

# Thèse de Doctorat

**Simon CAROLAN**

*Mémoire présenté en vue de l'obtention du  
grade de Docteur de l'École centrale de Nantes  
sous le label de L'Université Nantes Angers Le Mans*

École doctorale : SPIGA - Sciences Pour l'Ingénieur, Géosciences et Architecture

Discipline : Informatique

Unité de recherche : GeM (UMR 6183) – Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique

## Ingénierie ontologique pour la création et la gestion de ressources pédagogiques adaptatives

### JURY

Rapporteurs : **Aline CHEVALIER**, Professeur des Universités, Université de Toulouse – Jean Jaurès  
**Serge GARLATTI**, Professeur des Universités, Télécom Bretagne

Examineurs : **Pierre-André CARON**, Maître de Conférences, Université de Lille 3  
**Patrice CARTRAUD**, Professeur des Universités, École centrale de Nantes  
**Domitile LOURDEAUX**, Maître de Conférences HDR, Université Technologique de Compiègne

Directeur de Thèse : **Francisco CHINESTA**, Professeur des Universités, École centrale de Nantes

Co-encadrants de Thèse : **Morgan MAGNIN**, Maître de Conférences, École centrale de Nantes  
**Guillaume MOREAU**, Professeur des Universités, École centrale de Nantes

# Thèse de Doctorat

Simon CAROLAN

## Ingénierie ontologique pour la création et la gestion de ressources pédagogiques adaptatives

### Résumé

L'évolution de la documentation numérique bouleverse les pratiques des apprenants. Face à l'immense choix de ressources, ils peinent à les qualifier et à prendre le recul pour les utiliser à bon escient. De par les livres de référence ils accèdent à des informations qualitatives. Or, l'ergonomie réduit l'efficacité de ces ressources. En parallèle, l'hétérogénéisation des parcours des étudiants nécessite une réflexion sur la personnalisation du contenu pédagogique et la navigation de l'apprenant dans ce dernier. Pour répondre à ces constats, nous proposons la création de Documents Virtuels Personnalisables (DVP) pour les sciences de l'ingénieur. Ces derniers s'appuient sur des ontologies de domaine (OD) pour personnaliser le contenu et permettent une navigation facilitée à l'intérieur des ressources. Toutefois, aucune OD complète et mise à jour existe pour les domaines sélectionnés pour étude; les matériaux composites et la réalité virtuelle. Des méthodes automatiques existent pour la création d'OD à partir de corpus électroniques. Toutefois, elles ne prennent pas forcément en compte la représentativité du corpus d'étude. L'analyse de livres de référence pourrait permettre d'arriver à une représentation consensuelle d'un domaine donné. Nous mettons en place une méthodologie pour la création d'OD à partir des livres avant d'évaluer notre démarche. Les OD résultantes sont ensuite intégrées dans un wiki sémantique. Elles servent dans la création de DVP qui s'appuient sur le wiki pour proposer des parcours de lecture en fonction des connaissances, profil et contexte de l'apprenant et des aides à la lecture comme les cartes des connaissances. Les DVP sont soumis à une évaluation utilisateur afin de valider l'intérêt des documents pour l'apprentissage et pour annoncer des perspectives de développement dans la généralisation de l'approche à l'ensemble de matières de la formation ingénieur généraliste.

### Mots clés

**Ingénierie des connaissances, ingénierie ontologique, pédagogie, environnements informatiques pour l'apprentissage humain.**

### Abstract

The evolution of digital documentation is transforming learner practices. Faced with the immense choice of resources, they struggle to assess and to take the necessary distance for correct usage of them. Through the use of reference books they gain access to quality information. However, the ergonomics reduces the effectiveness of these resources. Concurrently, the heterogeneity of student learning paths requires reflection on the personalization of learning resources and the navigation of the learner within them. In order to respond to these observations, we propose the creation of Personalized Virtual Documents (PVD) for the engineering sciences. They rely upon domain ontology (DO) in order to personalize content and allow for the facilitated navigation of users within the resources. However, no complete and updated domain ontologies exist for the domains selected for study: composite materials and virtual reality.

Automatic methods exist for the constitution of DO from an electronic corpus. However, these processes do not necessarily take into account the representability of the corpus for study. The analysis of reference books could allow us to attain a consensual representation of knowledge in a given domain. We put into place a methodology for the elaboration of OD from these books before evaluating our approach. The resulting ontologies are then integrated into a semantic wiki. They are used for the creation of PVD that are based on the wiki to suggest reading paths that depend upon the learner's prior knowledge, profile and context and reading aids such as knowledge maps. The PVD undergo user evaluation in order to confirm the interest of these documents for learning and in order to define the perspectives for the development of these documents for the generalization of the approach to all subject areas within generalist engineering courses.

### Key Words

**Knowledge engineering, ontological engineering, learning design, intelligent tutoring systems.**

## Contenu

Abstract.....	2
Résumé .....	2
Introduction Générale.....	6
Chapitre 1 : L'enseignement supérieur face à l'évolution des pratiques documentaires .....	14
1. Introduction .....	15
1.1. L'identification du champ d'application .....	15
1.1.1. L'annotation.....	15
1.1.2. L'interaction.....	16
1.1.3. L'utilisation.....	17
1.1.4. La remédiation .....	18
1.1.5. Discussion.....	19
1.2. L'environnement d'apprentissage personnel (EAP).....	20
1.2.1. Les ressources produites par les enseignants .....	20
1.2.2. Les ressources complémentaires.....	22
1.2.3. Discussion.....	27
1.2.4. L'hyperlien.....	28
1.3. La documentation dite « intelligente » .....	33
1.3.1. Le document virtuel personnalisable .....	35
1.3.2. La cartographie de connaissances .....	36
1.3.3. Le web sémantique .....	41
1.4. Les ontologies.....	44
1.4.1. Les méthodes pour construire des ontologies à partir de corpus .....	45
1.4.2. Les ontologies de scénarisation pédagogique .....	46
1.5. Discussion.....	47
Chapitre 2 : Problématiques, hypothèses et démarche .....	49

2.	Introduction .....	50
2.1.	Problématique .....	50
2.1.1.	La représentativité des ressources utilisées par les apprenants.....	50
2.1.2.	L’impact des hyperliens .....	51
2.1.3.	La contextualisation de connaissances .....	53
2.2.	Hypothèses.....	54
2.2.1.	Le livre de référence – une ressource qualitative et représentative .....	54
2.2.2.	Le DVP – un outil efficace pour l’apprenant.....	57
2.2.3.	La carte de connaissances – un outil pour situer ses apprentissages .....	58
2.3.	Démarche : le développement d’une approche intégrée.....	59
2.3.1.	L’ingénierie ontologique.....	60
2.3.2.	L’ingénierie pédagogique .....	61
Chapitre 3 : L’ingénierie ontologique .....		64
3.	Introduction .....	65
3.1.	La préparation du corpus .....	65
3.1.1.	La sélection des ressources .....	66
3.1.2.	Le masquage d’éléments perturbateurs.....	67
3.1.3.	L’analyse manuelle facultative .....	68
3.2.	L’ingénierie textuelle : les analyses statistiques et sémantiques .....	69
3.2.1.	La racinisation.....	69
3.2.2.	L’identification de la fréquence des mots.....	71
3.2.3.	L’identification des cooccurrences .....	72
3.3.	L’ingénierie ontologique .....	73
3.3.1.	La pré-construction de l’ontologie .....	73
3.3.2.	L’identification des relations concepts .....	74
3.4.	L’optimisation et l’évaluation des ontologies de domaine .....	76
3.4.1.	Les moyens d’optimisation.....	76

3.4.2.	Les moyens d'évaluation .....	77
3.4.3.	Les résultats des analyses .....	80
3.5.	Les wikis sémantiques .....	86
Chapitre 4 :	L'ingénierie pédagogique .....	87
4.	Introduction .....	88
4.1.	Les contextes d'apprentissage .....	88
4.1.1.	Les cours universitaires « traditionnels » .....	88
4.1.2.	L'apprentissage inversé .....	89
4.1.3.	L'apprentissage par problème.....	89
4.1.4.	L'apprentissage par projet .....	90
4.1.5.	L'apprentissage ubiquitaire.....	90
4.1.6.	Discussion.....	90
4.2.	Les objectifs d'apprentissage .....	91
4.2.1.	Les connaissances et les compétences .....	91
4.2.2.	L'approche par compétence pour les ingénieurs généralistes .....	92
4.2.3.	Les objectifs par matière.....	93
4.3.	Les référentiels pour le développement des TICE.....	94
4.4.	Des expériences exploratrices .....	96
4.4.1.	Les eTextbooks .....	96
4.4.2.	L'observation des pratiques des apprenants .....	100
4.4.2.1.	eITyPA : électif Internet, Tout y est Pour Apprendre.....	100
4.4.2.2.	Etude de cas : La conception d'applications de la Réalité Virtuelle .....	101
4.4.2.3.	Les observations faites à partir des contextes d'apprentissage.....	102
4.5.	La création d'une application pédagogique .....	104
4.5.1.	Les scénarii d'utilisation.....	104
4.5.2.	Le prototypage de l'application .....	105
4.5.3.	Le développement de l'application pédagogique .....	107

4.6. L'évaluation des dispositifs .....	113
Chapitre 5 : Discussion, Conclusions et Perspectives .....	123
5. Introduction .....	124
5.1. Discussion.....	124
5.1.1. L'ingénierie ontologique.....	124
5.1.2. L'ingénierie pédagogique .....	128
5.2. Conclusion .....	130
5.2.1. Le livre de référence une qualitative et représentative .....	131
5.2.2. Le DVP un outil efficace pour l'apprenant.....	131
5.2.3. La carte de connaissances – un outil pour situer ses apprentissages .....	132
5.3. Perspectives .....	132
5.3.1. Vers l'augmentation de l'automatisation de l'ingénierie ontologique... ..	133
5.3.2. L'exploitation des traces utilisateurs .....	134
5.3.3. Les agents intelligents.....	136
5.3.4. Ressources éducatives libres.....	136
Bibliography .....	138
Ressources Web.....	150
ANNEXE 1 : Référentiel compétences de l'ingénieur centralien .....	153
ANNEXE 2 : Etude Utilisateur – Documents Virtuels Pédagogiques .....	156

## **Introduction Générale**

Les pratiques documentaires des étudiants de l'enseignement supérieur ont considérablement évolué ces dernières années avec la croissance importante du nombre de ressources disponibles en ligne, l'essor des livres électroniques et l'émergence de nouveaux types de documents comme les photocopiés et les simulateurs numériques. Par conséquent, les étudiants de l'enseignement supérieur ont à leur disposition une sélection conséquente de ressources pour une utilisation à des fins pédagogiques.

A l'ère du tout numérique, les évolutions des outils, des pratiques et des usages de la documentation bouleversent les apprentissages dans l'enseignement supérieur. L'arrivée massive de terminaux de téléphonie et ordinateurs portables dans les établissements éducatifs permet aux étudiants de disposer d'un accès quasi-instantané à ces ressources documentaires, disponibles en continu. Ceci n'est pas sans conséquence sur la relation entre l'étudiant et les ressources, les personnes-ressources et leur environnement de travail commun [Brown, 2000 ; Lasfargue, 2000 ; Palfrey et Gasser, 2008 ; Turkle, 2011]. Alors que ces terminaux facilitent la recherche d'information, ils sont également des sources de distraction pour les étudiants qui en profitent pour consulter leurs mès, les réseaux sociaux et voire parfois les jeux en ligne. Ceci au détriment de la performance des étudiants en cours magistral [Wood et al, 2012].

Quant à la consultation de ressources, il est devenu nécessaire de former les étudiants à les utiliser à bon escient [Palfrey et Gasser, 2008]. La quantité importante de ressources, en croissance exponentielle [Huberman et Adamic, 1999] augmente les risques pour les étudiants de tomber en surcharge informationnelle [Simon, 1971] ou « infobésité » [Johnson, 2012]. Il existe également un risque de désinformation lorsqu'on consulte des ressources trouvées sur la toile dont la provenance est parfois douteuse [Palfrey et Gasser, 2008 ; Saemmer, 2015]. Alors, il est important de se poser des questions sur la qualité des ressources que l'on consulte, mais comment juger de la véracité et la pertinence d'une ressource ?

- Par rapport au nombre de ressources qui pointent sur elle ?
- Par rapport aux autres ressources qu'elle cite ?
- Par rapport à la réputation du site hébergeant ?
- Par rapport au processus de création ?

Ce sont des pistes pour démystifier ces « informations » mais il n'y a pas de processus standardisé pour répondre à cette problématique. Il est donc important que les étudiants se distancient des informations que les ressources contiennent. [Saemmer, 2015] évoque ce point dans son analyse de textes numériques ainsi que le rôle centrale de l'hyperlien dans ces documents :

« Toute écriture opère un tri et une hiérarchisation des données. En tant que procédé rhétorique, la relation de contiguïté matérialisée par un hyperlien est déployée pour interpréter le réel, et constitue une trace de cette interprétation. Une définition neutre n'existe pourtant

pas davantage qu'une dépêche objective ; un hyperlien informationnel reliant le récit d'un fait divers à une source ne peut que réduire l'incertitude sur le monde, et non pas la gommer. »

Les évolutions citées ci-dessus peuvent également être des sources de tension entre les enseignants et les étudiants. Ces derniers dont certains appartiennent à la génération des « Digital Natives » [Prensky, 2001], ont un regard de plus en plus critique sur les enseignants et sur les enseignements, n'hésitant pas à faire du « fact-checking » en plein milieu du cours [Palfrey et Gasser, 2008]. Certes, cette pratique reste marginale mais avec la numérisation augmentée de cours et les questionnements que cela provoque chez les enseignants, le rôle à adopter par ces derniers suscitera bien des interrogations de la part des enseignants comme des apprenants [Laurillard et al, 2009].

Face à ces situations problématiques, nous avons souhaité proposer des mécanismes et des ressources pour accompagner les étudiants et les enseignants dans leur utilisation de ressources informationnelles à des fins pédagogiques [Carolan et al, 2012 ; Evain, Carolan et Magnin, 2013 ; Evain, de Marco et Carolan, 2013 ; Carolan et al, 2013 ; Carolan et al, 2014 ; Carolan et al, 2015]. Dans un premier temps nous limitons notre étude à la formation d'ingénieurs généralistes en France, notamment à cause du manque de ressources pédagogiques destinées à ces étudiants.

Pendant la formation, les élèves-ingénieurs ont accès à des cours d'ingénierie et outils industriels afin de développer les compétences techniques et scientifiques dont ils ont besoin pour effectuer une carrière industrielle. Toutefois, la singularité de la formation d'ingénieur généraliste, une spécificité plutôt française implique qu'il y a peu de ressources éducatives qui leur sont dédiées. Ce problème vient du fait que la formation ingénieur généraliste est au croisement de multiples disciplines [van Effenterre, 2006]. En termes de ressources, on peut citer le portail *Sciences de l'Ingénieur* [WEB - Cachan] ou le portail *fuscia* [WEB – INRIA] mais ces ressources restent relativement marginales et sous-exploitées.

Pour remédier à ce manque de ressources et répondre aux problématiques précédemment citées, nous avons entamé une réflexion pluridisciplinaire sur la création, l'utilisation et l'optimisation de ressources pédagogiques employées dans le cadre de la formation ingénieur afin de soutenir les apprenants dans leurs apprentissages. Dans un premier temps, nous sommes intervenus dans des secteurs de l'industrie à évolution forte et vecteurs d'emplois pour les ingénieurs comme *les matériaux composites et la réalité virtuelle*.

Les élèves-ingénieur généralistes sont les futurs cadres de l'industrie. Ils suivent une formation qui les arme pour les défis de l'industrie contemporaine en les équipant de compétences transversales, notamment la capacité à développer des connaissances et compétences dans des domaines de travail qu'ils n'ont pas auparavant rencontrés. Ceci leur permet d'intervenir dans des secteurs d'activité émergents dans un paysage industriel mouvant.

Ils sont issus des filières scientifiques et techniques. Après avoir suivi deux voire trois ans de classes préparatoires et avoir participé à des concours spécialisés, les lauréats intègrent les écoles d'ingénieur à vocation généraliste. Il existe également des passerelles qui permettent aux étudiants titulaires d'un diplôme de licence d'intégrer les écoles. Ces derniers représentent environ cinq pour cent des effectifs globaux.

Les écoles proposent une formation de tronc commun d'un à deux ans où ils acquièrent des connaissances et compétences dans les branches de l'ingénierie comme les matériaux, la mécanique des solides et des fluides, la productique, la robotique et le développement durable ainsi que des matières socle leur permettant d'appréhender ces disciplines comme les mathématiques, l'informatique, mais aussi le management. Ensuite, ils acquièrent une voire deux spécialisations.

Cette formation est assortie de stages pour découvrir le milieu industriel, effectuer une mission d'ingénierie complète et un stage de professionnalisation de plusieurs mois pour préparer une carrière en entreprise. Ceci est un point indispensable pour la formation d'ingénieurs au service de l'industrie, car, comme souligné par [Laurillard et al, 2009] :

« Universities are comfortable with teaching specialist knowledge produced by experts, but practitioner knowledge and the skill to develop it, which is what the industry needs, are not a natural part of university curricular. »

Ce constat est également relevé par [Romainville, 2004] qui met en cause la nature transmissive de la formation universitaire traditionnelle qui encourage les apprenants à adopter une posture passive. Toutefois, par l'aspect généraliste de la formation, la place importante de travaux pratiques et la professionnalisation des ingénieurs pendant les stages, ces apprenants sont prêts à relever les défis industriels comme en témoigne le taux d'emploi élevé de diplômés, avec environ soixante pourcent des candidats sous contrat avant la remise des diplômes et quatre-vingt pourcent en emploi deux mois après avoir terminé le cursus [WEB – Sondage 1<sup>er</sup> Emploi].

Pour alimenter notre réflexion par rapport à ces différents points, nous avons entrepris une exploration approfondie de l'utilisation des ressources documentaires pédagogiques par des élèves-ingénieurs généralistes afin d'une part de proposer la mise en place de nouveaux outils et de pratiques et, d'autre part d'évaluer l'impact de ces dispositifs sur l'apprentissage. Ce manuscrit rend compte de notre réflexion.

Le *premier chapitre*, divisé en cinq sous-sections, explore les interactions entre les apprenants et les ressources documentaires et les mécanismes et les outils qui interviennent dans ces activités. Nous identifions le champ d'application et explorons la typologie de ressources avant de se rendre compte de l'utilisation de ces dernières par les apprenants. Cette phase d'exploration, nous mène à privilégier l'ingénierie de ressources qui permettront une plus grande personnalisation de l'apprentissage et qui répondront en partie à l'hétérogénéisation d'apprenants [Romainville, 2011] et la multitude de parcours dorénavant proposée.

On constate que les Documents Virtuels Personnalisables (DVP), qui ont fait l'objet d'importants projets de recherches ces dix dernières années, semblent particulièrement bien adaptés aux enjeux de la mutation de la formation de l'ingénieur. Ces documents qui s'appuient sur des ontologies de domaine, proposent la personnalisation d'un même contenu en fonction des connaissances de l'apprenant, ses objectifs et le contexte de son apprentissage.

Toutefois, pour les domaines visés par notre étude, il n'existe aucune ontologie de domaine exhaustive. Il est donc nécessaire de créer ces dernières afin de proposer une modélisation des champs d'étude représentative. Pour faciliter ce processus, nous étudions des méthodes automatiques et semi-automatiques pour la construction d'ontologies et nous cherchons à savoir comment ces dernières peuvent ensuite être exploitées à l'intérieur de ces ressources.

Ces analyses nous permettent d'identifier trois grandes problématiques de recherche dans le *deuxième chapitre* :

La première problématique concerne la représentativité de ressources pédagogiques et leur utilisation dans la construction des ontologies de domaine. Nous adoptons des nouveaux processus dans la constitution du corpus à l'origine de la création de l'ontologie.

La deuxième problématique concerne la distribution d'informations dans les ressources et l'impact des hyperliens comme moyen de structuration pour ces dernières. Nous proposons l'utilisation d'ontologies des domaines pour construire des parcours de lecture ou

d'apprentissage afin de personnaliser l'expérience de l'apprenant et pallier aux contraintes induites par l'hétérogénéisation de niveaux et de besoins des apprenants.

La troisième problématique concerne les difficultés rencontrées par les apprenants pour contextualiser l'acquisition d'informations, connaissances et compétences. Nous proposons l'intégration de cartes de connaissances, construites à partir des ontologies de domaine pour guider leur exploration.

Plusieurs problématiques secondaires sont également identifiées comme la création des ontologies de domaine pour les sciences de l'ingénieur, le champ disciplinaire de notre action. Nous explorons d'autres facteurs comme l'ergonomie des ressources éducatives et la cognition de la lecture également. Bien que ceux-ci soient à la périphérie de notre champ d'application, ils ont néanmoins un impact sur notre réflexion. Une grande partie de ces facteurs est mise en évidence lors des expérimentations sur notre cohorte, détaillées dans le quatrième chapitre. Ces observations servent à renforcer le positionnement de nos grandes problématiques et soulignent la nécessité d'entreprendre des travaux dans ces domaines.

