60 modèles d'EPA. Bien que l'évaluation de certains critères de qualité nécessite d'être complétée par d'autres études, le présent article fournit les outils nécessaires pour exploiter la méthode MEPA dans le cadre de

futures recherches. Afin d'en faciliter l'exécution et d'élargir les applications possibles, nous étudions la faisabilité d'un outil numérique.

REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont à mes directrices de thèse Bernadette Charlier et France Henri pour leur accompagnement stimulant au long de ce processus de recherche.

RÉFÉRENCES

Aladjem, R. et Nachmias, R. (2013). The mobile as an ad hoc PLE. Learning serendipitously in urban contexts. Dans I. Buchem, G. Attwell, et G. Tur (dir.). *Learning and Diversity in the Cities of the Future. The PLE Conference 2013*, Berlin, 81-88.

Alter, S. (2015). The concept of 'IT artifact' has outlived its usefulness and should be retired now. *Information Systems Journal*, 25(1), 47-60.

Bégin, C. (2008). Les stratégies d'apprentissage : un cadre de référence simplifié. *Revue des sciences de l'éducation*, 34(1), 47-67. <https://doi.org/10.7202/018989ar>

Boutinet, J.-P. (2002). Projet. Dans J. Barus-Michel, E. Enriquez et A. Lévy (dir.) *Vocabulaire de psychosociologie* (p. 222-230). Toulouse, France : ERES. https://www.cairn.info/resume.php?ID_ARTICLE=ERES_BARUS_2002_01_0222

Caron, P.-A., Heutte, J. et Rosselle, M. (2014). Rapport d'Expertise et Accompagnement par la recherche du dispositif expérimental MOOC iNum. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00950766/document>

Charlier, B. (2017). Enjeu pour la formation des adultes : (re)connaître l'Individu Plus. *Raisons éducatives*, 21, 45-60. <https://doi.org/10.3917/raised.021.0045>

Charlier, B. (2014). Les Environnements Personnels d'Apprentissage : des instruments pour apprendre au-delà des frontières. *STICEF*, 21, 211-237. http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2014/10-charlier-epa/sticef_2014_NS_charlier_10p.pdf

Denis, B. et Joris, N. (2013). *Environnement Personnel d'Apprentissage et Environnement d'Apprentissage Institutionnel Personnalisé : définitions et usages d'étudiants de l'enseignement supérieur*. Communication présentée aux Treizièmes rencontres internationales du réseau de Recherche en Éducation et Formation, Genève. http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2014/11-denis-epa/sticef_2014_NS_denis_11p.pdf

Engeström, Y. (1999). Activity theory and individual and social transformation. Dans Y. Engeström, R. Miettinen et R.-L. Punamäki (dir.), *Perspectives on Activity Theory* (p. 19-38). Cambridge University Press.

Felder, J. (2014). *Construction et régulation de l'environnement personnel d'apprentissage d'étudiants universitaires. Une approche exploratoire* (Mémoire de Master en Sciences de l'éducation). Université de Fribourg, Suisse.

Felder, J. (2017). Comprendre les processus de construction et de régulation des EPA par des étudiants universitaires. *STICEF*, 24(3), 63-95. <http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2017/24.3.3.felder/24.3.3.felder.pdf>

Felder, J. (2019). Le potentiel réflexif de la modélisation des environnements personnels d'apprentissage. *Distance et médiation des savoirs*, 27, 1-21. <http://journals.openedition.org/dms/3962>

Fluckiger C. (2014). L'analyse des environnements personnels d'apprentissage sous l'angle de la discontinuité instrumentale. *STICEF*, 21, 185-210. http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2014/12-fluckiger-epa/sticef_2014_NS_fluckiger_12p.pdf

Guarino, N., Bottazzi, E., Ferrario, R. et Sartor, G. (2012). Open ontology-driven sociotechnical systems: Transparency as a key for business resiliency. Dans M. De Marci, D. Te'eni, V. Albano et S. Za (dir.), *Information Systems: Crossroads for Organization, Management, Accounting and Engineering* (p. 535-542). Physica-Springer. <http://www.foa.istc.cnr.it/wp-content/uploads/2019/10/ITAIS-GuarinoEtAl.pdf>

Henri, F. (2014). Les environnements personnels d'apprentissage, étude d'une thématique de recherche en émergence. *STICEF*, 21, 121-147. http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2014/16-henri-epa/sticef_2014_NS_henri_16p.pdf

Heutte, J. (2014). Persister dans la conception de son environnement personnel d'apprentissage: contributions et complémentarités de trois théories du self (autodétermination, auto-efficacité, autotélisme-flow). *STICEF*, 21, 149-184. http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2014/14-heutte-epa/sticef_2014_NS_heutte_14p.pdf

Hoechsmann, M. et DeWaard, H. (2015). *Définir la politique de littératie numérique et la pratique dans le paysage de l'éducation canadienne*. HabiloMédias. <https://habilomedias.ca/sites/mediasmarts/files/publication-report/full/definir-litteratie-numerique.pdf>

L'Ecuyer, R. (1990). *Méthodologie de l'analyse développementale de contenu. Méthode GPS et concept de soi*. Québec, Canada : Presses de l'Université du Québec.