Le *troisième chapitre* concerne la première des trois grandes problématiques, c'est à dire la mise en place et l'évaluation d'une approche optimisée d'ingénierie ontologique pour la création des ontologies de domaines pour les sciences de l'ingénieur. Nous exposons notre approche pour le développement de ces dernières à partir d'un corpus constitué de livres de référence. Nous détaillons les spécificités induites par l'utilisation de ces ressources particulières pour la construction d'ontologies. Notre approche se divise en quatre grandes étapes ; la constitution des corpus, l'ingénierie textuelle, l'ingénierie ontologique et l'évaluation des ontologies de domaine.

La description et l'analyse de ces étapes sont ponctuées par des exemples et des indicateurs qui nous permettent d'argumenter la validité de notre approche par rapport à l'existant. Ensuite, nous rendons compte de l'intégration des ontologies dans un wiki sémantique qui sert de base pour le développement des exploitations pédagogiques.

L'ingénierie pédagogique faite à partir des ontologies de domaine et des wikis sémantiques est au cœur du *quatrième chapitre*. Dans cette partie, nous analysons les éléments qui impactent la formation ingénieur-généraliste comme les référentiels et programmes mis en place par les institutions de l'enseignement supérieur, les objectifs d'apprentissage et le contexte dans lequel l'apprentissage a lieu. L'analyse des informations mises en évidence par quatre expérimentations sur nos cohortes, couplée avec les ontologies

de domaine développées dans le troisième chapitre, nous permettent d'identifier les paramètres pour le développement d'applications éducatives et notamment les DVP.

Ainsi nous mettons en place le cahier des charges pour les applications et avançons vers leur modélisation. Ensuite, nous évoquons l'architecture de l'application développée dans le cadre de nos recherches, une première évaluation du dispositif par la cohorte, les conclusions tirées de cette expérience et les propositions de développement de fonctionnalités supplémentaires mises en avant par les apprenants utilisateurs, membres d'un groupe témoin.

Enfin, le *cinquième et dernier chapitre* nous permet de faire une analyse approfondie de notre approche intégrée, d'analyser les résultats de nos explorations, d'évaluer la portée de nos travaux et d'émettre des hypothèses pour la poursuite des travaux de recherche. Ainsi, nous définissons des critères d'évaluation supplémentaires pour les applications qui seront davantage mises en œuvre et évaluées sur des cohortes d'ingénieur généralistes futures et optimisées dans la suite de notre projet dans les mois et années à venir.

Pour rappel, l'objectif majeur de notre travail est de mettre en place une nouvelle méthodologie pour la création d'ontologies de domaine à partir d'un corpus numérique et de procéder à l'élaboration d'applications pédagogiques construites sur la base de ces ontologies. Nos travaux se situent au croisement de plusieurs champs disciplinaires dont l'ingénierie des connaissances, les technologies de l'information et de la communication pour l'éducation, la didactique des matières scientifiques et la cognition de la lecture.

Les travaux de ce présent manuscrit ont mené à la rédaction ou l'exploitation de plusieurs communications et publications scientifiques dont nous sommes co-auteurs :

Carolan, S. et Magnin M., (2013). Le MOOC et la motivation : les élèves face à une formation autogérée. Actes de l'atelier MOOC de la conférence Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH) 2013, mai 2013, Toulouse : France.

Carolan, S., Chinesta, F., Evain, C., Magnin, M. et Moreau, G., (2013). Towards Augmented Learning in Science and Engineering in Higher Education. Actes de 13ième IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, juillet 2013, Pékin, Chine.

Carolan, S., Chinesta, F., Evain, C., Magnin, M. et Moreau, G., (2014). Extracting domain ontologies from reference books. Actes de 14ième IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies., juillet 2014, Athènes, Grèce.

Carolan, S., Magnin, M., et Gilliot J-M., (2014). Engineering MOOCs for Future Engineers: Integrating MOOCs into Formal Learning Environments. Actes de 3ième eMOOCs Stakeholders Summit, Lausanne: Suisse, février 2014.

Carolan, S., Magnin, M., Evain, C., Moreau, G. et Chinesta, P., (2012). Developing Models for Enhanced Learning in Engineering. Actes de 6ième Centrale Beihang Workshop, Lille: France, décembre 2012.

Carolan, S., Moreau, G., Magnin, M. et Chinesta, F., (2015). Towards the Effective Use of Available Educational Resources: Designing Adaptive Hypermedia Environments for the Engineering Sciences. Actes de la 15ième IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, juillet 2015, Taipei, Taiwan.

Carolan, S., Magnin, M. et Kabalu, A-L., (2014). Sparking a Digital Revolution: Digital Educational Tools in Fragile and Emerging Learning Contexts. Actes de Digital Intelligence 2014, Nantes: France, septembre 2014.

Evain, C., Carolan, S. et Magnin, M., (2012). Preparing for Generation Z: The Hippocampus Experiment at the Ecole Centrale de Nantes. Actes de l'ASME 2012 Biennial Conference On Engineering Systems Design and Analysis. Nantes : France, juillet 2012.

Evain, C., De Marco, C., & Carolan, S. (2013). Le nouveau dispositif «eZoomBook»: perspectives pédagogiques. Distances et médiations des savoirs. Distance and Mediation of Knowledge, 1(3).

# **Chapitre 1 : L'enseignement supérieur face à l'évolution des pratiques documentaires**

## **1. Introduction**

L'émergence de technologies web et les postures d'apprenants de plus en plus connectés provoquent des évolutions dans les pratiques de consultation documentaire. Pour mieux comprendre l'impact ces évolutions, mises en avant dans l'introduction générale, nous allons nous pencher sur quatre axes que nous identifions comme étant potentiellement porteurs d'innovation. Ceci nous permettra de mieux nous rendre compte des problématiques liées à ces activités et de comprendre comment nous pouvons contribuer à l'évolution de ces pratiques dans le cadre de la formation ingénieur généraliste et par extension de la formation tout au long de la vie.

### **1.1. L'identification du champ d'application**

Au départ, nous avons identifié quatre axes de développement qui méritent une réflexion plus approfondie ;

- l'annotation de ressources documentaires,
- les interactions entre les apprenants et le contenu,
- l'utilisation des ressources par les apprenants,
- la remédiation de ressources.

Ces quatre axes concernent l'interaction entre les apprenants et les ressources pédagogiques et par extension l'interactivité de ces dernières. Cette interactivité est identifiée par [Laurillard et al, 2009] comme contribuant à l'amélioration des apprentissages car elle favorise la motivation d'apprenants, la mémorisation de contenus et l'engagement d'apprenants dans un apprentissage sur le long terme.

#### **1.1.1. L'annotation**

L'annotation des ressources pédagogiques est un processus crucial dans l'apprentissage des matières complexes car elle favorise la mémorisation du contenu et permet à l'apprenant de placer des repères spatio-temporels pour la consultation ultérieure des ressources [DeStefano et Lefevre, 2007]. De cette manière, les étudiants sont capables de s'appropriier le contenu pédagogique [Hartley et Davies, 1978]. La prise de notes électroniques se développe dans les établissements de l'enseignement supérieur [Frommer, 2010]. Or, plusieurs études montrent que l'annotation numérique est moins efficace que l'annotation manuscrite sur le plan cognitif et ceci pour plusieurs raisons [Baccino, 2004].

Premièrement, la prise de notes numérique est contrainte par les limites des outils. Par exemple, lors de l'annotation de ressources, les étudiants font des liens entre les informations recueillies par le dessin, les codes couleurs et les graphes afin de donner du sens au contenu. Ce processus est plus compliqué à réaliser face à la rigidité ergonomique d'outils informatiques, même si les outils de pensée visuelle et les tablettes peuvent pallier à une partie de ces contraintes.

Deuxièmement, l'arrivée massive des technologies numériques dans les amphithéâtres a un impact sur le discours oralographique. [Gauthier et Meggori, 2004] définit ce discours comme étant l'interaction entre les apprenants et l'enseignant lors de cours magistraux. Par exemple, lorsque le débit de parole de l'enseignant est rapide, les apprenants comprennent que les informations sont anecdotiques alors que quand il ralentit son débit, ces informations sont primordiales et doivent faire l'objet d'une prise de notes. De la même manière, un enseignant peut adapter son discours en fonction des rétroactions d'apprenants. On peut se demander comment ces interactions seront transformées car l'utilisation d'appareils électroniques affecte le champ visuel des enseignants et ne leur permet pas de bien se rendre compte de ces rétroactions.

Troisièmement, l'annotation numérique transforme la nature psychomotrice de l'activité de la prise des notes car la transcription haptique favorise la mémorisation et l'appropriation du contenu [Baccino, 2004 ; Gauthier et Meggori, 2004 ; Palfrey et Gasser, 2008 ; Frommer, 2010]. C'est une manière pour les apprenants d'internaliser le contenu. Des technologies tactiles avec des stylets peut remédier en partie à ces problèmes mais peinent à imiter pleinement la motricité de l'activité. De nouveaux outils d'annotation numérique voient le jour mais ils peinent à reproduire les bénéfices de l'annotation écrite [Baccino 2004].

### **1.1.2. L'interaction**

Soulignées dans la section précédente, les questions de l'interaction portent aussi bien sur les échanges entre les étudiants et leurs pairs, leurs enseignants, leurs appareils et les contenus pédagogiques. Il y a un couplage fort entre le niveau d'interaction d'étudiants avec le contenu et l'engagement d'étudiants dans l'apprentissage [Kraut, 2013]. Parmi les sources d'interaction dans les ressources éducatives électroniques, nous pouvons citer les simulateurs numériques, les vidéos et les outils d'auto-évaluation et plus particulièrement les questions à choix multiples (QCM).

Les simulateurs numériques sont des outils puissants pour l'apprentissage [Good et Berger, 2005]. Ils permettent aux étudiants de réaliser des expériences qu'il est impossible de reproduire dans le contexte de la salle de classe à cause du coût de l'opération, la dangerosité du processus, les limites de dimensions de la pièce [Dado, Koenders et Carvalho, 2012] ou l'impossibilité de mettre les conditions expérimentales en œuvre [Sokolowski et Banks, 2009]. Les simulateurs les plus performants permettent aux étudiants d'interagir avec des données d'une large ampleur.

Les vidéos constituent un moyen facile pour les étudiants d'acquérir une compréhension basique du domaine d'étude. Elles sont particulièrement efficaces quand elles sont utilisées dans le cadre de la classe inversée [Strayer, 2012 ; Bergmann et Sams, 2012]. Ceci est surtout vrai pour les vidéos de moins de vingt minutes, la longueur maximale de visionnage conseillée pour retenir l'attention des spectateurs adultes [Wang, 2015].

Les outils d'auto-évaluation permettent à l'étudiant de se rendre compte de l'état de ses connaissances voire compétences et de se positionner par rapport à la matière à apprendre, ses pairs et ses propres objectifs d'apprentissage. Ces outils sont également utilisés pour le contrôle continu et plus récemment pour les Massive Open Online Course (MOOC). Ils permettent de valider l'acquisition d'aspects théoriques par l'exercitation de connaissances. Aujourd'hui, les apprenants peuvent entrer de données variées comme du texte, une équation et même du code informatique dont on simule l'exécution. L'utilisation des QCM à complément de condition est particulièrement prometteuse. Dans ce cas, le contenu de l'évaluation est adapté en fonction de réponses formulées par les apprenants. C'est à dire que si un apprenant répond correctement, il a accès à des questions plus complexes. Ce moyen d'évaluation peut permettre la personnalisation du contenu et l'analyse des traces peut indiquer les besoins en redondance d'activités pédagogiques [van der Linden et Glas, 2000].

En plus de ces outils, on trouve des médias supplémentaires allant des images interactives aux jeux pédagogique-ludiques ou « Serious Games ». Ces derniers sont très souvent utilisés dans la formation professionnelle [Glover, 2013]. Ces éléments peuvent augmenter la motivation de l'apprenant à suivre une formation et peuvent rendre les apprentissages plus concrets et plus proches des activités réelles de l'apprenant [Michael et Chen, 2005]

### **1.1.3. L'utilisation**

Des études confirment que le temps consacré à la lecture de textes numériques est en hausse [Rak, 2011]. Toutefois, nous assistons à une modification de la nature de lecture et

« c'est en effet plutôt la pratique de la lecture numérique, et non pas la quantité incontestable des textes disponibles sur les dispositifs, qui se trouve dans la ligne de mire des critiques » [Saemmer, 2015]. Les internautes privilégient les lectures courtes et « zappent » entre les ressources [Rak, 2011]. Encore selon [Saemmer, 2015] :

« La lecture numérique est décrite comme impatiente, rapide et forcément superficielle, au point que certains préfèrent ne plus parler de lecture. Elle est opposée à la pratique du livre papier présentée comme longue, patiente, concentrée et réflexive »

Le rétro-éclairage des écrans amplifie cette distorsion entre la lecture numérique et la lecture papier car la luminosité accrue des écrans empêche les lecteurs de cligner les yeux. Ils sont ainsi privés d'une action psychomotrice qui contribue à la transformation d'une information de portée immédiate en une information retenue dans la durée [Baccino, 2004]. Cette tendance se confirme chez [Palfrey et Gasser, 2008 ; Turkle, 2011 ; Saemmer, 2015] qui relèvent un accès à l'information plus immédiat et moins approfondi.

Au-delà de questions d'ordre physiologique, l'utilisation de ressources numériques par les étudiants dépend du contexte de consultation. Pendant les cours, les étudiants tendent à privilégier les ressources en texte riche pour faire des recherches plus simplement [Carolan et al, 2015]. Alors que les étudiants reconnaissent l'importance de faire des lectures « longues », les livres papiers et notamment les livres de référence ne sont pas adaptés à l'immédiateté du contexte de la salle de classe. L'indexation de ressources, souvent mise en place par les experts du domaine, ne correspond pas forcément aux besoins d'apprenants. Ainsi, les étudiants se trouvent face à la nécessité de parcourir plusieurs sections du livre et de juger de la pertinence d'un contenu qu'ils découvrent souvent pour la première fois.

#### **1.1.4. La remédiation**

La remédiation des ressources électroniques dite « mashup » est l'agrégation des données provenant de sources multiples afin de créer une nouvelle ressource ou d'extraire un nouveau sens par le croisement des données pour ne citer que deux exemples. Le développement de ce type de pratique a largement été facilité par l'émergence du Web 2.0 ou Web collaboratif et ses outils interconnectés. Dans le contexte des ressources pédagogiques, [Mödritscher et al, 2008] définit un « mashup » ainsi :

« Within the context of learning object repositories, aggregation of information junks is realized according to instructional models and in terms of standards and specifications, such

as LOM or SCORM. Addressing information push strategies, content syndication deals with aggregating information streams, or feeds, into one view, normally by using a XML-based metadata standard like RSS. [T]hese approaches primarily focus on the combination of information chunks and streams into one application. »

On trouve des portails d'agrégation de contenus automatisés qui proposent des ressources pédagogiques personnalisées. On peut citer les travaux de [Höver et Mühlhäuser, 2013] qui proposent la création de MOOC personnalisés depuis plusieurs plateformes en se focalisant sur les objectifs énoncés par les apprenants. Il existe également des dispositifs qui reposent sur des méthodes manuelles. Le processus d'agrégation est souvent initié par l'apprenant mais peut également être initié par l'enseignant qui invite les étudiants à produire une ressource collectivement à l'issue du cours [Wheeler, Yeoman et Wheeler, 2008 ; Kidd et al, 2008 ; Bennett, 2009 ; Evain, Carolan et Magnin, 2012 ; Carolan, Magnin et Gilliot, 2014]. Le « mashup » permet une appropriation du contenu par les apprenants qui découvrent et analysent les ressources et prennent du recul par rapport à l'ensemble avant de le mettre en perspective dans une nouvelle version.

#### **1.1.5. Discussion**

Cette exploration succincte des enjeux derrière l'utilisation des ressources numériques par les étudiants montre qu'il y a un travail conséquent à réaliser pour tirer pleinement profit des possibilités offertes par cette documentation. Les quatre points soulevés suscitent beaucoup d'interrogations qu'il sera impossible de circonscrire dans le cadre d'un seul projet de recherche. Dans le périmètre de notre recherche, nous nous focalisons sur les deuxième et troisième points ; les interactions entre les étudiants et le contenu pédagogique et l'utilisation des ressources par les étudiants dans le cadre de leur environnement d'apprentissage personnel (EAP). Ce choix est motivé par le besoin précédemment cité des élèves-ingénieurs généralistes de se former tout au long de leur carrière pour s'ouvrir à des nouvelles connaissances et compétences dans divers domaines scientifiques et techniques [ANNEXE 1].

L'EAP, mis en perspective dans la section suivante, forme le noyau central du développement des compétences de l'ingénieur généraliste car il doit être capable de mobiliser sa culture scientifique pour étendre ses connaissances. Pour ce faire, il met en place des stratégies qui font appel à des pratiques et outils documentaires pour se former en continu. Pour mieux définir notre champ d'application et identifier les leviers pour le développement des pratiques documentaires, nous explorons les éléments constitutifs d'un EAP afin de

mieux se rendre compte du contexte de leur utilisation et les tenants et aboutissants de déploiement de ces éléments dans une stratégie globale d'apprentissage. Ceci nous permet de nous positionner par rapport aux pratiques existantes et d'œuvrer pour l'optimisation de l'EAP de l'ingénieur généraliste en proposant de nouveaux outils, ressources et pratiques.

## **1.2. L'environnement d'apprentissage personnel (EAP)**

L'environnement ou écosystème d'apprentissage personnel (EAP) est constitué des ressources, outils et surtout des pratiques que l'apprenant met en œuvre lors de ses apprentissages. Il s'agit d'un ensemble d'objets physiques et numériques comme des livres pédagogiques, des sites web, les enseignants, les pairs des apprenants et les interactions entre ces différents objets. [Roland, 2011] définit l'EAP comme « un écosystème de personnes et d'outils que l'individu mobilise et agence dans le cadre d'activités de construction de connaissances ». Ces notions ont récemment été explorées dans le cadre de MOOC. On peut citer PLENK - Personal Learning Environments and Knowledge Networks [Downes et al, 2010] et ITyPA – Internet, Tout y est Pour Apprendre [Gilliot et al, 2013].

Les ressources pédagogiques numériques qui constituent un EAP peuvent être organisées dans deux catégories. La première catégorie rassemble les ressources produites par l'enseignant et qui correspondent étroitement au contexte du cours et aux objectifs de l'enseignement comme les diaporamas et les photocopies du cours. La deuxième catégorie rassemble les ressources dont l'enseignant se sert pour illustrer ses propos et l'étudiant pour prolonger la réflexion ou compléter ses connaissances comme les sites de vulgarisation, les MOOC, les portails audiovisuels, les wikis et les livres de référence.

### **1.2.1. Les ressources produites par les enseignants**

Les ressources produites par les enseignants servent à accompagner les étudiants dans leurs apprentissages en proposant des documents structurés qui facilitent la compréhension des étudiants. Le plus souvent ces supports suivent l'ordre chronologique dans laquelle l'enseignant aborde l'enseignement de la matière, rythmant ainsi le cours.

#### **1.2.1.1. Le diaporama**

Le diaporama est un support de présentation utilisé pour structurer le discours de l'enseignant, illustrer des passages du cours et faciliter la prise de notes des étudiants. Utilisé par les enseignants sous diverses formes depuis plus de cinquante ans, il s'est imposé dans l'enseignement supérieur pour la gestion des cours magistraux [Frommer, 2010]. Apprécié par

les étudiants pour ré-visionner le contenu du cours, des études confirment l'intérêt de l'utilisation de ces supports dans l'enseignement supérieur [James, Burke et Hutchins, 2006].

Néanmoins, ce médium est de plus en plus critiqué par ceux qui déplorent la « pensée Powerpoint ». Comme l'indique [Frommer, 2010] : « Le sentiment que Powerpoint induit un formatage de la pensée par la combinaison attendue de différents média, fait son chemin, notamment dans le milieu universitaire américain où ce logiciel est omniprésent. » On peut notamment souligner « l'incapacité des étudiants à synthétiser un cours sur la base d'un « Powerpoint » comparé à une prise des notes traditionnelle dans le cadre d'un enseignement oral. » Toutefois, les auteurs reconnaissent que pour « les domaines scientifiques « durs », l'utilisation d'aides visuelles et la pratique de transparents étaient déjà bien inscrites dans les habitudes pédagogiques. »

Dans notre champ d'exploration, les cycles ingénieurs généralistes, comme pour la plupart de matières scientifiques à visée technique, les cours magistraux forment une partie conséquente des heures en présentiel [Neumann, 2001], ce qui contribue à l'explication de l'utilisation importante de diaporamas dans les domaines scientifiques « durs ».

#### **1.2.1.2. Le polycopié numérique**

Le polycopié numérique ou « eTextbook » est aussi régulièrement utilisé pour enseigner les matières scientifiques et techniques. Il est un support pédagogique généralement produit par l'équipe pédagogique du cours et parfois de manière collaborative par les enseignants et étudiants [Wheeler, Yeoman et Wheeler, 2008 ; Kidd et al, 2008 ; Bennett, 2009 ; Evain, Carolan et Magnin, 2012]. Il sert à structurer le cours, à fournir un cadre commun pour le travail et à guider l'étudiant dans la partie autonome de son apprentissage.

Du simple document texte qui contient du texte, des images et des hyperliens au polycopié enrichi qui contient des schémas animés, des simulateurs numériques, des QCM et des supports vidéo, les polycopiés ont eu une place prépondérante parmi les supports éducatifs de l'enseignement supérieur depuis le début du dix-huitième siècle, notamment dans les domaines scientifiques et techniques [Stinner, 1992].

Dans le polycopié numérique classique, les chapitres suivent la chronologie du cours en fonction du scénario pédagogique mis en place par l'équipe enseignante. [Chen, Gong et Huang, 2012] insiste sur la nature linéaire de ces ressources qui s'appuient sur les tables des matières pour reproduire une expérience de lecture similaire à celle du polycopié papier.

## **1.2.2. Les ressources complémentaires**

Les ressources décrites ci-dessous sont utilisées par les étudiants pour la partie autonome de leur apprentissage. Elles peuvent être prescrites par les enseignants, notamment dans le cadre des pédagogies « actives » comme la classe inversée [Strayer, 2012 ; Bergmann et Sams, 2012].

### **1.2.2.1. Le site de vulgarisation**

Les sites web du genre *How Stuff Works* [WEB - HowStuffWorks], *Pour Les Nuls* [WEB - PourLesNuls] *TED-Ed* [WEB - TEDEd] ou encore *OpenClassrooms* [WEB - OpenClassrooms], contiennent des versions vulgarisées de théorèmes complexes. Ils permettent à tout apprenant d'avoir une compréhension basique de concepts clés par les moyens d'un contenu textuel simplifié et de vidéos de démonstration.

Ils sont utiles pour un apprenant novice lorsqu'il souhaite faire une remise à niveau pour un domaine donné ou lorsqu'un futur scientifique veut découvrir des métiers potentiels [Chémery et Billia, 2010]. L'efficacité de ces ressources réside dans le fait qu'aucune connaissance du domaine visé n'est à considérer comme étant acquis par l'apprenant avant sa visualisation de la ressource. De ce point de vue, les auteurs prennent la peine de bien expliquer même les concepts les plus basiques.

A titre d'exemple, *OpenClassrooms* propose à ses apprenants d'apprendre à manipuler les langages de programmation en suivant des tutoriels qui leur permet d'avancer étape par étape dans un apprentissage procédural. Le tout est écrit dans un langage métaphorique pour expliquer les notions les plus complexes comme la programmation orientée objet.

### **1.2.2.2. Le cours en ligne massif et ouvert**

Les Cours en Ligne Massifs et Ouverts (CLOM), Formations en Ligne Ouverts et Massifs (FLOT) ou Massive Open Online Courses (MOOC) [Hyman, 2012] sont des cours proposés par des enseignants ou des collectifs de formateurs voire des établissements. Ces cours sont généralement gratuits, disponibles sur une période donnée et certifiants mais non-diplômants, mais des variantes existent. Les spécificités des différents cours sont décrites dans les taxonomies de [Clark, 2013] et [Rosselle, Caron et Huette, 2014a]. Les MOOC sont classés en fonction de leur nature :

- Synchrone ou asynchrone,
- Dirigé ou autodirigé,

- Individuel ou collectif,
- De fermeture ou ouverture.

Il existe deux grandes catégories de MOOC ; les xMOOC et cMOOC. Les xMOOC (MOOC d'extension) sont souvent les reproductions de cours universitaires et s'appuient sur des séquences vidéo, des QCM, des textes et des activités qui peuvent être évaluées par les pairs. Les cMOOC (MOOC connectivistes) se basent sur la co-construction de contenus pédagogiques par les apprenants pour arriver à des projets collaboratifs qui font avancer le savoir dans le domaine. Ces cours proposent des conférences interactives et des activités collaboratives.

En dehors de ces grandes catégories, d'autres typologies de MOOC existent comme le tMOOC (MOOC par tâche) qui s'appuie sur la pédagogie par projet [Rosselle, Caron et Huette, 2014b]. D'autres formats s'inspirent du MOOC comme le SPOC (Small Private Online Course), animé à destination de membres d'une institution [Fox, 2013] ou le COOC (Corporate Open Online Course), animé à destination de salariés d'une entreprise [Pfeiffer, 2015].

Certains étudiants suivent des MOOC en parallèle de leur cursus universitaire afin de bénéficier d'un autre point de vue, d'explorer un contenu supplémentaire, de pousser leur réflexion dans un domaine ou d'obtenir des crédits universitaires. En effet, des universités proposent aux apprenants d'acquérir des crédits en suivant des MOOC [Cisel et Bachelet, 2013 ; Combéfis et Van Roy, 2015 ; Witthaus et al, 2015 ; Carolan, Magnin et Gilliot, 2014]. Des universités outre-Atlantique vont plus loin, proposant des masters entièrement en ligne composés de MOOC comme modules d'apprentissage pour aboutir à une spécialisation.

Dans la plupart des MOOC, en plus de consulter des ressources, les apprenants peuvent interagir avec leurs pairs via des forums d'échange. Lorsqu'un apprenant s'engage avec d'autres apprenants, il est plus probable qu'il aille au terme de la formation car il se sent davantage investi dans la communauté et trouve une motivation supplémentaire pour poursuivre son apprentissage [Waard et al, 2011]. Cette idée trouve ses origines dans l'apprentissage social.

Les étudiants apprécient particulièrement de pouvoir suivre les cours en mode asynchrone car ils peuvent avoir une plus grande maîtrise de leur emploi de temps. Ils apprécient également le fait de pouvoir ré-visionner des sections des cours et l'ouverture vers l'extérieur du contexte éducatif [Waard et al, 2011 ; Carolan et Magnin, 2013 ; Titone, 2014].

Malgré l'appétence des étudiants pour ces cours, notamment pour la substitution aux cours théoriques, ils sont conscients des limites de ce nouveau mode de formation, notamment le manque d'interaction avec les pairs, le manque de retour de la part des enseignants et le caractère chronophage de la formation en ligne [Hew et Cheung, 2014 ; Carolan et Magnin, 2013].

### **1.2.2.3. Le portail audiovisuel**

Les chaînes média de type Youtube [WEB – Youtube], Dailymotion [WEB – Dailymotion] ou iTunesU [WEB – iTunesU] et les portails audiovisuels spécialisés de type TEDTalks [WEB – TEDTalks] contiennent des ressources mises à la disposition d'un large public. Ces chaînes sont utilisées par les apprenants pour accéder à des ressources de type tutoriels ou afin d'obtenir une explication simple et visuelle d'un théorème complexe.

Parmi les ressources consultées par les élèves ingénieurs, on trouve des vidéos de vulgarisation de type *C'est pas Sorcier* [WEB – CestPasSorcier], des démonstrations de technologies par des industriels de type *Airbus* [WEB – Airbus] et des expériences scientifiques faites par les plus grandes universités mondiales qui parfois utilisent des équipements dont l'apprenant ne peut pas disposer dans son établissement [WEB – MIT]. Ces ressources sont régulièrement utilisées par les élèves-ingénieurs généralistes en présentiel à cause des contraintes de temps imposées par ces activités éducatives [Carolan et al, 2015]. C'est un moyen efficace pour les étudiants de mémoriser les informations qu'ils transformeront en connaissance dans la suite du cours.

Pour que cette utilisation soit efficace, il y a un certain nombre de critères que les vidéos doivent respecter. Comme indiqué auparavant, plusieurs études montrent que l'efficacité d'une vidéo pédagogique est optimale dès lors qu'elle ne dépasse pas vingt minutes [Wang, 2015]. Prenons l'exemple de la plate-forme *TEDTalks*. Les présentations sont limitées à dix-huit minutes, la durée moyenne dont le cerveau peut rester concentré sur une seule tâche [WEB - TedTalks].

### **1.2.2.4. Le wiki**

Créé en mars 1995 par Ward Cunningham sous le nom *WikiWikiWeb*, le wiki permet de valoriser une intelligence collective par une rédaction collaborative [Leuf et Cunningham, 2001]. A l'exception de quelques plateformes comme Wikipédia, la plupart des wikis traitent une seule thématique et s'inscrit dans la démarche coopérative mise en place par l'émergence du Web 2.0 ou collaboratif. Parmi les exemples les plus connus, on trouve Wikipédia [WEB –

Wikipédia] et Minecraft [WEB – Minecraft]. Il existe quelques exemples de wikis mis en place ou utilisés pour la formation ingénieur, notamment la plate-forme Sciences de l'Ingénieur de l'ENS Cachan [WEB – Cachan].

Des communautés s'installent autour de wikis et la rédaction est gérée selon une charte et des mécanismes mis en place par les contributeurs [Bachelet, 2008]. Pour qu'une information soit validée, elle doit être accompagnée d'une référence bibliographique et soumise à l'approbation de super-contributeurs ou relecteurs qui valident les contributions de leurs pairs [Riedl, 2008]. L'identification des super-contributeurs est une récompense qui permet de maintenir la motivation des rédacteurs bénévoles [Hoisl, Aigner et Miksch, 2007].

Les hyperliens (voir Section 1.2.3) forment les noyaux centraux des wiki [Saemmer, 2015]. Ils sont utilisés pour naviguer dans l'article, vers d'autres articles et également vers des ressources extérieures. Dans un apprentissage sérendipitique, défini comme étant « la faculté de découvrir par hasard et sagacité des choses que l'on ne cherchait pas, et de leur reconnaître un intérêt supérieur » où « chacun peut construire ses propres stratégies de sérendipité, et apprendre à apprendre » [Chapelain, 2004], les wikis sont des outils clés qui permettent aux apprenants d'explorer le sujet de recherche, laissant place à la découverte de sujets éloignés de la recherche initiale [Kop, 2012]. Toutefois, ces environnements peuvent être perturbateurs pour des apprenants novices [DeStefano et Lefevre, 2007].

Autre sujet de discordance, alors que la quantité de ressources est phénoménale, la qualité est variable et parfois qualifiable d'aléatoire. Prenons l'exemple de l'encyclopédie collaborative Wikipédia. L'étude apparue dans la revue *Nature* en 2005 a démontré que Wikipédia a un niveau de précision comparable à l'Encyclopedia Britannica. Toutefois, on constate que cette dernière contient moins d'erreurs par omission [Palfrey et Gasser, 2008] et est garant d'une représentation très large des connaissances du domaine. Cette différence vient vraisemblablement du fait que l'Encyclopedia Britannica a des comités éditoriaux.

Wikipédia est la somme de connaissances et d'intérêts de la communauté de contributeurs bénévoles alors que les ressources de type Encyclopedia Britannica sont construites par un comité éditorial pour présenter une vue relativement large des domaines dont il traite. On peut donc craindre que les étudiants qui privilégient la version wiki auront une vision partielle voire faussée du domaine d'étude, d'où la nécessité de former les étudiants à utiliser ces ressources à bon escient [Palfrey et Gasser, 2008]. Ceci est encore plus

préoccupant quand nous prenons en compte le fait que les informations contenues dans ces ressources sont susceptibles d'être modifiées ou manipulées.

Un autre problème vient du fait que face à des matières d'une grande complexité, les apprenants ont du mal à se situer dans le domaine. Dans la version anglophone de Wikipédia, la page consacrée à la mécanique quantique est très complexe et fait appel à des idées et à des scientifiques distribués sur plusieurs dizaines de pages web. Par conséquent, les lecteurs sont souvent confrontés à des notions qu'ils ne maîtrisent pas et sont obligés de naviguer entre plusieurs pages afin d'obtenir l'information nécessaire. Nous avons identifié deux utilisations problématiques de cette ressource que nous souhaitons mettre en évidence.

Dans le premier cas, quand un utilisateur parcourt Wikipédia, il a la possibilité de naviguer à l'intérieur du document et éventuellement d'aller vers un autre document. Les relations entre les informations qu'il découvre et celles découvertes précédemment ne sont pas forcément explicitées. Pour comprendre son cheminement, l'utilisateur peut uniquement accéder à l'historique de navigation.

Dans le deuxième cas, le lecteur découvre un concept qui lui est étranger. Pour en savoir plus et comprendre ce concept, il est obligé de chercher dans des documents annexes qui contiennent des concepts qui lui sont également étrangers. Pour ce faire, il a la possibilité de cliquer sur le lien HTML fourni par Wikipédia, si le lien existe, ou d'ouvrir une autre fenêtre et d'effectuer des recherches connexes.

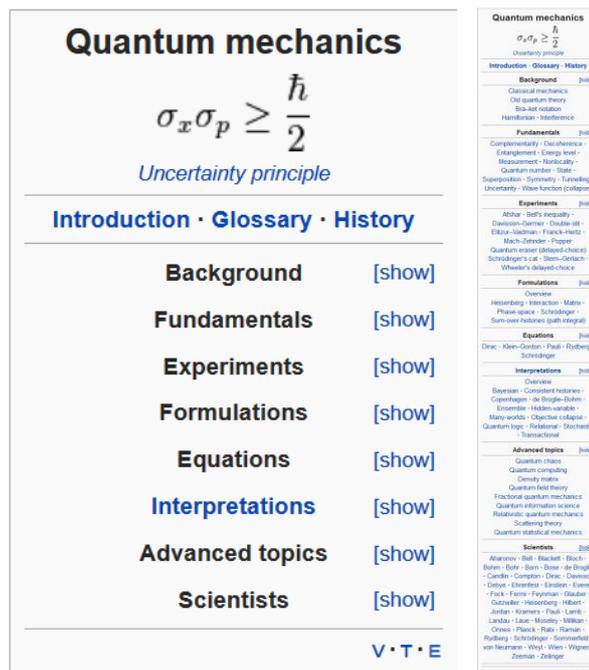


Figure 1 : Menu contextuel pour la physique quantique des pages anglophones de Wikipédia.

Wikipédia propose un début de réponse à cette problématique en intégrant des menus contextuels dans ces articles sur l'exemple de celui présenté ci-dessus. Malgré cette évolution des ressources, il est difficile pour certains lecteurs d'organiser leurs lectures du fait qu'ils n'arrivent pas à percevoir comment ces éléments sont interconnectés et donc quelle stratégie mettre en place pour la découverte du domaine d'étude.

#### **1.2.2.5. *Le livre de référence***

Contrairement aux ressources citées ci-dessus qui font l'objet d'une utilisation plutôt ponctuelle, les livres de référence sont utilisés à intervalles réguliers pendant la formation car ils fournissent des définitions de concepts que les étudiants rencontrent tout au long du cours. Le terme « livre de référence » peut être défini comme « tout livre, petit ou gros, ayant pour but d'enseigner ou de renseigner » [WEB – WikipédiaRéférence]. Dans le cas de ce présent manuscrit, nous utilisons livre de référence pour identifier tout livre qui couvre les connaissances d'un domaine de manière factuelle et collégiale.

Les problèmes de représentativité concernent moins cette catégorie de ressource. Co-écrits par des communautés d'experts et soumis aux exigences des comités scientifiques et éditoriaux, ces ouvrages ont une démarche qualité structurée et rigoureuse. Toutefois la structure de ces ressources rend leur utilisation complexe. Les livres de référence ne sont pas forcément conçus pour être lus en entier mais plutôt pour permettre au lecteur de vérifier des points précis. Toutefois, les différents concepts sont repris tout au long du livre. Ainsi, les informations pertinentes à un sujet particulier peuvent être distribuées dans le livre car elles sont utilisées pour illustrer des sujets connexes. Malgré le fait que ces ressources contiennent des tables des matières, des glossaires et des indexes, il est difficile pour les apprenants novices du domaine de distinguer les informations pertinentes de celles qui le sont moins.

#### **1.2.3. Discussion**

Les différentes ressources électroniques auxquelles nous faisons référence sont des parties constituantes de l'EAP d'étudiants. Ils utilisent ces ressources pour découvrir des notions sur des concepts qu'ils rencontrent, pour approfondir les connaissances acquises en cours et pour illustrer leurs savoirs dans leurs devoirs et projets. Ils emploient ces ressources en conjonction avec une multitude d'outils de travail individuel et collectif, des ressources papiers et expérimentales et des personnes-ressources comme les pairs, les enseignants et les documentalistes.

Ces ressources peuvent être catégorisées en fonction d'un nombre de points. Par exemple, on peut évaluer la fréquence et le contexte d'utilisation, le processus de création, la qualité informationnelle et la qualité pédagogique. Ces considérations sont souvent prises en compte par l'équipe enseignante qui propose des ressources complémentaires que les apprenants peuvent explorer mais par l'émergence de la classe inversée [Strayer, 2012 ; Bergmann et Sams, 2012] et l'apprentissage par projet [Blumenfeld et al, 1991], les apprenants sont encouragés à effectuer davantage de recherches documentaires.

De ce point de vue et au-delà des considérations concernant les ressources et les outils, il est important de considérer les pratiques des apprenants et plus particulièrement les stratégies qu'ils mettent en place pour gérer ces ressources, notamment pour opposer et démystifier les ressources discordantes, pour mémoriser les informations rencontrées, pour les transformer en connaissances et pour les appliquer dans des contextes concrets.

Les établissements de l'enseignement supérieur mettent en place des formations à destination de leurs étudiants à propos des compétences informationnelles mais face à des ressources en croissance exponentielle avec une qualité aléatoire, il est encore difficile pour les apprenants d'avoir la distance critique nécessaire pour évaluer les ressources à leur disposition [Palfrey et Gasser, 2008]. Parmi les éléments qui provoquent des questionnements, on peut notamment citer la sémiotique de l'hyperlien.

#### **1.2.4. L'hyperlien**

Fréquemment, les ressources pédagogiques électroniques citées ci-dessus contiennent des hyperliens qui facilitent la navigation dans les ressources ou qui pointent sur des ressources complémentaires. L'hyperlien est une notion complexe. Il est caractérisé par ce qui est affiché au lecteur ainsi que par ce qui se cache derrière le lien cliquable. Toutefois, ces deux caractéristiques ne sont pas toujours correctement accordées.

Dans ce contexte, [Saemmer, 2015] tente de définir une nouvelle rhétorique du texte numérique qu'il positionne par rapport aux définitions de la relation sémiotique entre le document source et le document cible [Mayer et Moreno, 2003 ; Jeanneret et Souchier, 2005 ; Souchier, 1998 ; Baccino, 2011]. L'exploration de l'hyperlien dans les hypertextes forme le noyau central de cette réflexion. Pour illustrer les problématiques ainsi que les avantages d'une telle lecture, il s'appuie sur les travaux de nombreux chercheurs dont [Baccino, 2011] :

« [L]’hypertexte est fondé sur une idée « louable », mais problématique dans son actualisation lors de la lecture : celle de rendre disponible, par le biais d’hyperliens, toutes les informations associées de près ou de loin à une notion. »

En effet, cette idée peut être problématique pour le lecteur car il lui est difficile de relier ces différents contenus et d’y extraire un sens :

« Dans la pratique, la « multiplicité de niveaux » provoquerait souvent « une perte de l’objectif initial de lecture ». La cohérence, « propriété essentielle de la compréhension », ne pourrait pas être établie entre les différents passages lus : en résulterait une « désorientation » du lecteur. »

On retrouve la problématique évoquée ci-dessus concernant la capacité de lectures à trouver un sens à des informations distribuées dans plusieurs documents. Mais, alors que l’utilisation des hyperliens dans le texte électronique suscite la préoccupation de nombreux chercheurs, d’autres préfèrent relativiser. C’est le cas de [Saemmer, 2015] qui nous rappelle l’effet positif des hypertextes pour guider le lecteur dans sa découverte de contenu :

« Or certains textes parsemés d’hyperliens offrent au lecteur des aides d’orientation : ils peuvent être porteurs d’annonces, qui anticipent sur ce qui va suivre lorsque le lecteur aura cliqué. »

D’ailleurs, pour lui, les pratiques qu’on trouve chez le lecteur numérique prennent parfois source dans les pratiques de lecture papier :

« L’existence d’une seule lecture papier, concentrée et réflexive, ne relèverait-elle pas du mythe ? Il arrive à tout lecteur de feuilleter un livre, de parcourir le sommaire sans s’engager dans une découverte approfondie des contenus annoncés. Certains genres textuels comme l’article encyclopédique se prêtent même tout particulièrement à cette pratique en proposant des contenus, en mobilisant des procédés rhétoriques et présentations visuelles spécifiques. »

Dans la continuité de sa définition de l’hyperlien, il définit quinze figures de la lecture de l’hyperlien et ses procédés qu’il organise en quatre catégories ; les figures de la lecture informationnelle, de la lecture dialogique, de la lecture immersive et de la lecture dérivative. Nous nous arrêtons aux deux premières catégories qui représentent les usages des apprenants face à l’information. Les autres catégories relèvent d’une utilisation littéraire ou publicitaire

mais peuvent éventuellement être utiles pour la scénarisation ou la remédiation de contenus pédagogiques. Saemmer définit les lectures de ses premières catégories ainsi :

#### Figures de la lecture informationnelle

1. Définissant : désireux d'en savoir plus sur des mots et notions.
2. Renvoyant à la source : souhaitant vérifier ce qui se trouve énoncé dans la source.
3. Illustratif : souhaitant accéder à une confirmation de l'information donnée dans le texte géniteur.
4. Fournissant des preuves : voulant disposer de preuves pour l'information donnée dans le texte géniteur.
5. D'autorité : se laissant rassurer par une « parole d'expert ».
6. Explicatif : peut répondre aux attentes de lecteurs cherchant des compléments d'information.