Mailles-Viard Metz, S., Vayre, E. et Pelissier, C. (2017). Concevoir un Environnement Personnel d'Apprentissage (EPA), est-ce utile pour les étudiants? *Canadian Journal of Education, Canadian Society for the Study of Education*, 38(4). <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01572480/document>

Maisonnasse, L., Berrut, C. et Chevallet, J.-P. (2009). L'expressivité des modèles de recherche d'informations précises. Le support de vocabulaires et son application à la recherche d'information médicale. *Document numérique*, 12(1), 107-128. <https://www.cairn.info/revue-document-numerique-2009-1-page-107.htm>

Marquet, P. (2005). Lorsque le développement des TIC et l'évolution des théories de l'apprentissage se croisent. *Savoirs*, 9(3), 105-121. <https://www.cairn.info/revue-savoirs-2005-3-page-105.htm>

Marquet, P. et Leroy, F. (2004). Comment conceptualiser les usages pédagogiques des environnements numériques de travail et d'apprentissage partagés. *Communication présentée à Septième biennale de l'éducation et de la formation*. Lyon, France : INRP. <http://www.inrp.fr/biennale/7biennale/Contrib/longue/3094.pdf>

Martinlade, T. et Dowdy, M. (2016). Issues in Research, Design and Development of Personal Learning Environments. Dans G. Veletsianos (dir.), *Emergence and Innovation in Digital Learning: Foundations and Applications* (p. 119-141). Athabasca University Press. <https://doi.org/10.15215/aupress/9781771991490.01>

Morin, E. (2005). *Introduction à la pensée complexe*. Paris, France : Points.

Nieto, E. et Dondarza, P. (2016). PleS in Primary School: The learners' experience in the Piplep Project. *Digital Education Review*, 29, 45-61.
<https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/433604>

Paquette, G. (1996). La modélisation par objets typés – une méthode de représentation pour les systèmes d'apprentissage et d'aide à la tâche. *Sciences et techniques éducatives*, 3(1), 9-42.
https://www.persee.fr/doc/stice_1265-1338_1996_num_3_1_1279

Paquette, G. (2002). *Modélisation des connaissances et des compétences. Un langage graphique pour concevoir et apprendre*. Québec, Canada : Presses de l'Université du Québec.

Peraya, D. et Bonfils, P. (2014). Détournements d'usages et nouvelles pratiques numériques : l'expérience des étudiants d'Ingémédia à l'Université de Toulon. *STICEF*, 21, 239-268. http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2014/19-peraya-epa/sticef_2014_NS_peraya_19.htm

Poizat, G. et Durand, M. (2017). Réinventer le travail et la formation des adultes à l'ère du numérique : état des lieux critique et prospectif. *Raisons éducatives*, 21, 19-44. <https://www.cairn.info/revue-raisons-educatives-2017-1-page-19.htm>

Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies. Une approche cognitive des instruments contemporains*. Paris, France : Armand Colin. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01017462/file/Hommes_et_technologie_Rabardel1995.pdf

Roland, N. et Talbot, L. (2014). L'environnement personnel d'apprentissage : un système hybride d'instruments. *STICEF*, 21, 289-316. http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2014/20-roland-epa/sticef_2014_NS_roland_20p.pdf

Schaffert, S. et Kalz, M. (2010). Persönliche Lernumgebungen: Grundlagen, Möglichkeiten und Herausforderungen eines neuen Konzepts. Dans G. Rainer et P. Otto, *Proceedings of Grundlagen der Weiterbildung - Praxishilfen, Neuwied : Luchterhand, Ergänzungslieferung, Mai 2010*.
<http://www.salzburgresearch.at/publikation/personliche-lernumgebungen-grundlagen-moglichkeiten-und-herausforderungen-eines-neuen-konzepts/>

Trouche, L. (2005). Des artefacts aux instruments, une approche pour guider et intégrer les usages des outils de calcul dans l'enseignement des mathématiques. Dans *Actes du colloque Le calcul sous toutes ses formes* (p. 265-290). France : Académie de Clermont-Ferrand. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01559831>

Väljataga, T. et Laanpere, M. (2010). Learner control and personal learning environment: A challenge for instructional design. *Interactive Learning Environments*, 18(3), 277-291. <https://doi.org/10.1080/10494820.2010.500546>

Vartiainen, T. et Tuunanen, T. (2016). Value co-creation and co-destruction in an IS artifact: Contradictions of geocaching. Dans T.X. Bui et R. H. Sprague Jr (dir.), *Proceedings of the 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)* (p. 1266-1275). IEEE.

Vosniadou, S. (2007). Conceptual Change and Education. *Human Development*, 50, 47-54.

Wilson, M., Scalise, K., et Gochyyev, P. (2015). Rethinking ICT literacy: From computer skills to social network settings. *Thinking Skills and Creativity*, 18, 65-80.

W3C (2012). OWL. Web Ontology Language. <https://www.w3.org/OWL/>