#### Figures de la lecture dialogique

7. Déplaçant le focus : désireux d'accéder à un aspect différent de celui exposé dans le texte géniteur.
8. Comparatif : prêt à effectuer le transfert des caractéristiques entre le texte géniteur et le texte relié.
9. Croisant des points de vue : acceptant de mettre en perspective les arguments exposés.
10. Réinterprétant : suffisamment attentif pour démasquer la réinterprétation, ou qui se laisse manipuler en passant vite sur cette réinterprétation.

Nous allons qualifier ces catégories de figures de la lecture afin de les positionner par rapport à notre public cible, des apprenants et notamment des élèves-ingénieurs généralistes :

La première catégorie correspond à un usage plutôt classique des hyperliens. L'utilisateur est devant une information et souhaite se rassurer par rapport au sens ou à la pertinence du contenu auquel il est confronté. Ce type d'hyperlien, utilisé à bon escient, est particulièrement utile pour les lecteurs ou apprenants novices d'un domaine qui n'ont pas forcément une assez bonne connaissance des éléments théoriques nécessaires pour démêler le vrai du faux.

La deuxième catégorie correspond au développement de l'esprit critique chez le lecteur. Il est confronté à des informations ou points de vue complémentaires ou divergents et

doit se positionner par rapport au contenu. Ce type d'hyperlien est utile aux apprenants avancés qui souhaitent avoir une vision plus complète de l'ensemble d'un concept et permet la mobilisation et l'exercisation des connaissances développées chez cet utilisateur.

Toutefois, cette relation entre lecteur et « information » peut être problématique. Encore selon [Saemmer, 2015] :

« « Je vérifie sur Internet » : en prononçant cette phrase, le lecteur investit les données disponibles sur le Web de l'espoir d'y trouver des certitudes. Plusieurs études empiriques montrent que les lecteurs approchent fréquemment l'hyperlien avec une présomption d'information. Le texte relié est considéré comme une donnée factuelle que l'on consulte, censée confirmer les attentes suscitées par les annonces et l'emplacement de l'hyperlien dans le texte géniteur. »

Ce même constat est révélé par [Palfrey et Gasser, 2008] dans leur exploration de l'émergence de la définition des générations X, Y et Z :

« Digital Natives are coming to rely upon this connected space for virtually all of the information they need to live their lives. Research once meant a trip to a library to paw through a musty card catalog and puzzle over the Dewey Decimal System to find a book to pull off the shelves. Now, research means a Google search – and, for most, a visit to Wikipedia before diving into a topic. They simply open a browser, punch in a search term, and dive away until they find what they want – or what they thought they wanted. »

Face à ces problématiques, [Palfrey et Gasser, 2008] préconise une formation de « Digital Natives » à l'école comme à la maison sur les compétences informationnelles. Toutefois, la formation seule est insuffisante pour réduire l'écart entre la perception et la véracité des ressources qu'ils consultent. Ils mettent en avant le fait que ces compétences viennent avec l'expérience. Autrement dit, plus un apprenant est exposé à des ressources Web, plus il développe un esprit critique à l'égard de ces dernières. Selon [Laurillard et al, 2009] : « The workplace in a knowledge economy needs people who can think for themselves; TEL provides the means to rehearse learners in these skills. The education system cannot escape the responsibility of embracing those two facts in a programme of assessment reform. »

Il semble que les recherches Google et des ressources de type Wikipédia soient devenues les points centraux des EAP. Les apprenants se tournent vers ces ressources pour un accès facilité à l'information. Dans ce contexte, on peut se demander, que deviennent les autres ressources de l'EAP de l'apprenant. Encore selon [Laurillard et al, 2009] :

« Teachers designing online learning experiences must recognise that the Internet is not easily bounded, and their students are expert navigators within that world. They cannot ignore it, but they can make a virtue of it. Students are enthusiastic users of online networking, and with careful design of an educational equivalent, they can be nurtured into using their skills effectively for learning. »

[Palfrey et Gasser, 2008 ; Saemmer, 2015] semblent indiquer que la consultation des contributions dans Wikipédia et des sites similaires permet aux apprenants de découvrir les notions d'un domaine qu'ils souhaitent approfondir. Il pourrait donc s'avérer intéressant de s'inspirer de cette lecture avec une logique d'échafaudage pédagogique pour la création de ressources pédagogiques par les enseignants. Ce dernier point est une motivation majeure derrière la suite des travaux présentés dans ce manuscrit.

Notre exploration des avenues d'évolution des pratiques et des éléments constitutifs de l'EAP des apprenants nous a permis de nous rendre compte que l'utilisation des ressources est conditionnée par les contraintes du contexte d'apprentissage. En plus des contraintes de l'activité pédagogique, les apprenants se trouvent face à des contraintes spatiales, temporelles et technologiques. Par exemple, en séance présentielle, l'apprenant est contraint par les équipements et les outils à sa disposition ainsi que ses compétences à les manipuler et la durée de travail imposée par l'enseignant. A titre d'exemple, dans une séance d'observation décrite dans le quatrième chapitre, les apprenants travaillaient en binôme avec un seul poste informatique mis à leur disposition. Ceci impose aux apprenants de mettre en place des stratégies pour gérer les dizaines de ressources utilisées en parallèle.

L'utilisation de ressources est également conditionnée par les pratiques d'apprenants de plus en plus connectés. Parmi les pratiques, on peut notamment citer le zapping, la lecture de ressources courtes et l'utilisation de réseaux sociaux. Ces pratiques les amène à avoir une vision partielle voire faussée du domaine qu'ils sont en train de découvrir. A titre d'exemple, dans l'expérience citée ci-dessus, les apprenants se sont tournés vers Wikipédia pour avoir une définition des concepts du cours avant de se rendre compte que les documents de

l'environnement numérique de travail (ENT) de l'établissement étaient à même de répondre à leurs interrogations. Toutefois, par habitude pour certains ou par peur de passer trop de temps pour d'autres, ils se sont d'abord dirigés vers les ressources encyclopédiques collaboratives. On peut également observer que les apprenants se servent largement d'outils comme Facebook pour gérer leurs apprentissages [Sanchez, Cortijo et Javed, 2014].

Ces considérations nous mène à nous poser les questions suivantes :

1. Comment permettre aux apprenants de mieux adapter le contenu de l'EAP aux contraintes de son contexte d'apprentissage ?
2. Comment provoquer une réflexion de la part de l'apprenant sur ses stratégies d'apprentissage et notamment ses stratégies informationnelles dans la construction et la connexion de savoirs ?

La documentation intelligente, de par les possibilités qu'elle offre en personnalisation de contenu et la fonctionnalisation de ce dernier, présente des pistes pour répondre à ces interrogations. Ce domaine a fait l'objet d'importants travaux, particulièrement ces dix dernières années avec l'essor de l'utilisation du web.

### **1.3. La documentation dite « intelligente »**

Comme indiqué auparavant, le nombre de ressources à la disposition de l'apprenant est en croissance exponentielle. Il est difficile de naviguer entre ces différentes ressources, de concaténer les informations fournies et transformer ces informations en véritables connaissances. Face à cet immense univers numérique de l'information, le véritable problème à traiter consiste à trouver un sens :

« En ingénierie documentaire, un des grands défis technologiques est de rendre aisément accessible et réellement exploitable le « stock » immense d'information disponible sous forme électronique. Et si les traitements dits de surface... sont aujourd'hui prédominants dans les moteurs de recherche,... le véritable enjeu est bien celui de « l'accès au sens » des documents disponibles. » [Enjalbert, et al. 2005].

Ainsi, après la surabondance de contenu générée par le Web Collaboratif (Web 2.0), par le développement du Web Sémantique (Web 3.0) l'on peut espérer donner un vrai sens à ce contenu [Képéklian et Lequeux, 2009]. Dans cette optique, [Uren et al, 2006] définissent de contraintes techniques pour le fonctionnement optimal de ces outils :

- L'utilisation de formats standards pour la présentation de données sortantes est nécessaire pour garantir la lisibilité et la réutilisation de ces mêmes données.

Le web sémantique [Berners Lee, Hendler et Lassila, 2001] repose sur l'interopérabilité de données provenant de multiples sources (numériques, textuelles et visuelles). Il est important de réfléchir à la manière de représenter ces données et de faire en sorte qu'on puisse leur donner un sens qui peut être compréhensible par l'internaute et par d'autres applications en catégorisant ces informations.

- Un design centré sur les utilisateurs et la collaboration est primordial pour la réussite du système.

Les espaces de systèmes de gestion des connaissances sont partagés par de multiples utilisateurs. Il est important de permettre à ces derniers de découvrir, partager, commenter et éventuellement modifier les informations en temps réel. Il est aussi essentiel de se rappeler que les systèmes font souvent appel à l'intelligence machine. De ce point de vue, il faut prévoir une interface utilisateur capable de rendre les informations sortantes compréhensibles.

- La compatibilité de représentations des domaines se situe sur deux axes.

Le premier axe est celui de la compatibilité de systèmes pour l'encodage du modèle sémantique (XML, RDF, OWL). Le deuxième axe concerne le lexique qui est utilisé pour ce même modèle qui peut varier d'une communauté de pratique à un autre.

- Le traitement de formats hétérogènes est un sujet complexe.

Les données sources dans un système de gestion des connaissances proviennent de multiples fichiers dans des formats multiples. Il est donc important que le système arrive à extraire les données des fichiers et à trouver des formats compatibles pour l'ensemble.

- Les systèmes de gestion de connaissances sont dynamiques. Les informations qu'ils contiennent seront amenées à être partagées et modifiées.

Il est important que ces systèmes restent relativement souples pour permettre l'évolution des documents sans avoir besoin d'intervenir systématiquement sur le système.

- Le stockage des annotations est au cœur de la gestion des connaissances.

Les annotations permettent de croiser les intelligences machine et humaine. Pour une réutilisation efficace, elles doivent être stockées à l'intérieur du document.

- L'automatisation de l'attribution de marqueurs est souhaitable pour la prise en charge facilitée des corpus de grande taille.

Il s'agit d'identifier automatiquement les instances d'une classe et la relation entre ces classes en passant par les techniques du Traitement Automatique des Langues Naturels (TALN), afin que les outils puissent être utilisés par des utilisateurs non-spécialistes.

Dans l'évolution de la documentation intelligente qui repose largement sur les outils du web sémantique, des travaux considérables ont fait avancer le Document Virtuel Personnalisable (DVP) [Garlatti, Iskal et Tanguy, 2004 ; Desmoulins et Grandbastien, 2006], un format qui contient une grande partie de ces caractéristiques.

### **1.3.1. Le document virtuel personnalisable**

Un document intelligent « “knows about” its own content in order that automated processes can “know what to do” with it » [Uren et al, 2006]. Dans ce domaine, le document virtuel personnalisable (DVP) retient tout particulièrement notre attention car nous retrouvons un certain nombre de concepts et fonctionnalités que nous avons rencontrés lors de notre exploration de l'EAP. Ces idées sont explorées par [Uren et al, 2006]. Selon les auteurs, un DVP contient au moins l'une des caractéristiques suivantes :

- Le guidage à l'intérieur d'un document suggère au lecteur des chemins à parcourir en fonction de ses besoins ou ses envies de lecture.

Ces chemins peuvent être proposés par rapport à une thématique, un niveau de connaissances ou un but précis. Le tri permet au lecteur de renseigner un mot ou un concept clé et de consulter uniquement le contenu correspondant à ce dernier.

- La dissimulation ou la possibilité pour le lecteur d'afficher ou de cacher des informations en fonction de ses besoins ou ses envies de lecture.

Par exemple, un lecteur pourrait découvrir un concept dans un texte qui l'intéresse et vouloir en savoir plus et donc choisir d'afficher du contenu supplémentaire.

- L'annotation autorise le lecteur à insérer des repères et des commentaires dans le document afin de faciliter la lecture ultérieure de celui-ci.

Les formats les plus avancés permettent une mise en commun de ces commentaires au sein d'une communauté de lecteurs.

- Les cartes adaptatives sont utilisées pour donner un aperçu global du contenu au lecteur.

Elles permettent au lecteur de survoler la matière et la carte s'adapte au profil du lecteur ou/et à l'historique de lecture [Garlatti, Iskal et Tanguy, 2004].

Cette notion de cartographie a pris une ampleur plus importante face aux évolutions de la documentation numérique car le lecteur se sert des repères spatiaux comme par exemple la position relative des mots, le paragraphe et la pagination pour indexer les contenus et ainsi retrouver plus facilement les contenus qu'il recherche. Or, dans les documents numériques, ces repères sont mis à mal par la fluidité des formats. A l'exception de quelques formats standardisés, la rédaction des textes numériques implique l'abandon de certains standards typographiques. Par exemple, dans un document « text flow », la pagination, donnée à titre indicatif, n'a plus le même sens pour les lecteurs. Le fait de pouvoir modifier la police et la taille des caractères veut dire que les lecteurs ne retrouvent pas les repères spatiaux auxquels ils s'attendent sur la « page ». Ces repères n'ont plus de caractère permanent.

### **1.3.2. La cartographie de connaissances**

Pour aider le lecteur à se situer, il est nécessaire de prévoir de nouveaux repères spatiaux voire spatio-temporels afin de le guider dans sa découverte ou redécouverte du contenu. [Ghitalla, 2002] évoque cette idée dans sa définition de la cybergéographie :

« Appliquées aux particularités des systèmes hypertextes, les cartes sont devenues des instruments d'investigation scientifique et constituent la pierre angulaire de ce que l'on appelle désormais la « cybergéographie ».

Cette notion de représentation informationnelle est reprise par [Baccino, 2004] qui évoque des idées prometteuses pour la représentation des connaissances comme le « concept wall » qui permet un affichage thématique du contenu en fonction des choix opérés par le lecteur ou encore le « document lense » qui permet de zoomer sur du contenu afin d'obtenir d'informations contextuelles supplémentaires. Toutefois, selon lui, les outils de visualisation optimale pour la lecture des hypertextes restent à inventer.

Il pourrait s'avérer intéressant de développer une cartographie des connaissances pour un public d'apprenants. Ces cartes aideraient les étudiants à mieux situer leurs apprentissages dans le contexte général de leur formation et à mettre en place des stratégies pour atteindre leurs objectifs personnels. Dans le contexte de l'hétérogénéisation grandissante de parcours et

niveaux des étudiants de l'enseignement supérieur [Romainville, 2004] d'une part, et d'autre part, de l'intégration d'un élément de choix important dans l'orientation et le parcours de formation, l'utilisation de tels outils deviendra nécessaire pour répondre aux besoins d'une partie des apprenants singuliers.

La cartographie des connaissances s'effectue par le biais de plusieurs types de représentations visuelles. Parmi les solutions, il existe les outils de classification, les outils de clusterisation, les outils de veille et les outils du web sémantique.

Les cartes heuristiques peuvent être considérées comme des *outils de classification*. Les cartes sont produites par des utilisateurs qui souhaitent organiser leurs idées ou faire la présentation d'un ensemble de concepts. La classification est faite manuellement par l'utilisateur mais l'affichage de la carte est généré automatiquement. Simples outils d'organisation, ces outils ont subi des travaux de fonctionnalisation [Brucks et al, 2009].



**Figure 2 : Exemple d'une carte heuristique.**

Dans la continuité des cartes heuristiques, le développement de cartes conceptuelles permet une organisation plus fine des idées car il est possible d'intégrer la subordination des idées et les notions de cause et d'effet par l'ajout de mots pour qualifier les liens de type « mène à » ou « prévient que ». Alors que les cartes conceptuelles ou schémas conceptuels mettent en évidence la représentation mentale d'une situation, les cartes heuristiques permettent de démontrer le cheminement de la pensée au moyen d'une structure arborescente.

Les nuages de mots-clés peuvent être des *outils de clusterisation*. Ils permettent d'identifier et d'afficher les mots-clés d'une série de documents. Dans le cadre de la clusterisation, la taille du mot affiché correspond à la fréquence ou l'importance du mot dans un document ou corpus. La clusterisation des mots-clés ainsi que leur affichage sont générés





Luminoso [Speer et al, 2010] permet aux utilisateurs de faire des requêtes et d'obtenir un retour quantitatif par l'utilisation de la clusterisation et un retour qualitatif par la classification de ces informations par couleur, en fonction d'une analyse de leur corrélation à un paramètre fixé par l'utilisateur. Luminoso repose sur une analyse sémantique latente. Il propose un traitement et une visualisation de données du web sémantique qui permettent à ses utilisateurs de trier les informations à leur disposition efficacement, en combinant les techniques de la classification et de la clusterisation. Toutefois, le système ne permet d'imposer que trois paramètres (axe vertical, axe horizontal et couleur) en même temps. De plus, l'outil propriétaire nécessite un passage par l'entreprise de services pour pouvoir consulter les données.

WolframAlpha [WEB - WolframAlpha] est un moteur de recherche qui permet de faire des requêtes simples ou sous forme de questions sur des jeux de données de nature très différente. Il répond aux questions en construisant la réponse à partir de bases de données sémantiques et en affichant les résultats de manière synthétique. L'originalité de l'outil WolframAlpha réside dans le fait qu'on peut formuler les requêtes sous forme de questions en langage naturel. Pour l'instant, le nombre de requêtes auxquelles il peut répondre reste assez limité mais des bibliothèques supplémentaires sont régulièrement intégrées. Par exemple, pour la recherche « composite material », l'outil n'a rien donné et pour la recherche « virtual reality », la synthèse est très sommaire comme on peut constater ci-dessous :

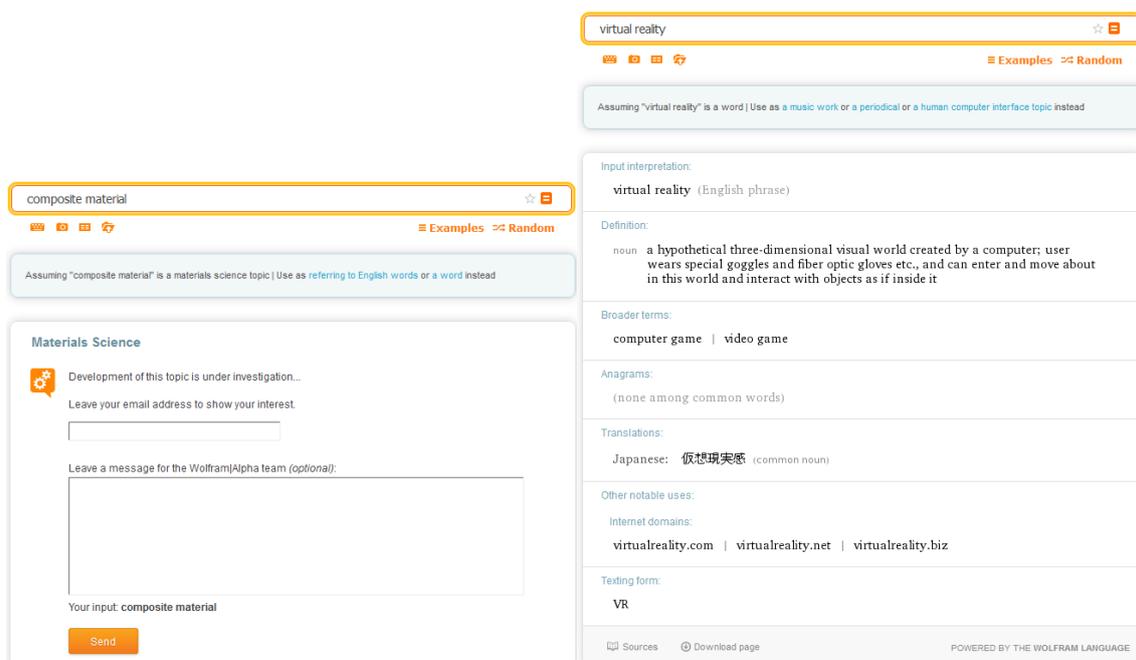


Figure 6 : Recherches effectuées dans Wolfram Alpha (6 janvier 2016).

Semantic MediaWiki (SMW+) [WEB – SMW+], une extension de MediaWiki [WEB - MediaWiki], permet aux utilisateurs de chercher, organiser, annoter, naviguer, évaluer et partager le contenu d'un wiki et en ajoutant l'annotation sémantique, elle devient une base de données collaborative. Ainsi, c'est un outil de gestion des connaissances complet qui peut être publié dans le web sémantique, permettant la réutilisation de ces données par d'autres applications web.

Faisons un comparatif récapitulatif de ces quatre outils. DBPédia propose toute la puissance de ses importantes bibliothèques de données mais l'outil est difficilement paramétrable et hors de la portée d'un utilisateur lambda. Luminoso est puissant mais peu paramétrable et nécessite le passage par une société de services. WolframAlpha est un outil prometteur pour la concaténation de contenus associés mais peut uniquement gérer des requêtes simples à ce jour (noms propres, faits historiques...). Enfin, Semantic MediaWiki, un logiciel libre pouvant s'interconnecter avec des outils existants, semble être un outil adapté pour la gestion de connaissances avec les technologies sémantiques.

### **1.3.3. Le web sémantique**

Le web sémantique ou web des données vise à aider les machines à faire émerger de nouvelles connaissances à partir de la quantité d'informations disponible sur internet, en attribuant des métadonnées à ces informations pour établir les relations entre elles. Le web sémantique « étend le réseau de pages Web compréhensibles par l'humain (par exemple publiées en HTML) en y ajoutant des métadonnées qui sont compréhensibles par la machine et qui créent des liens entre les contenus des différentes pages, ce qui permet à des agents automatiques (bots) d'accéder au Web de façon plus intelligente et d'effectuer des tâches à la place des utilisateurs » [WEB - IROSOFT].

Le développement du web sémantique est une tentative de réponse aux problématiques soulevées par les utilisations actuelles du web en rendant les informations du web plus intelligibles. Cette évolution progressive est déjà visible dans le moteur de recherche Google. Lorsqu'un utilisateur fait une requête, dans les résultats, il y a parfois un encadré qui permet de visualiser une synthèse d'informations. Ceci est particulièrement courant lorsqu'il s'agit du traitement d'un nom propre, comme avec l'exemple d'Alan Turing ci-dessous ou une requête courante de type recherche météorologique pour une localisation spécifique.



Figure 7 : Encadré d’une requête Google (15 novembre 2015).

L’introduction progressive de fonctionnalités sémantiques ne soulève pas d’interrogations de la part des internautes qui ne se rendent pas forcément compte des multiples transactions informationnelles derrière ces nouveaux résultats et les implications de leur utilisation. La création de ressources sémantiques s’appuie sur une architecture complexe connu sous le nom du « Semantic Web Stack » ou « Pyramide du Web Sémantique » :

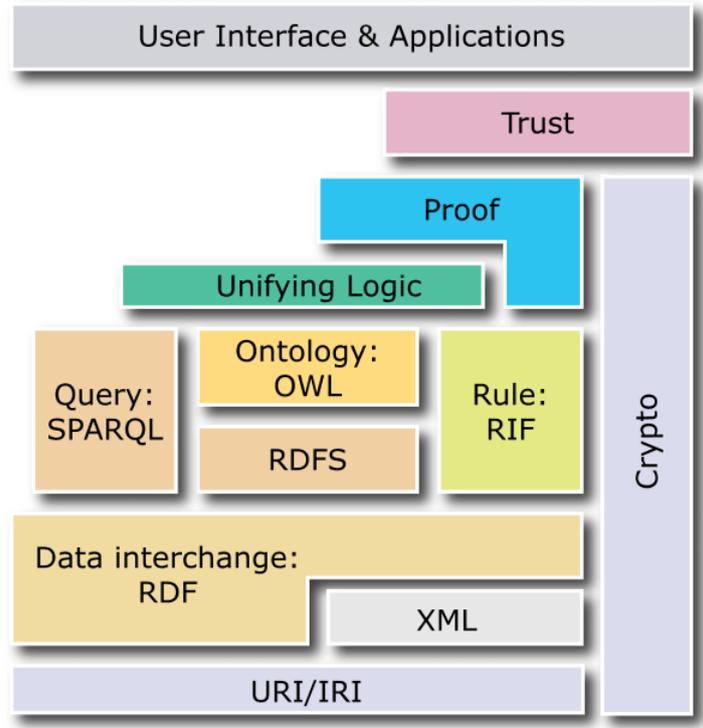


Figure 8 : Représentation du Semantic Web Stack (Source : W3C).

Le sommet de la pyramide concerne la partie applicative qui permet aux utilisateurs de formuler leurs requêtes et d'interagir avec les données résultantes. Ces requêtes sont ensuite formulées en SPARQL, une extension du langage SQL, qui permet de gérer des requêtes multicritères sur des bases de données dans multiples formats. Pour des applications comme DBPedia, celle-ci prend la forme d'une interface de programmation alors que pour des applications comme WolframAlpha, il s'agit d'un moteur de recherche simplifié.

Les parties supérieures représentent la logique qui s'applique face aux ressources. « Trust » concerne le degré de confiance que l'on accorde aux données, « Proof » concerne les mécanismes que l'on met en place pour valider la pertinence de données par rapport aux requêtes et enfin « Unifying Logic » est la manière d'arriver à un ensemble cohérent. Par exemple, lorsqu'une requête retourne plusieurs ressources, cette logique permet de classer les ressources afin d'identifier la plus pertinente et la plus fiable pour y répondre.

Les parties inférieures de la « pyramide » représentent les outils d'annotation sémantique qui permettent de qualifier les ressources et leurs contenus. Ces langages permettent d'identifier et de formaliser une ressource [XML], le contenu de cette ressource [RDF/RDFS] et les interactions entre les ressources et la représentation des connaissances ou concepts [OWL]. L'URI (Uniform Resource Identifier) est l'attribution d'un hyperlien aux ressources qui permet de nommer et d'identifier les ressources. Ceci peut prendre la forme d'un URL (Uniform Resource Locator) lorsque l'emplacement de la ressource est précis, d'un URN (Uniform Resource Name) lorsque l'emplacement de la ressource est abstraite ou inconnue comme pour le numéro ISBN d'un livre papier. Parfois, il peut prendre les deux formes.

### ***1.3.3.1. L'annotation sémantique***

Pour l'annotation sémantique, les langages XML, RDF et OWL sont référencés par le consortium W3C. Ces langages sont construits sur les mêmes bases mais répondent à des critères différents, partant du simple balisage de fichiers au balisage riche de données.

- XML - eXtensible Markup Language

Le XML ou langage extensible de balisage a originalement été mis en place pour la gestion de l'édition électronique à grande échelle afin d'améliorer l'interopérabilité des systèmes d'identification des ressources. Le XML permet d'associer des attributs aux documents électroniques pour les identifier. Ces attributs comprennent le titre, le nom de

l'auteur, le nom de l'éditeur, la date de publication, la langue d'écriture et bien d'autres valeurs. Depuis, l'usage a été étendu à d'autres données du web mais sa portée reste limitée dans le web sémantique car ce langage permet d'identifier uniquement la nature du contenu d'un fichier mais non le contenu lui-même [W3C - XML]. Les développeurs privilégient le RDF et par extension l'OWL pour la richesse de leurs syntaxes [W3C – DesignIssues].

- RDF - Resource Description Framework

Le RDF, un langage de balisage qui dépasse les limites du XML, permet d'identifier la nature de contenu d'un fichier ou dossier mais également d'identifier les relations qui peuvent exister entre les fichiers, dossiers ou jeux de données. Le RDF fonctionne en identifiant un sujet, un objet et la relation qui existe entre le sujet et l'objet. Cela s'appelle un « triplet », d'où provient l'icône du RDF. Ce langage est très largement utilisé sur le web. Il permet à des données structurées ou semi-structurées d'être mises en commun, affichées et partagées entre applications. Par exemple, les flux RSS utilisent le RDF [W3C - RDF].

- OWL - Web Ontology Language

OWL [W3C - OWL] est un langage pour la formalisation d'ontologies. Il est utilisé lorsque les informations doivent subir un traitement par une application avant d'être affichées. OWL offre un vocabulaire et un modèle sémantique beaucoup plus riches pour la machine comme pour l'humain que ceux de XML ou RDF. Ce langage proposé en version Lite, DL (Description Logics) ou Full, est utilisé pour des moteurs de recherche sémantique avancés comme WolframAlpha [WEB – WolframAlpha].

## **1.4. Les ontologies**

Les DVP ainsi que les outils du web sémantique précédemment cités s'appuient sur les ontologies pour la génération et la gestion de contenus. Les ontologies permettent de formaliser les relations entre des concepts et leurs attributs. On peut par exemple regrouper des synonymes dans une catégorie, établir des mots-composés à partir d'un terme et surtout mieux comprendre comment les concepts s'articulent pour former un domaine d'étude.

Elles sont notamment motrices dans le développement du web sémantique car elles favorisent la réutilisation d'informations dans une logique transversale [Aussenac-Gilles, Baziz, et Hernandez, 2006]. C'est-à-dire qu'elles permettent de connecter les différents domaines et de tenter de converger vers un maillage qui représente la complexité des données sur le web à l'image de réseau de DBPédia. En ce qui concerne les DVP, elles en sont les

pièces maîtresses car elles identifient et qualifient les relations entre les différents objets contenus dans les documents par la formalisation d'un langage commun pour la description de ces derniers.

Une ontologie de domaine est la représentation d'un domaine de connaissances par la définition d'un ensemble de concepts et des relations qui peuvent exister entre ces concepts. D'une certaine façon, elle traduit « ...un consensus explicite permettant un certain niveau de partage... » [Charlet et al, 2004]. Le consensus s'établit en adoptant une approche probabiliste et en retravaillant le résultat ou en établissant un modèle de travail à partir du consensus des experts du domaine qui est ensuite mis en application.

Les ontologies de domaine ont à la fois un caractère relatif et un caractère formel. Relatif car la création d'une ontologie de domaine implique une intervention humaine quasi-systématique qui la rend relativement subjective et formelle car elle est créée pour être exploitée par des systèmes informatiques.

« Une ontologie implique ou comprend une certaine vue du monde par rapport à un domaine donné. Cette vue est souvent conçue comme un ensemble de concepts – ex. entités, attributs, processus -, leurs définitions, leurs interrelations et différentes propriétés et contraintes associées. On appelle cela une conceptualisation. Une ontologie peut prendre différentes formes mais elle inclura nécessairement un vocabulaire de termes et une spécification de leur signification. » [Charlet et al, 2004]

#### **1.4.1. Les méthodes pour construire des ontologies à partir de corpus**

Depuis une vingtaine d'années, des chercheurs modélisent la construction d'ontologies en définissant les étapes dans l'élaboration de ces dernières. On peut notamment citer les travaux sur les approches d'ingénierie textuelle de [McCrae, 2009] et l'approche Methontology, mise en place par [Fernandez, Gomez-Pérez et Juristo, 1997]. Cette approche agnostique se divise en sept tâches et est reprise dans de multiples projets ontologiques. Elle sert également de base pour l'analyse comparative des outils ontologiques dont [Gherasim et al, 2011]. Elle sépare les étapes en deux catégories :

- 1) Tâches liées à l'identification des concepts et des relations
  - a) Construction du glossaire de termes
  - b) Construction des taxonomies des concepts
  - c) Construction des diagrammes pour les relations binaires ad hoc
  - d) Construction du dictionnaire de concepts

- 2) Tâches liées au raffinement de l'ontologie
  - a) Description des relations binaires adhoc, attributs et constantes
  - b) Description des règles et axiomes formels
  - c) Description des instances

Les approches et outils dont fait état cette analyse (OntoLearn, Alvis, Text2Onto et SPRAT) sont pour la plupart des approches et outils semi-automatiques. Il est également important de constater qu'elles se limitent aux quatre premières étapes, c'est-à-dire que l'approche résulte dans la définition d'une ontologie brute qui comporte quelques erreurs et doit obligatoirement être soumise à une évaluation et optimisation par un comité d'experts ou par des outils de diagnostic et d'évaluation comme l'alignement ontologique.

En ce qui concerne la partie « ingénierie textuelle » représentée par les quatre premières tâches de Methontology, nous pouvons identifier trois types d'approche ; l'approche par fréquence, l'approche par variation et l'approche par représentativité [Koyama et Takeuchi, 2011].

*L'approche par fréquence* est la méthode la plus simple à mettre en œuvre. Il s'agit de comptabiliser le nombre des fois qu'un lemme est utilisé dans un corpus. Les lemmes sont ensuite classés par ordre de fréquence avant d'être comparés avec un lexique de la langue de travail. *L'approche par variation* est bien adaptée aux langues morpho-syntactiques comme la langue française ou la langue japonaise. Il s'agit d'analyser comment l'utilisation des lemmes peut varier à l'intérieur d'un corpus. Enfin, *l'approche par représentativité* fonctionne sur le modèle Term Frequency-Inverse Document Frequency (TF-IDF) en analysant la fréquence du lemme proportionnellement à l'ensemble du corpus.

En fonction du corpus, il peut être intéressant d'adopter une méthodologie qui combine plusieurs de ces approches, notamment, l'approche par fréquence ou l'approche par variation avec l'approche par représentativité afin d'identifier une éventuelle corrélation entre les résultats [Gherasim et al, 2011].

#### **1.4.2. Les ontologies de scénarisation pédagogique**

Les ontologies de scénarisation pédagogique permettent de formaliser les activités pédagogiques par la caractérisation d'objets d'apprentissage.

On distingue trois spécifications reconnues universellement ; le Learning Object Metadata (LOM) [WEB – LOM], le Sharable Content Object Reference Model (SCORM)

[WEB – SCORM] et l'IMS Learning Design (IMS LD) [WEB – IMS]. Le *LOM* est un métalangage normalisé pour la description des ressources pédagogiques. Il permet d'identifier et de décrire des ressources afin de promouvoir l'interopérabilité des activités et des plateformes pédagogiques. Par exemple, pour une activité pédagogique on peut définir les objectifs d'apprentissage, le domaine d'étude, le nombre de participants et le temps nécessaire pour compléter l'activité. Le *SCORM*, un autre métalangage normalisé, permet une définition plus fine des ressources et activités pédagogiques en vue d'aller vers un plus grand partage des ressources pédagogiques existantes. Les spécifications de l'*IMS LD* forment le langage *de facto* pour la modélisation des processus d'apprentissage. Ces spécifications ont été intégrées dans une ontologie de scénarisation pédagogique du même nom [Amorim et al, 2006]. Plus élaboré que les autres métalangages, il permet de définir des scénarii pédagogiques ainsi que les rétroactions qui permettent de gérer l'utilisation des ressources.

Selon [Desmoulins et Grandbastien, 2006], dans la modélisation des scénarii pédagogiques, on peut distinguer trois types d'ontologie qui contribuent à leur description. Premièrement, les ontologies liées aux ressources dont celles relatives à la forme des documents et aux domaines. Deuxièmement, les ontologies liées à la structuration dont celles des types de description, des types de connaissances et des utilisations pédagogiques. Enfin, les ontologies liées à la scénarisation qui gèrent les objectifs et activités d'apprentissage.

On peut notamment s'inspirer des travaux effectués par ces derniers dans le domaine du développement de systèmes de gestion de la documentation technopédagogiques pour l'industrie. Ils proposent notamment un découpage des tâches dans la définition de contextes d'apprentissage, indiquant les différents facteurs à prendre en compte dans la définition de ces derniers.

## **1.5. Discussion**

Comme nous avons pu le constater dans notre exploration de ressources utilisées par les enseignants et les apprenants et les pratiques associées, les ressources pédagogiques des EAP d'apprenants ne permettent pas forcément un usage optimal de ces dernières pour répondre aux exigences de la formation ingénieur-généraliste. Ils se trouvent dans l'obligation de faire un choix entre le respect des contraintes spatiales, temporelles et technologiques des contextes pédagogiques et la sélection des ressources les mieux adaptées pour répondre à leurs besoins en apprentissage.

Conjointement, les apprenants développent des habitudes en pratiques documentaires qui les font privilégier les ressources courtes, accessibles et synthétiques qui ne les permettent pas de prendre en compte l'ensemble des enjeux du domaine qu'ils sont en train d'étudier. Ils peinent à prendre le recul nécessaire pour mettre en place des stratégies de gestion des connaissances efficaces et efficientes. L'utilisation des ressources fait également sortir des problématiques en termes de qualité de contenu et du processus cognitif.

Le développement de la documentation intelligente et notamment les documents virtuels personnalisables semble être une piste prometteuse pour la mise en place de ressources qualitatives et fonctionnelles. Ces derniers reposent sur des ontologies de domaine pour la gestion de l'accès au contenu pédagogique. Or, dans des nombreux domaines de sciences de l'ingénieur, ces ontologies n'existent pas encore ou ne sont pas à jour de l'évolution du domaine d'étude.

Dans le chapitre suivant, nous explorerons l'ensemble de ces problématiques. Ceci nous permettra d'évoquer des hypothèses de recherche et de procéder à la mise en place d'une méthodologie globale pour répondre aux enjeux de ces problématiques.

## **Chapitre 2 : Problématiques, hypothèses et démarche**

## **2. Introduction**

Notre exploration des éléments constitutifs des EAP et de la documentation intelligente nous a permis de nous rendre compte des besoins des enseignants et apprenants et des limites des outils et approches existants.

### **2.1. Problématique**

Nous avons pu relever trois points interconnectés autour de la structuration de la documentation numérique et notamment les ressources trouvées sur le web :

- La représentativité des ressources utilisées par les apprenants
- L'impact des hyperliens
- La contextualisation de connaissances

Pour débiter leur exploration d'un domaine particulier, les apprenants ont tendance à privilégier les ressources web comme les encyclopédies collaboratives et les chaînes multimédia. Or, ces dernières ne sont pas forcément représentatives des connaissances à acquérir à cause du manque de politique éditoriale, elles peuvent être cognitivement disruptives, notamment par la place prépondérante des hyperliens et elles ne permettent pas forcément aux apprenants de faire des liens concrets entre les connaissances voire les compétences acquises car elles ne permettent pas de prendre en compte le caractère multidimensionnel de ces dernières. Nous explorons ces trois points en profondeur ci-dessous avant d'évoquer des hypothèses qui aboutiront à l'amélioration structurelle des hypertextes afin de faciliter la recherche d'informations par les apprenants, de personnaliser leur accès aux connaissances et privilégier un apprentissage qui met en contexte ces dernières.

#### **2.1.1. La représentativité des ressources utilisées par les apprenants**

Les apprenants, notamment en contexte de séances en présentiel ont tendance à privilégier les ressources web [Palfrey et Gasser, 2008 ; Carolan et al, 2015]. Ces ressources permettent aux apprenants d'avoir un accès rapide aux connaissances qu'ils doivent manipuler au cours de leurs apprentissages. Ils utilisent des ressources de type Wikipédia ou Youtube pour avoir une définition des termes qu'ils rencontrent et pour accéder à des présentations vulgarisées de notions complexes [Palfrey et Gasser, 2008]. Ils consultent également les ressources mises à disposition par les enseignants sur l'ENT de leur établissement. Ces dernières leur permettent de ré-visionner des concepts qu'ils ont rencontrés lors des cours magistraux pour les appliquer lors des travaux dirigés et travaux pratiques.

Toutefois, la question de la qualité des ressources numériques et notamment de celle des ressources web est récurrente. L'évolution vers des pratiques et des outils collaboratifs à grande échelle participe au développement d'une méfiance vis-à-vis de ressources web. On déplore souvent l'ignorance ou l'inexistence d'une politique éditoriale. Par exemple, malgré les politiques mises en place par Wikipédia, [Suh, Convertino, Chi et Pirolli, 2009] déclarent que « Consistent and reasonable enforcement of [the] policies and guidelines is difficult, and can result in novice users experiencing differing levels of resistance ».

Ceci implique que la qualité des ressources en ligne puisse être très aléatoire et même lorsque cette politique est mise en place, le nombre conséquent des contributions veut dire que les contenus des sujets de petite augure, souvent rédigés par des auteurs uniques, sont rarement vérifiés [Halavais et Lackaff, 2008]. Au début 2012, il existait environ cent quatre-vingt-quinze milles articles avec un éditeur unique produit par environ cent quatorze mille utilisateurs [Keegen, Gergle et Contractor, 2013]

Les ressources sont également dépendantes d'un flux continu de contributeurs bénévoles pour alimenter et contrôler la qualité des contributions. Par exemple, seulement dix pour cent des contributeurs de Wikipédia sont responsables de quatre-vingt-dix pour cent des modifications et Wikipédia fait régulièrement face à de pénuries de bénévoles [Palfrey et Gasser, 2008 ; Simonite, 2013].

Il pourrait s'avérer plus intéressant pour les apprenants d'avoir accès à des ressources comme les livres de référence. Pourtant, ces ressources sont plus adaptées à une lecture longue et réflexive.

**Comment faire en sorte que les apprenants aient accès à des ressources de qualité tout en s'assurant que ces dernières permettent un accès rapide et adapté aux informations dont l'apprenant a besoin en temps réel ?**

### **2.1.2. L'impact des hyperliens**

Les liens hypertextes sont les noyaux centraux du web collaboratif. Le maillage formé par les documents permet aux internautes de parcourir les ressources avec une plus grande aisance. Toutefois, ce qui était initialement prévu pour faciliter l'utilisation du web peut également être source de problème pour certaines catégories d'utilisateurs.

Face à un hyperlien, le lecteur devra prendre la décision, parfois de manière inconsciente, de poursuivre sa lecture du document actuel ou bien de cliquer sur l'hyperlien pour découvrir le contenu qui se trouve derrière [Baccino, 2004]. Ce processus est très perturbateur pour les lecteurs, surtout lorsqu'il s'agit de novices du domaine [DeStefano et Lefevre, 2007]. De plus, cette notion d'hyperlien est assez abstraite car, contrairement aux lecteurs des ressources papiers, le lecteur d'un texte électronique contenant des hyperliens est incapable de juger de l'ampleur ou de la nature du contenu auquel l'hyperlien fait référence, [Saemmer, 2015].

Pour illustrer ce propos, reprenons la citation de [Baccino, 2011], mise en avant par [Saemmer, 2015] :

« Dans le champ de la lecture, un exemple frappant de cette gestion difficile d'informations massives facilement disponibles est l'hypertexte. L'idée du départ était louable : rendre disponible par le biais de liens toutes les informations associées de près ou de loin à une notion. Le lecteur était de plus libre de choisir lui-même son mode de lecture, allant du général vers le plus spécifique (il traçait son chemin dans l'hypertexte). Les limites sont vite apparues : la multiplicité des niveaux entraîne souvent une perte de l'objectif initial de lecture (appelée désorientation cognitive). Le lecteur ne sait plus où il est après avoir digressé dans l'hypertexte. Cette perte du but est d'autant plus forte que le lecteur n'a pas une connaissance du texte à lire. »

Pour les textes numériques, il devient nécessaire de trouver un moyen de maintenir le relationnel entre les documents et les informations qu'elles contiennent, tout en évitant les effets disruptifs de la lecture d'hyperliens. Le développement du web sémantique permet de limiter l'usage des hyperliens en concaténant les informations à l'intérieur d'une ressource unique. C'est notamment le cas des moteurs de recherche dits « intelligents » comme celui de [WEB – WolframAlpha] qui répond à des requêtes multicritères et qui est de plus en plus capable de comprendre l'utilisation de langage naturel dans les requêtes.

D'autres sites web plus classiques proposent de pré-visualiser une partie du contenu en survolant le lien à l'aide de la souris. Ceci peut permettre au lecteur de juger de la pertinence du contenu qu'il s'apprête à consulter. D'autres proposent des aides à la lecture comme un affichage de l'arborescence du site pour mieux se situer par rapport au contenu ou encore des systèmes qui permettent de qualifier la pertinence ou l'intérêt des liens avec des mécanismes de notation ou appréciation de type « like » [Saemmer, 2015]. Néanmoins, ces systèmes

nécessitent que le lecteur interrompe sa découverte du contenu pour prendre une décision informée sur la poursuite de sa lecture. Certes, cette prise de décision est facilitée par l'utilisation de ces outils mais l'hyperlien demeure un élément perturbateur.

**Comment maintenir les effets positifs d'hyperliens comme le fait de proposer une structuration d'informations ou la possibilité de faire un apprentissage « sérendipitique » tout en évitant les effets néfastes de ces derniers ?**

### 2.1.3. La contextualisation de connaissances

Il est difficile pour les apprenants de faire le lien entre différentes informations qu'elles soient numériques (distribuées sur plusieurs pages) ou papier (distribuées sur plusieurs sections). Prenons l'exemple de Wikipédia. Un apprenant effectue une recherche sur un domaine comme les matériaux composites. Dans la description de ces derniers, il rencontre les termes « renfort » et « matrice ». Il clique sur les hyperliens où il découvre d'autres termes qui lui sont étrangers. Il clique sur les hyperliens pour approfondir ces termes et arrive sur de nouvelles pages contenant encore des termes étrangers et ainsi de suite. Au bout d'un certain temps, il revient au point de départ mais peine à faire le lien entre les différents termes rencontrés et est potentiellement passé à côté d'un concept clé qu'il est censé manipuler [Baccino, 2004 ; Saemmer, 2015].

Nous retrouvons cette problématique avec les livres papiers ou électroniques où des éléments concernant les différents termes sont distribués dans plusieurs sections du livre. Il est difficile pour un apprenant et plus particulièrement un apprenant novice de savoir par quelle section commencer ses lectures [Saemmer, 2015]. Il sera donc dans l'obligation de parcourir l'ensemble du contenu associé, un processus très chronophage, notamment dans des contextes d'apprentissage où les contraintes de temps sont fortes.

Cette problématique est commune à la mise en relation des connaissances voire les compétences que les apprenants ont déjà acquises. Par exemple, dans la formation ingénieur généraliste, les apprenants acquièrent des connaissances dans le tronc commun de cours qui rythment les premières années de leur formation. Les apprenants doivent ensuite mettre ces connaissances en pratique pendant les années de spécialisation. Toutefois, les apprenants peinent à avoir une vision globale du cours où les connaissances et compétences sont retravaillées à plusieurs reprises tout au long de la formation. C'est pour cela que les

établissements mettent en place de manière progressive des approches programme ou approches par compétences [Carolan et al, 2015].

**Comment faciliter la prise de recul nécessaire aux apprenants pour qu'ils comprennent comment les connaissances et compétences qu'ils sont en train d'acquérir s'articulent pour former un socle de connaissances qui valident à la fois leur formation et leur capacité à le mettre en œuvre dans des situations concrètes ?**

## **2.2. Hypothèses**

Pour répondre à ces problématiques, nous émettons trois hypothèses qui nous permettront d'explorer la résolution de ces problématiques par la mise en place d'une méthodologie et des outils pour la fonctionnalisation accrue de ressources pédagogiques numériques :

- Le livre de référence – une ressource qualitative et représentative
- Le DVP – un outil efficace pour l'apprenant
- La carte de connaissances – un outil pour situer ses apprentissages

Ces dernières seront explorées en plus de détail dans la suite de cette section et nous permettront d'élaborer une démarche qui sera décrite dans la section suivante.

### **2.2.1. Le livre de référence – une ressource qualitative et représentative**

Par sa large couverture du domaine, sa rédaction collaborative et ses comités éditoriaux et scientifiques importants, les livres de référence peuvent être considérés comme des ressources fiables et qualitatives. Ils peuvent accompagner les apprenants dans leur découverte du domaine en exposant les concepts et les connaissances que les apprenants doivent maîtriser. Par contre la nature de ces ouvrages complique leur utilisation car les concepts sont distribués sur plusieurs chapitres.

En fonctionnalisant les livres de référence, pour faciliter les recherches des apprenants en fonction de leurs profil et objectifs, cette ressource destinée à une lecture lente et concentrée peut être adapté à d'autres contextes d'utilisation. La fonctionnalisation de ces ressources passe par la création de DVP qui s'appuie sur des ontologies de domaine [Garlatti, Iskal et Tanguy, 2004]. Ces dernières n'existent pas ou ne sont pas à jour dans nombreux domaines dont ceux sélectionnés pour notre étude : les matériaux composites et la réalité virtuelle. A titre d'exemple, l'ontologie la plus complète sur les matériaux remonte à plus de

vingt ans [Schoeller, 1994] et ne tient pas compte des dernières évolutions du domaine. Un exemple plus récent a été proposé par [Ashino, 2010] mais cette ontologie ne fait l'objet d'aucun consensus. En ce qui concerne la réalité virtuelle, à notre connaissance, aucune ontologie complète du domaine n'existe à ce jour. Il est essentiel de construire des ontologies pour ces deux domaines classifiés comme étant à évolution forte à cause de la relative « jeunesse » de ces sciences en tant que telles.

Après étude des différentes méthodologies proposées dans la littérature pour la création de ces ontologies, nous avons pu constater que les approches existantes ne mettaient pas en place des protocoles suffisamment rigides pour garantir la qualité du corpus et donc de l'ontologie produite. A part quelques exceptions, les auteurs des approches semblent négliger la question de la qualité éditoriale des ressources du corpus et de leur représentativité des domaines d'étude.

Par exemple, [Aggelopoulos et al, 2014] développent une approche basée sur l'utilisation des contenus d'un Learning Management System (LMS). Toutefois, ils ne se posent pas la question des problématiques liées à l'interprétation du domaine par une unique équipe d'enseignants, travaillant dans un contexte bien particulier. Selon leur méthodologie, plusieurs personnes conseillent le porteur du cours sur la construction de l'ontologie mais c'est lui seul qui arbitre sur les choix effectués.

[Anantharangachar et al, 2013] développent une approche sur un corpus de texte non-structuré. Ces approches sont intéressantes afin d'éviter l'effet perturbateur des éléments typographiques et bibliographiques comme les titres et les bibliographies qui contiennent une concentration de mots clés qui peut donc fausser les résultats des analyses. Toutefois, pour que cela soit effectif, il est nécessaire d'atteindre une masse critique de contenu pour assurer une relative représentativité du domaine.

[Hsieh et al, 2001] propose une méthodologie pour la construction d'ontologies à partir de photocopiés. Alors qu'elle permet d'accélérer le processus de création de l'ontologie, les résultats demeurent incomplets car les ressources utilisées ne sont pas représentatives de l'ensemble du domaine. Par ailleurs, l'utilisation des menus, indexes et bibliographies peuvent induire des effets indésirables par une concentration trop importante de mots-clés, ayant un impact sur l'analyse textuelle.

Des méthodologies plus robustes existent, comme l'approche mise en place pour l'enrichissement d'ontologies par l'annotation de glossaires en ligne [Navigli et Velardi, 2006]. Le potentiel des glossaires est également mis en avant pour utilisation dans des applications pédagogiques. Selon [Laurillard et al, 2009] :

« [A]ll disciplines develop their own languages and technical terms, and so resources such as intelligent glossaries – because they relate to the *process* of doing work in a discipline, not just the subjects under study – may be of value across disciplinary contexts. »

Alors que la pertinence de l'utilisation de glossaires pour l'ingénierie ontologique et pédagogique est démontrée, cette approche dépend de l'existence d'un glossaire exhaustif pour le domaine visé. Pour les domaines traités dans le cadre de cette étude, notamment celui de la réalité virtuelle, il est difficile voire impossible de trouver un glossaire adéquat.

[Sclano et Velardi, 2007] développe une approche potentiellement intéressante qui cherche à peupler une ontologie à partir de documents produits par une communauté de pratiques. L'extraction de termes et de relations est ensuite soumise à l'approbation de l'ensemble de la communauté par un système de votes. Cette méthodologie peut être appliquée à une communauté ou à un domaine spécifique d'étude. Toutefois dans notre cas spécifique, comme il repose sur l'utilisation de ressources et outils coopératifs et collaboratifs, nous sommes face aux problématiques précédemment identifiées de la qualité des ressources utilisées et la représentativité des ressources du corpus.

Effectivement, les questions concernant la représentativité des ontologies est au cœur des problématiques de l'ingénierie des connaissances. La plupart des approches automatiques et semi-automatiques reposent sur l'utilisation d'un corpus de textes électroniques non-structuré ou semi-structuré. Ensuite, elles effectuent des alignements avec des ontologies existantes pour garantir l'interopérabilité de leur représentation avec ces ontologies.

Cette méthodologie peut s'avérer problématique car les auteurs des ontologies partent du principe que les ontologies utilisées pour l'alignement ontologique sont représentatives des sous-domaines avoisinants de leur domaine d'étude. Ils ne se posent pas forcément la question de la validité des ontologies et ne font pas d'analyse critique ni des approches employées pour la création de ces ontologies des sous-domaines, ni de la sélection de corpus ou d'experts qui ont donné lieu à la création de ces ontologies. Il est donc difficile de valider le fait que ces ontologies soient effectivement représentatives des domaines [Shvaiko et Euzenat, 2013].

Un verrou scientifique réside dans le fait de proposer une méthodologie pour la création automatique d'ontologies représentatives de l'ensemble du domaine d'étude. En mettant en place de nouveaux critères pour la sélection du corpus, il sera possible d'arriver plus facilement à un consensus. En proposant une approche qui s'appuie sur des livres électroniques de référence, nous espérons nous affranchir de certaines questions concernant la représentativité des ontologies résultantes. Les livres de référence sont potentiellement intéressants pour la construction des ontologies de domaine car ils couvrent l'ensemble d'un domaine étudié et s'adressent généralement aux néophytes comme aux experts. On estime que dans la sous-étape de la sélection des ressources du corpus, le fait de choisir des textes de référence voudrait dire que nous arriverions plus simplement et plus rapidement à des représentations plus englobantes des domaines que nous étudions : les matériaux composites et la réalité virtuelle. Cette réflexion est à considérer comme la contribution majeure de ce présent manuscrit.

### **2.2.2. Le DVP – un outil efficace pour l'apprenant**

Par leur intégration des éléments décrits dans l'état de l'art et notamment le guidage du lecteur et la personnalisation du contenu en fonction des besoins spécifiques de l'apprenant et son contexte de consultation, les DVP rendent la lecture de ressources plus efficace [Garlatti, Iskal et Tanguy, 2004]. Ainsi, il pourrait donc s'avérer intéressant de construire un outil de ce type pour permettre aux apprenants de découvrir du contenu pédagogique en suivant un parcours de lecture guidé, établi en fonction de leur profil, l'état de leurs connaissances et de leurs objectifs d'apprentissage. En concaténant les ressources à l'intérieur de ce document unique, on permet aux apprenants de « désactiver » effectivement les hyperliens et ainsi de réduire les effets néfastes d'hypertextes. Ceci pourrait être particulièrement utile pour les apprenants novices.

Le développement de DVP pédagogiques pourrait répondre à une grande partie des besoins exprimés, car ils permettent aux apprenants d'obtenir du contenu adapté à leur niveau de connaissances et à la situation dans laquelle ils se trouvent de manière efficace afin d'optimiser l'accès à l'information et donc le temps des apprentissages. Dans certains DVP pédagogiques, on peut également observer une adaptation des exercices pédagogiques qui permet à chaque apprenant d'avancer à son rythme et bénéficier de la redondance des activités pour les aspects qu'il ne maîtrise pas encore [Behaz et Djoudi, 2005]. Il peut éventuellement

bénéficier de conseils personnalisés par le biais du feedback fourni lors de la complétion de ces activités.

Les DVP devraient permettre également de répondre à la problématique liée à l'utilisation des indexes pour la navigation à l'intérieur de ressources. Traditionnellement, les indexes sont produits soit de manière manuelle par un auteur-expert soit de manière semi-automatique en fonction de la fréquence des mots-clés et corrigées par un auteur-expert. Ils ne correspondent pas forcément aux représentations du domaine de lecteurs apprenants [Thatcher, 1995]. Les informations des DVP sont plus facilement navigables car les multiples indexes reposent sur une analyse statistique et sémantique de l'œuvre qui relève d'un langage naturel et non d'un langage de spécialiste et proposent plusieurs points d'entrée.

Un verrou scientifique réside dans le fait de proposer un DVP qui rassemble les éléments nécessaires pour la compréhension des concepts principaux du domaine de cours et permet aux apprenants d'adapter ce contenu au contexte d'apprentissage. Par exemple, les apprenants n'auront pas accès au même niveau de détail s'il s'agit d'un cours en présentiel ou d'une lecture de la ressource en autonomie. Ainsi, en structurant les paramètres du document en fonction des contraintes des différents contextes, nous espérons pouvoir accompagner les apprenants dans les diverses situations qu'ils rencontrent au cours de leur formation.

### **2.2.3. La carte de connaissances – un outil pour situer ses apprentissages**

Les apprenants ont du mal à faire le lien entre les informations, connaissances et compétences. Comme indiqué dans la section précédente, ceci est aussi vrai pour les recherches d'information que pour la formation elle-même. Dans un contexte éducatif dominé par les évaluations quantitatives, ils sont conditionnés par la réussite des modules d'enseignement sans forcément se poser la question de savoir comment les connaissances et compétences qu'ils ont acquises sont ensuite retravaillées dans d'autres modules et dans la formation dans son ensemble.

Dans l'attente de la généralisation de l'approche par compétence ou programme, la visualisation d'une représentation du domaine pourrait aider les apprenants à situer les connaissances à acquérir et à faire le lien entre leurs apprentissages [Paquette, 2002]. Elle pourrait notamment aider les apprenants à comprendre les prérequis nécessaires pour leur exploration d'un concept ou pour le domaine dans son ensemble et leur indiquer les éléments

des cours précédents à ré-visionner pour s'assurer qu'ils ont le bagage théorique nécessaire pour l'exploration du sujet.

Ainsi, ils pourraient se positionner par rapport aux résultats d'apprentissage attendus, se fixer des objectifs d'apprentissage intermédiaires et mettre en place des stratégies pour les atteindre. Evidemment, il sera préférable pour les apprenants d'entreprendre une telle démarche en collaboration avec l'équipe enseignante car si les informations qui forment les connaissances proviennent dorénavant de sources multiples, le propre du rôle de l'enseignant est de contribuer à la structuration de ces connaissances.

Il est aussi démontré que l'utilisation de cartes des connaissances a un effet cognitif bénéfique sur les apprenants. L'utilisation de cartes dans l'étude d'une ressource aide les apprenants à mieux se rappeler les idées centrales en comparaison avec l'étude d'un simple texte et elle est particulièrement efficace pour les apprenants avec une aptitude verbale faible ainsi que pour les apprenants novices [O'Donnell, Dansereau et Hall, 2002 ; Amadiou et al, 2015].

Un verrou scientifique réside dans le fait de pouvoir proposer des cartes des connaissances compréhensibles pour les apprenants afin qu'ils puissent définir les stratégies précédemment évoquées et que ces cartes soient couplées avec les DVP voire les autres ressources pédagogiques afin qu'ils puissent les exploiter directement. Par ce moyen, nous espérons pouvoir encourager les apprenants à s'engager dans une démarche réflexive sur leurs apprentissages tout en leur permettant de gagner en autonomie par la responsabilisation des apprenants dans leur projet d'apprentissage.

### **2.3. Démarche : le développement d'une approche intégrée**

Pour répondre à nos problématiques nous avons mis en place une approche intégrée qui se divise en deux grandes étapes consécutives. Chacune de ces étapes correspond à des problématiques de recherche distinctes et, ensemble, contribuent à l'élaboration des DVP.

La première étape (l'ingénierie ontologique) est conçue pour nous permettre d'arriver à une modélisation du domaine des connaissances consensuelle et englobante. La deuxième étape (l'ingénierie pédagogique) concerne la construction d'applications pédagogiques qui s'appuient sur le modèle des connaissances établi lors de l'étape précédente et est conçue pour nous permettre de proposer une plus grande personnalisation des ressources éducatives

électroniques. Chaque étape se divise en sous-étapes qui nous permettent de traiter les hypothèses énoncées.

### 2.3.1. L'ingénierie ontologique

L'étape d'ingénierie ontologique se divise en quatre étapes, elles-mêmes divisées en sous-tâches. Nous détaillerons chacune des tâches dans le chapitre suivant. Les quatre sous-étapes sont :

- la sélection des ressources du corpus,
- l'ingénierie textuelle,
- l'ingénierie ontologique,
- la validation des modèles de connaissances.

Les textes sont sélectionnés car ils répondent à une série de critères qui seront détaillés dans le chapitre suivant et qui servent à assurer la qualité des ouvrages comme des ontologies résultantes. Parmi eux, on peut notamment distinguer le fait qu'ils soient co-écrits par des communautés de chercheurs reconnus des domaines et qu'ils soient soumis à l'approbation d'un comité scientifique ainsi que d'un comité éditorial.

Dans cette étape, il s'agit de faire une analyse du contenu textuel des livres pour identifier et évaluer les fréquences des mots-clés et comment ces mots-clés sont utilisés avec d'autres mots-clés et d'autres mots dans les textes. Ceci nous permet d'identifier les concepts-clés du livre et les liens qui existent entre ces concepts afin d'émettre des recommandations sur l'architecture de l'ontologie résultante.

Cette architecture est ensuite formalisée dans une ontologie en utilisant le logiciel Protégé-OWL [Knublauch et al, 2004], l'outil de référence *de facto* pour la programmation et la visualisation d'ontologies<sup>1</sup>. Ce logiciel fournit une interface utilisateur simplifiée qui permet de définir les classes qui représentent les différents concepts traités à l'intérieur de l'ontologie, les attributs associés et les relations entre ces différentes classes. Par le moyen d'outils d'extension de type OntoDL et OwlViz, on peut également visualiser l'ontologie résultante de manière graphique.

Actuellement, il n'existe aucune méthode exhaustive pour évaluer et valider les modèles de connaissances. Ceci vient du fait que la majorité des moyens existants ont un

---

<sup>1</sup> Le logiciel est cité environ mille fois dans la littérature scientifique

caractère subjectif. Il est donc nécessaire de mettre en place une combinaison de méthodes qui permettent de réduire l'incertitude concernant le modèle. Nous validerons nos ontologies de domaine par trois moyens d'évaluation interconnectés :

Dans un premier temps, la création d'ontologies de domaine à partir d'un corpus non-structuré permet d'établir une base de comparaison des ontologies de domaine et identifier les particularités de notre approche.

Dans un deuxième temps, l'ontologie est soumise à l'appropriation de trois experts indépendants qui représentent les trois catégories d'utilisateur de ces ontologies ; les enseignants, les chercheurs et les industriels. Ceci se fait en quatre sous étapes. Dans un premier temps, nous demandons aux experts de déclarer des mots-clés de domaine et de procéder par l'association de mots à l'élaboration d'un début d'ontologie. Ensuite, par l'élicitation, nous leur demandons de hiérarchiser et compléter ces éléments pour arriver à une représentation plus large du domaine. Dans un troisième temps, ils sont présentés avec une série de mots-clés qui peuvent potentiellement faire partie d'une ontologie du domaine que nous leur demandons de commenter avant de retourner à leur propre représentation du domaine. Enfin la quatrième et dernière étape consiste à compléter et corriger l'ontologie issue de nos analyses textuelles.

Dans un troisième et dernier temps, l'ontologie est alignée sur les ontologies existantes des sous-domaines qui permettent de s'assurer de l'interopérabilité de nos représentations avec les représentations existantes et ainsi permettre l'extension de nos ontologies et ressources vers des sous-domaines et éventuellement des domaines connexes.

### **2.3.2. L'ingénierie pédagogique**

Les ontologies de domaine mises en place dans le cadre de notre travail de recherche servent de base pour la création des ressources pédagogiques. Afin de tirer pleinement profit de ces développements, nous alignons les ontologies de domaine par rapport aux contextes d'apprentissage. Ces contextes sont catégorisés par un certain nombre de facteurs dont les référentiels de compétences.

Comme nous avons pu constater par nos observations des apprenants et des constats faits à partir de la littérature, l'utilisation des ressources pédagogiques dépend largement du contexte d'apprentissage. Il est donc nécessaire de décliner ces différents contextes et de

comprendre comment le développement des applications pédagogiques permet d'adapter les ressources aux spécificités des enseignements.

Dans la mise en place des activités pédagogiques dans une approche par compétence, il est indispensable d'assortir les tâches à accomplir par rapport au développement de compétences transversales. Pour ce faire, il existe de multiples référentiels et dans un esprit de collégialité, il est nécessaire d'évaluer la portée de ces derniers afin de définir le modèle à retenir dans le développement de l'application. La production et l'utilisation des ressources électroniques pour l'éducation nécessitent également de prendre en compte les spécificités des contextes et quelques principes de précaution. Ces recommandations proviennent des multiples référentiels qui existent dans la matière dont [WEB - Compétice].

Les applications pédagogiques sémantiques permettent, par le TALN, de produire des ressources qui répondent à des requêtes de plus en plus détaillées. Nous proposons la construction de ressources personnalisées qui prennent en compte les facteurs précédemment cités et qui s'adapte aux requêtes générées par les apprenants en fonction de la matière à apprendre, les objectifs visés et le contexte d'apprentissage.

Pour évaluer les dispositifs nous faisons une démonstration des principales fonctionnalités de l'application aux utilisateurs dans un groupe témoin et réalisons des entretiens avec ces derniers afin de s'assurer de la pertinence de l'outil développé par rapport aux besoins des élèves-ingénieurs généralistes. Les résultats de ces entretiens, détaillés dans le quatrième chapitre de ce présent manuscrit, permettent, d'une part, de mieux comprendre comment les fonctionnalités développées correspondent aux usages des apprenants et, d'autre part, d'élaborer des perspectives en termes de l'ergonomie de l'application et de ses ressources ainsi que pour le développement de fonctionnalités supplémentaires.

Alors que ces évaluations nous permettent d'évaluer la pertinence de notre approche, l'évaluation des dispositifs doit obligatoirement se faire sur plusieurs années car il y a des nombreuses variables qui peuvent influencer sur l'efficacité du dispositif :

Premièrement, il y a des variables démographiques et culturelles et de niveau d'expertise d'une promotion à l'autre qui font qu'il est préférable de faire plusieurs itérations d'un cours avant de pouvoir faire des observations concluantes.

Deuxièmement, l'ergonomie des ressources peut avoir un impact considérable sur l'appropriation du contenu pédagogique par les apprenants [Baccino, 2004]. Nous faisons des

allusions à des questions d'ergonomie dans ce présent manuscrit lorsque cela est approprié mais ce travail ne saura pas tenir compte de la complexité des enjeux ergonomiques notamment en ce qui concerne la cognition de la lecture.

Troisièmement, il est nécessaire d'atteindre une masse critique afin de valider définitivement les hypothèses concernant l'efficacité des dispositifs pédagogiques. La majorité d'études d'une grande ampleur fixe cette masse critique à environ mille participants, soit l'équivalent des apprenants de trois promotions d'élèves-ingénieurs généralistes dans un établissement de taille modérée.

Suite à l'exploration des tenants et aboutissants des différents champs de réflexion et la définition du cadre du projet de recherche, dans les deux chapitres suivants, nous allons davantage détailler les procédures mise en place pour répondre aux problématiques, justifier la sélection des méthodes et moyens attribués, présenter les résultats des différentes étapes et tirer des observations à exploiter dans le dernier chapitre, dédié à la discussion des résultats et la définition des perspectives de recherche.

## **Chapitre 3 : L'ingénierie ontologique**

### 3. Introduction

L'ingénierie ontologique se divise en quatre grandes étapes : la préparation du corpus, les analyses syntaxiques et sémantiques, la construction de la représentation du domaine et l'évaluation des ontologies. Les trois premières étapes sont résumées dans ce graphique :

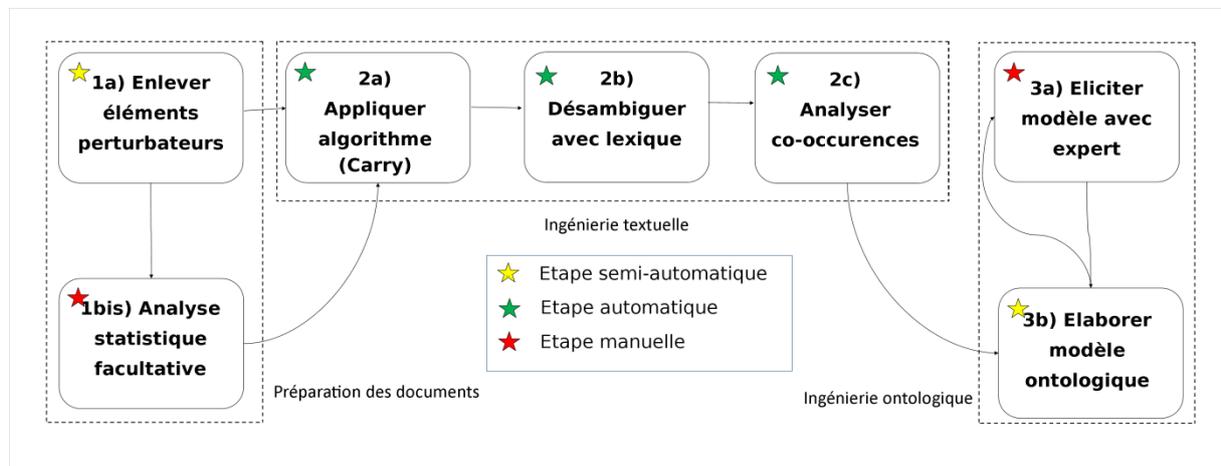


Figure 9 : Vue d'ensemble des processus d'ingénierie ontologique.

Ces étapes servent deux objectifs. Premièrement, elles permettent de valider l'intérêt potentiel d'utiliser les livres de référence pour la construction d'ontologies de domaine. Deuxièmement, elles servent à construire ces ontologies pour les sciences de l'ingénieur.

Comme souligné dans le chapitre précédent dans les domaines sélectionnés pour notre étude, les *matériaux composites* et la *réalité virtuelle*, il n'existe pas d'ontologie complète mise à jour, que ça soit en langue française ou en langue anglaise. Pour les *matériaux composites*, l'ontologie la plus complète remonte à plus de vingt ans et ne comprend pas les évolutions majeures comme les nanotubes de carbone. Des ontologies plus récentes existent pour des sous-domaines comme celle proposée par [Verhagen et Curran, 2011]. Pour la *réalité virtuelle*, à notre connaissance, il n'existe aucune ontologie du domaine complet mais il existe des ontologies qui concernent des sous-domaines comme celle proposée par [Métral, Ghoula et Falquet, 2012].

En proposant des ontologies de domaine complètes, nous contribuons à l'avancement de l'ingénierie des connaissances pour les sciences de l'ingénieur. Ces ontologies serviront à mieux structurer les périmètres des domaines et à identifier des axes de transversalité.

#### 3.1. La préparation du corpus

Dans cette première étape, il s'agit d'identifier et préparer les ressources du corpus. Il est nécessaire d'identifier celles qui sont représentatives de l'ensemble du domaine par la

largeur du traitement du sujet et l'implication de nombreux experts représentatifs des acteurs du domaine. Pour les sciences de l'ingénieur, il s'agit de s'assurer de la participation d'enseignants-chercheurs, de chercheurs, de centres de valorisation et d'industriels.

Ceci représente une des plus grandes particularités de notre approche. Comme souligné dans les chapitres précédents, les travaux récents dans le domaine de l'ingénierie ontologique accordent peu ou pas d'importance à la sélection de ces ressources. Quelques exceptions existent comme dans les exemples précédemment cités de l'utilisation de glossaires trouvés sur le web ou de photocopiés de cours universitaire.

Toutefois, la plupart des approches existantes reposent sur l'utilisation de corpus non-structurés. Nous partons du principe que la sélection de ressources représentatives du domaine comme les livres de référence doit permettre de générer une large représentation des connaissances du domaine.

### **3.1.1. La sélection des ressources**

Les ontologies de domaine sont construites à partir de livres de référence dans les domaines identifiés : *La Vie intime des matériaux composites* [Chinesta et Evain, 2011] et *Le Traité de la réalité virtuelle* [Fuchs et Moreau, 2006-9]. Les livres ont été sélectionnés car ils rassemblent une large communauté de chercheurs dans leur paternité.

Contrairement à la construction collaborative de ressources encyclopédiques en ligne, ces ouvrages technico-pédagogiques couvrent l'ensemble de leurs domaines respectifs et, de ce point de vue, sont des livres généralistes car ils abordent les aspects théoriques et pratiques. De plus, le contenu scientifique de ces volumes a été soumis à un comité de lecture scientifique et a fait l'objet d'un processus éditorial rigoureux.

Dans le premier, les connaissances de toute une communauté de chercheurs et praticiens sont transcrites par la main de deux auteurs. Il a été sélectionné car c'est un livre de vulgarisation scientifique qui s'adresse à des néophytes ou des débutants du domaine comme les ingénieurs généralistes. D'ailleurs ce livre sert d'élément structurant pour des cours spécialisés. Nous souhaitons notamment comprendre si la simplification du contenu par l'utilisation d'exemples récurrents et des métaphores et la structuration à des fins pédagogiques a un impact sur la structure et le contenu de l'ontologie résultante.

Dans le second, le livre est co-écrit par une communauté d'une centaine de chercheurs et praticiens. Contrairement au premier exemple, ce livre n'est pas destiné au grand public et

contient un vocabulaire scientifique plus formel. Il a été rédigé par une communauté de chercheurs à destination de chercheurs et praticiens du domaine ainsi que les futurs praticiens comme les ingénieurs généralistes en cours de spécialisation.

La double approche nous permet également de mieux appréhender l'impact de la voix auctoriale dans l'élaboration de l'ouvrage et évaluer son impact sur les ontologies résultantes. Il nous permettra notamment d'identifier ce qui est commun aux domaines et de commencer à élaborer une ontologie sur la démarche scientifique de l'ingénieur généraliste.

### **3.1.2. Le masquage d'éléments perturbateurs**

Cette étape consiste à préparer le document en vue d'analyses statistiques, syntaxiques et sémantiques. Il est nécessaire de supprimer la table des matières, les menus contextuels et les bibliographies car ces éléments, par leur concentration de mots-clés, risquent de biaiser les résultats des analyses, notamment en ce qui concerne l'identification de la fréquence des lemmes.

Par exemple dans les quatre-vingt-treize références de la bibliographie du cinquième chapitre de *Le Traité de la réalité virtuelle*, on retrouve trente et une utilisations de lemmes en anglais et français partageant la racine commune à partir du mot « environnement » alors que dans l'ensemble de l'ouvrage, la racine a une fréquence de quatre cent soixante-dix-huit utilisations. Cet exemple nous permet de nous rendre compte de la capacité de ces éléments à transformer l'ontologie résultante.

A ceci s'ajoutent deux autres éléments :

Premièrement, la plupart des références sont en anglais, ce qui risque de nuire aux résultats d'analyse en ajoutant des anglicismes ou une surcharge sur certains mots français qui contiennent la même racine.

Deuxièmement, il y a une grande disparité entre le nombre de références citées dans les différents chapitres. A titre d'exemple, dans *L'Homme et l'environnement virtuel*, le premier tome du *Traité de la réalité virtuelle*, le deuxième chapitre ne contient que cinq ressources bibliographiques alors que le troisième chapitre contient pas moins de quatre-vingt-dix-huit références, un écart non-proportionnel à la longueur des chapitres.

Il est important de constater qu'il ne s'agit pas d'éliminer définitivement ces éléments qui peuvent servir à plusieurs fins utiles. Ils sont conservés pour une utilisation ultérieure, notamment lors de la création et structuration de la ressource adaptative.

Texte	La Vie intime des matériaux composites		L'Homme et l'environnement virtuel	
	Original	Modifié	Original	Modifié
Mots	38 028	37 757 (99,28%)	169 993	142 013 (83,54%)
Caractères	227 584	198 944 (87,42%)	940 457	803 909 (85,48%)
Caractères + Espaces	269 383	235 570 (87,45%)	1 109 321	945 142 (85,20%)
Paragraphes	1 860	1 191 (64,03%)	1 744	1 310 (75,11%)

**Table 1 : Statistiques typographiques avant et après le masquage d'éléments perturbateurs.**

Comme nous pouvons le constater, il y a un grand écart entre l'utilisation des mots dans les versions originales et modifiées des volumes. Cette différence s'explique par l'écart entre les deux volumes en ce qui concerne le contenu bibliographique. Alors que le premier s'appuie sur les témoignages de chercheurs et industriels pour appuyer leurs propos, le deuxième fait davantage recours à des citations académiques et contient des bibliographies importantes à la fin de chaque chapitre, temporairement écartées de l'analyse. Malgré ces différences, l'écart entre l'utilisation des caractères dans les volumes originaux et modifiés est proportionnellement égal. En ce qui concerne les paragraphes, l'écart sensible entre les deux volumes se justifie par l'existence d'un index et l'utilisation importante de sauts de lignes dans le texte. L'analyse de ces aspects nous fournira des pistes supplémentaires pour la sélection de ressources (voir la Section 3.4 : L'évaluation des ontologies).

### **3.1.3. L'analyse manuelle facultative**

Cette étape nous permet de prendre conscience du contenu de l'ouvrage tout en validant la pertinence de notre approche méthodologique. En utilisant des outils d'édition de texte, il est possible de catégoriser le contenu en comptabilisant le nombre de caractères, mots, phrases et paragraphes et en établissant une liste des mots-clés par ordre de fréquence.

Ces éléments nous permettent de comparer les ouvrages sources sur des éléments communs aux deux livres et de mieux anticiper le comportement du contenu. Cette étape est identifiée comme facultative car elle peut être chronophage. Il est donc important de prendre en compte le bénéfice attendu. Elle nous a permis d'identifier les rares lemmes à morphologie forte qui risquaient de poser problème lors de la désuffixation. A priori, ces mots auraient été identifiés par l'expert lors de la validation de l'ontologie de domaine.

## 3.2. L'ingénierie textuelle : les analyses statistiques et sémantiques

Pour effectuer les analyses statistiques et sémantiques de cette deuxième grande étape, nous avons écrit une application de traitement de texte en Java. Ce langage de programmation a été sélectionné car ses bibliothèques de type BreakIterator peuvent découper les chaînes de caractères en mots, phrases et paragraphes, facilitant le traitement des textes. Il permet aussi une bonne prise en charge de caractères accentués qui caractérisent la langue française.

### 3.2.1. La racinisation

Dans cette étape, nous implémentons l'algorithme de Carry [Paternostre, 2002], algorithme de désuffixation pour le français, lui-même inspiré de l'algorithme de Porter [Porter, 1980]. L'algorithme de Porter reste l'algorithme majeur pour la désuffixation de l'anglais et a servi à l'élaboration de logiciels de racinisation comme WordNet. L'algorithme de Carry est construit sur les mêmes principes que Porter avec une liste de règles plus conséquente et complexe qui tient compte de la morphologie de la langue française.

Comme tout algorithme de traitement de langage naturel, Carry est élaboré pour traiter la majorité des cas en appliquant des règles générales. Il y a quelques mots à comportement irrégulier qui ne peut pas être traités conformément aux règles grammaticales françaises. Toutefois, il a un indice de précision aux alentours de 0,9, c'est-à-dire qu'il transforme la terminaison correctement dans environ quatre-vingt-dix pour cent des cas [Paternostre, 2002].

Cet algorithme procède en plusieurs étapes. Premièrement il détaille trois listes de règles à appliquer. Chaque règle est associée à un suffixe et une valeur voyelle-consonne. Pour chaque chaîne de caractères, défini comme un lemme dans notre cas, il vérifie s'il se termine avec le suffixe de la règle. Si cela est vrai, il affecte une valeur aux caractères qui précèdent le suffixe. Cette valeur est affectée en fonction du séquençement de voyelles et consonnes du modèle suivant et tient compte de double voire triple voyelles ou consonnes :

$$vc \text{ ou } cvc = 0$$

$$vcvc \text{ ou } cvcvc = 1$$

$$vcvcvc \text{ ou } cvcvcvc = 2$$

$$(vc)_n \text{ ou } (cvc)_n = n - 1$$

Si le suffixe du lemme en cours correspond exactement à celle de la règle, et la valeur voyelle-consonne est égale ou supérieure à la valeur de cette dernière, elle peut être appliquée.

Dans ce cas, le suffixe est enlevé et éventuellement remplacé par autre chose. Ce fonctionnement évite une désuffixation trop importante qui risquerait de dénuer certains lemmes de tout sens. Par exemple, pour « serai », le futur du verbe « être » à la première personne, lors de la première étape de Carry, le suffixe « erai » sera amputé, laissant la racine « s ». Ce lemme n'aura plus de sens. Comme la valeur attribuée à « erai » est «  $m > 0$  », la règle ne peut pas être appliquée dans ce cas précis.

Une fois qu'une règle de la liste en cours a été appliquée à un lemme, ce dernier est soumis aux règles de la liste suivante. Si aucune des règles s'appliquent, le lemme est soumis à la liste suivante. Ainsi, on obtient les radicaux de chacun des lemmes du texte. A titre d'exemple, pour le lemme « chauffer », le suffixe « er » est attribuée la valeur «  $m > 0$  ». Le radical « chauff » a une séquence consonne-voyelle-consonne et par conséquent, il a la valeur « 1 ». La règle peut donc être appliquée et la suffixe est enlevé. Ensuite le radical « chauff » est soumis à la liste des règles suivantes.

Une fois que l'algorithme est passé, pour les étapes suivantes, le programme ne retient que les radicaux, c'est-à-dire les racines des lemmes, dont la fréquence correspond à plus de 0,05% du contenu. Ce barème a été fixé lors de l'analyse manuelle facultative. En dessous du seuil de 0,05%, la fréquence de lemmes spécifiques aux domaines chute sensiblement et la grande majorité de lemmes retenus correspond aux lemmes d'usage ordinaire de la langue française. Cette observation a été confirmée par un expert du domaine.

Comme indiqué auparavant, le processus de racinisation peut être problématique pour les mots à morphologie forte ou des anglicismes, fréquemment utilisés par les scientifiques des domaines de notre étude. Par exemple, pour *La Vie intime de)s matériaux composites*, le mot « thermodur » était source de problème. Le mot est utilisé sous diverses formes dans l'ouvrage ; **n.** thermodur/s, **v.** thermodurcir, **adj.** thermodur/e/s, **p.présent.** thermodurcissant/e/s, **p.passé.** thermodurci/e/s, **subj.** thermodurcisse, **adv.** thermodurcissable. Le programme a transformé les mots soit en *thermodur* soit en *thermodurci*. A cause de l'identification de deux radicaux, « thermodur », terme significatif dans les matériaux composites, n'a pas passé le barème de 0.05% et n'a pas été identifié comme un mot-clé.

Dans le cas de *Le Traité de la réalité virtuelle*, nous avons identifié les mots *réalité* et *réel* comme étant des sources potentielles de problèmes. Dans la version anglaise, les mots *reality* et *real* sont associés au même radical ; *real*. Pour leurs homonymes français, les choses sont plus complexes car le mot *réalité* hérite de son cousin anglais et par conséquent nous obtenons deux radicaux ; *réal* et *réel*. A première vue, la situation semble problématique.

Toutefois, les deux radicaux avaient une fréquence suffisamment élevée pour dépasser le barème. D'ailleurs, le traitement de ces radicaux en français permet une analyse plus fine de mots-clés. Alors que ces mots partagent un radical en anglais, cela ne reflète pas l'utilisation complexe du radical. Par exemple, dans *Le Traité de la réalité virtuelle*, le mot *réalité* est souvent employé avec *virtuelle* pour former *réalité virtuelle*, alors que le mot *réel* est souvent employé avec *temps* pour former *temps réel*, des emplois très différents au niveau sémantique.

Notre analyse préalable nous a permis d'anticiper ces résultats et d'incorporer les radicaux dans les étapes suivantes. L'utilisation d'un lexique de la langue française [New et al, 2001] a largement facilité le traitement des cas particuliers. En dehors de ces deux cas, nous n'avons un seul autre cas significatif, celui du lemme « présence » dont la racine est commune avec des nombreux mots dans la langue française et qui a été éliminé par erreur.

### **3.2.2. L'identification de la fréquence des mots**

Dans la sous-étape suivante, le programme classe les radicaux selon leur fréquence dans l'ouvrage et compare l'ordre de fréquences de radicaux avec un lexique des mots les plus fréquemment utilisés dans le français écrit [Brunet, 2012]. Ceci classe les radicaux en trois catégories.

Le premier groupe est celui des radicaux à éliminer car leur usage dans l'ouvrage correspond à celui du français écrit. Dans ce groupe, on trouve les radicaux les plus utilisés de la langue française, notamment les articles, les pronoms et les qualificatifs.

Le deuxième groupe est celui des radicaux à vérifier car ils sont présents dans le lexique mais leur usage diffère significativement de leur usage dans le français écrit. Il s'agit des radicaux communs qui peuvent porter un sens particulier dans le contexte du domaine.

Le troisième groupe est celui des radicaux à garder car ils sont utilisés fréquemment mais ne figurent pas dans le lexique. Ces radicaux peuvent être considérés comme faisant partie du vocabulaire du domaine.

A ce stade du processus, nous avons fait intervenir un expert afin de valider la pertinence de la liste de radicaux à garder et pour trier la liste de radicaux à vérifier. Cette intervention d'une vingtaine de minutes permet de réduire la liste de radicaux pour identifier les composants de la version initiale de l'ontologie et ainsi optimiser les analyses ultérieures.

### 3.2.3. L'identification des cooccurrences

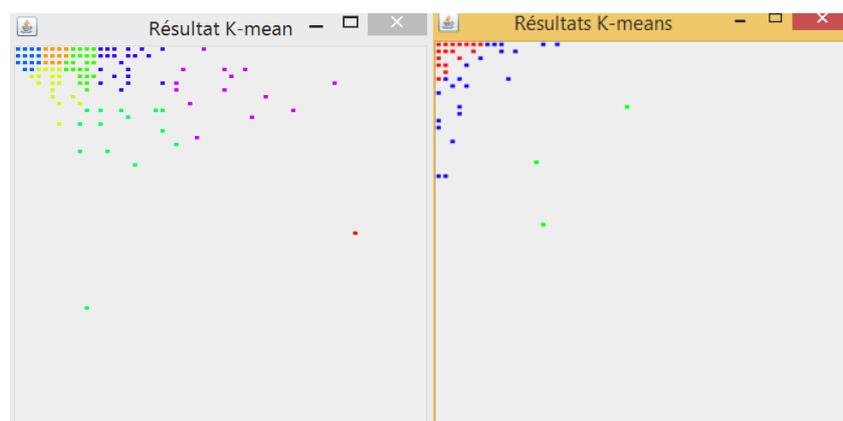
Maintenant qu'une liste de radicaux potentiels pour l'ontologie de domaine a été élaborée, il est nécessaire d'identifier les liens qui peuvent exister entre ces concepts. Pour ce faire, nous identifions les cooccurrences de termes. Dans un premier temps, il s'agit d'évaluer les cooccurrences entre les différents mots-clés afin de comptabiliser les liens potentiels. Ensuite, une analyse des cooccurrences nous permet une clusterisation de résultats afin d'identifier les fréquences les plus pertinentes. Enfin, une analyse des cooccurrences entre les radicaux et les lemmes du texte intégral permet d'intégrer de concepts périphériques, éliminés par les étapes précédentes.

#### 3.2.3.1. Cooccurrences entre mots-clés et mots-clés

Pour cette étape, le programme que nous avons construit reprend le texte d'origine et analyse les cooccurrences des radicaux à retenir et des radicaux à vérifier avec les lemmes à l'intérieur d'une même phrase. Ceci résulte dans la création d'une matrice de mots-clés. Cela est suffisant pour l'objet de notre étude mais si nécessaire, ces analyses peuvent être étendues à l'échelle d'un paragraphe, d'une sous-section, d'une section ou d'un chapitre.

#### 3.2.3.2. Analyse des cooccurrences (k-means)

En utilisant un algorithme des k-moyennes [MacQueen, 1967], nous établissons des clusters en fonction de la fréquence de ces cooccurrences. Nous avons commencé en fixant k à la valeur de douze. Des itérations multiples nous ont permis d'arriver à une valeur de sept pour les termes non-triés et à trois pour les termes triés.



**Figure 10 : Aperçu des clusters (k est fixé respectivement à sept et trois valeurs) obtenus lors de l'analyse k-means des matériaux composites.**

Les graphiques ci-dessus permettent de se rendre compte des types de cluster obtenus lors de l'analyse k-means. Le premier contient les radicaux « à vérifier » et « à retenir ». Le deuxième contient les radicaux « à vérifier » et « à retenir » triés par un expert.

Notre analyse des clusters nous amène à émettre l'interprétation suivante. Sur le graphique à droite, les co-occurrences avec une fréquence faible, identifiées par les points rouges sont les radicaux qui ne permettent pas d'établir un lien significatif avec les mots-clés. Ceux identifiées par les points verts, sont les radicaux dont la fréquence forte laisse supposer qu'ils formeront les noyaux centraux de l'ontologie. Enfin, ceux identifiées par les points bleus, concentrent la majorité des radicaux qui ont des liens significatifs avec les mots-clés.

### 3.2.3.3. Cooccurrences entre mots-clés et texte intégral

Dans un deuxième temps, le programme analyse les cooccurrences de ces lemmes avec tous les lemmes du texte afin de nous permettre d'identifier les lemmes dont la fréquence est significative à l'échelle d'un sous-domaine mais non à l'échelle de l'ouvrage complet.

## 3.3. L'ingénierie ontologique

Dans cette troisième sous-étape, il s'agit de confronter les concepts et liens identifiés par notre programme à la réalité avec les connaissances d'un enseignant-chercheur et/ou un praticien du domaine et de qualifier ces liens pour arriver à une hiérarchisation des concepts.

### 3.3.1. La pré-construction de l'ontologie

Les résultats de nos analyses nous ont permis d'identifier les concepts qui peuplent l'ontologie et identifier les liens potentiellement porteurs de sens.

0	0	0	9	2	2	0	0	0	9	0	2	3	2	0	1	0	1	0	0	0	3	9	4		
0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	1	19	19	0	0	10	1	0		
0	0	0	2	0	1	0	1	8	14	5	0	0	19	0	2	7	5	0	0	14	3	0	4		
9	0	2	0	4	2	1	1	2	5	4	2	14	1	9	24	3	0	0	2	0	22	11	1		
2	1	1	4	0	0	0	0	4	1	13	0	3	3	0	0	0	1	0	0	0	0	2	1		
2	0	0	2	0	0	0	0	11	0	1	0	2	0	0	3	1	0	0	0	1	0	7	1		
0	0	1	1	0	0	0	0	8	1	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	8	0	2	0		
0	0	8	1	0	0	0	8	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	4		
0	2	14	2	4	11	1	3	0	5	16	0	19	3	0	2	13	1	0	3	5	1	8	13		
9	0	5	5	1	0	0	0	5	0	1	10	1	0	4	0	0	4	0	0	0	0	0	2		
0	0	0	4	13	1	2	0	16	1	0	0	10	0	3	0	7	0	0	1	2	0	12	3		
2	0	0	2	0	0	0	0	0	10	0	0	6	2	2	0	1	3	0	0	0	1	3	3		
3	2	19	14	3	2	12	29	19	1	10	6	0	6	9	7	17	3	2	3	24	8	6	13		
2	0	0	1	3	0	0	0	3	0	0	2	6	0	0	2	1	1	0	4	0	1	3	1		
0	0	2	9	0	0	0	0	0	4	3	2	9	0	0	4	9	0	0	2	0	0	8	3		
1	0	7	26	0	3	2	2	2	0	0	0	7	2	4	0	1	1	0	2	0	15	0	1		
0	1	3	3	0	1	0	0	13	0	7	1	17	1	9	1	0	6	3	2	0	2	2	4		
1	19	0	0	1	0	0	0	1	4	0	3	3	1	0	5	6	0	12	0	1	1	0	1		
0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	3	12	0	0	0	2	0	0		
0	0	0	2	0	0	0	0	3	0	1	0	3	4	2	2	2	1	0	0	0	4	2	2		
0	0	14	0	0	1	9	15	5	0	2	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
3	10	3	23	0	0	0	0	1	0	0	1	8	1	0	13	2	9	2	4	0	0	6	5		
9	1	0	11	2	7	0	0	8	0	12	3	6	3	8	0	2	1	0	2	0	6	0	5		
4	0	4	1	1	1	2	4	13	2	3	3	13	1	3	1	4	1	0	2	0	5	5	0		
0	0	1	2	0	1	0	0	2	0	0	1	3	0	0	2	0	1	0	0	1	2	0	0		
0	0	0	0	0	2	3	7	5	0	1	0	15	0	0	3	0	0	0	0	0	8	0	6		
0	0	2	0	0	0	4	2	7	0	1	0	24	0	0	0	4	0	0	2	1	1	0	1		
0	1	4	0	0	1	3	3	7	1	1	3	29	2	0	0	3	1	2	1	3	0	0	4		
5	1	4	10	3	1	2	3	3	8	6	5	7	4	17	2	5	4	0	2	0	3	24	15		
0	0	9	15	1	0	4	0	23	0	15	1	77	10	16	6	13	0	0	11	0	3	0	0		
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	3	0	0	0	0	2	1	0	1	6		
6	2	3	13	0	3	0	0	0	1	2	1	13	1	12	18	3	0	1	6	0	18	13	2		
0	0	1	2	0	0	0	0	7	5	3	0	8	0	6	0	6	0	0	0	0	0	0	2		
3	0	1	5	1	0	2	5	5	5	2	0	20	0	6	1	6	0	0	0	5	1	0	3		
17	0	0	36	16	2	0	0	0	0	11	0	17	4	12	11	9	0	0	17	0	6	11	5		
3	5	3	6	11	0	2	2	15	6	5	9	24	5	5	8	2	17	4	4	6	3	9	1		
15	0	0	3	1	0	0	0	13	0	7	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
6	0	7	8	0	1	1	0	11	11	5	3	3	2	2	3	10	1	0	5	3	3	6	3		
3	0	0	4	0	0	1	0	1	6	0	4	6	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
0	7	0	2	0	0	0	0	6	1	2	0	4	0	0	0	8	4	8	3	3	0	18	0	3	
1	0	2	4	0	0	0	10	28	3	0	4	0	65	0	0	4	2	0	0	3	16	2	0	4	
0	0	2	2	0	0	3	6	2	0	0	2	8	2	0	0	0	0	0	0	0	1	7	1	0	0

Table 2 : Aperçu de l'agrégation des résultats des analyses manuelles et k-means.

L'aperçu de la table des cooccurrences présentée ci-dessus, obtenue par l'agrégation des analyses manuelles et k-means, montre les liens potentiels entre les concepts dans l'ontologie. Les cases sont catégorisées par une couleur de plus en plus foncée en fonction de l'importance du nombre de liens entre deux concepts présents sur les axes horizontale et verticale. Après une validation de la cohérence de quelques exemples présentés à un expert de chaque domaine, les cooccurrences les plus importantes ont été renseignées dans une carte de connaissances en guise d'ontologie provisoire.

### 3.3.2. L'identification des relations concepts

Nous pouvons qualifier les liens qui existent entre deux classes ou attributs de huit manières différentes :

- `equivalentClass`

Ceci permet d'identifier deux classes comme étant équivalentes. Par exemple, dans le domaine de la *réalité virtuelle* on peut identifier les classes « l'homme » et « la personne » comme étant équivalentes.

- `subClass of`

Ceci permet d'identifier une classe fille comme étant subordonnée à une classe mère. Par exemple, dans le domaine des *matériaux composites* on peut identifier les classes « matrice » et « renfort » comme étant subordonnées à « matériaux composites ».

- `General Class Axioms`

Elles représentent l'expression complexe d'un `subClass`, `equivalentClass` ou `disjointClass` qui a une déclaration de classe anonyme. Dans ce cas, on considère qu'au-delà de la déclaration de ses attributs, le nom de la classe n'a aucune importance.

- `subClass of Anonymous Ancestor`

Elles indiquent le raisonnement derrière le rapprochement entre plusieurs classes. Par exemple, dans la réalité virtuelle, on considère *enfant* comme étant une sous-classe des classes *homme*, *sujet* et *humain*. Pour indiquer le raisonnement derrière ce rapprochement, on peut définir la sous-classe d'ancêtre anonyme comme étant *HasCoeur*.

- `Members`

Ce qualificatif permet de regrouper plusieurs classes filles comme étant subordonnées au même titre d'une classe mère. Par exemple, pour les *matériaux composites*, les classes « PET », « thermoplastique » et « thermodur » peuvent être identifiées comme étant membres de la classe mère « plastique ».

- HasKey

Un *HasKey* déclare que chaque instance nommée d'une classe est identifiable de manière unique par une ou plusieurs propriétés. Ceci infère que si deux instances contiennent les mêmes valeurs pour chacune de ces propriétés, on les considère comme étant égales. A titre d'exemple, pour la réalité virtuelle, on peut définir les propriétés HasCoeur, HasPoumons, HasCerveau. Ceci fera le rapprochement entre toutes les instances de classe relevant de la définition de l'humain.

- disjointClass

*disjointClass* permet d'identifier deux classes comme étant opposées. Par exemple dans le domaine des *matériaux composites*, on peut identifier « liaison forte » et « liaison faible » comme étant des termes disjoints.

- Disjoint Union axioms

Dans ce dernier cas, on considère que, alors que deux ou plusieurs instances partagent une classe mère, elles sont uniques et non interchangeables. Par exemple, dans la réalité virtuelle, pour la classe *humain* on peut identifier les axiomes d'union disjointe *enfant* et *adulte*. Alors qu'un humain est forcément un enfant ou un adulte, et qu'un enfant et une adulte sont humains, les humains ne peuvent pas être à la fois enfant et adulte.

Cette étape est facilitée par les résultats des étapes précédentes. L'élaboration de cette liste de lemmes et l'identification des liens conceptuels nous permettent de bâtir une structure initiale. Ensuite, l'expert nous indique les rôles de subordination des concepts périphériques avec les autres concepts périphériques ainsi que les concepts-clés (lemmes). Ceci nous permet de formaliser les relations entre les éléments du domaine en vue de la création de l'ontologie. La structuration de ce modèle formalisé est faite en Web Ontology Language (OWL) [WEB-OWL] en utilisant l'éditeur Protégé-OWL [Knublauch et al, 2004].

### **3.4. L'optimisation et l'évaluation des ontologies de domaine**

La quatrième grande étape sert à valider les étapes d'ingénierie ontologique en confrontant le modèle ontologique formalisé avec les attentes et les conceptions. Plusieurs tâches permettent l'optimisation et la validation du modèle ontologique issu de nos travaux. Aujourd'hui, il n'existe aucune approche intégrale pour l'évaluation effective d'ontologies de domaine et une partie des méthodes d'évaluation, notamment celles qui s'appuient sur l'élicitation, peut être qualifiée de subjective. Par exemple, il y a un risque que les experts représentent un unique courant de pensée ou que l'éliciteur influe sur l'expert par sa manière de questionner l'expert.

Il est donc nécessaire de mettre en place plusieurs mécanismes d'évaluation pour arriver à une appréciation générale du résultat. Dans notre cas, l'optimisation et l'évaluation des ontologies serviront deux objectifs; valider la représentativité des ontologies de domaine et valider la pertinence de notre approche pour arriver à des ontologies représentatives par rapport aux approches existantes.

#### **3.4.1. Les moyens d'optimisation**

Dans un premier temps, nous devons optimiser la qualité des ontologies produites de manière semi-automatique. Pour ce faire nous avons choisi les moyens d'analyse suivants :

- L'évocation de mots-clés par association

Ce moyen d'évaluation consiste à identifier la pertinence des classes et liens proposés dans l'ontologie. Il s'agit d'énoncer une classe à l'expert en lui demandant d'explicitier une classe par association et ainsi de suite jusqu'à l'épuisement d'idées. Par ailleurs, la méthode nous permet d'extraire des pistes pour les parcours de lecture pour nos applications futures.

- L'élicitation des ontologies par des experts

En interrogeant les experts, il est possible d'éliciter les concepts-clés qui forment les bases de l'ontologie et les liens entre les concepts. Ceci peut être fait dans plusieurs optiques :

- Eliciter une ontologie complète à comparer avec l'existant
- Eliciter les liens ou les classes manquantes
- Instauration des liens hiérarchiques entre les classes
- Vérifier la pertinence de l'ontologie existante

Ces deux moyens d'évaluation nous permettent d'identifier la pertinence des concepts contenus à l'intérieur de notre ontologie et d'identifier des pistes éventuelles d'amélioration

pour cette dernière afin de proposer une version de plus en plus consensuelle pour l'évaluation par les experts dans cette toute dernière phase d'élaboration de l'ontologie de domaine.

- La complétion d'une ontologie partiellement construite

Dans cette évaluation, il s'agit de proposer une ontologie partiellement construite prenant en compte les résultats des deux phases d'évaluation précédentes. Toutes les classes de l'ontologie sont renseignées mais seulement une partie des liens est présentée. L'expert est ensuite invité à compléter l'ontologie en indiquant les liens manquants. Il peut également renseigner des classes supplémentaires. Ensuite, les différentes versions sont comparées les unes aux autres ainsi qu'à l'ontologie produite afin d'identifier les zones de discordance et des liens potentiels à rajouter ou supprimer.

Pour chaque point de controverse, lorsqu'un consensus est obtenu de la part d'au moins deux experts sur trois, nous pouvons procéder à la rectification de l'ontologie pour arriver à l'ontologie définitive. Pour cela nous utilisons Protégé-OWL [Knublauch et al, 2004] où les plug-ins nous permettent de réaliser des visualisations d'ontologies. Le plug-in OWL-Viz [Horridge, 2004] permet une visualisation appréhendable par des non-spécialistes de l'ingénierie ontologique car sa présentation s'apparente à celle d'une carte conceptuelle.

### **3.4.2. Les moyens d'évaluation**

Il reste deux moyens d'évaluer l'ontologie définitive ; la confronter à des ontologies existantes pour des sous-domaines connexes afin de se rendre compte de l'interopérabilité de notre solution et réaliser la création d'ontologies à partir de données non-structurées afin d'évaluer la pertinence de notre approche par rapport aux approches existantes :

- L'alignement ontologique

Cette évaluation consiste à comparer l'ontologie avec des ontologies existantes pour des sous-domaines afin de vérifier la connectivité des ressources en identifiant les points d'ancrage entre les deux ontologies. Ceci participe au développement d'une plus grande interopérabilité entre les représentations des connaissances, essentielle à la mise en place et l'évolution du web sémantique ou web des données.

- Création d'ontologie à partir de données non-structurées

Nous constituons un corpus composé de plusieurs documents provenant du web. Généralement, ces documents contiennent un mélange de ressources informatives (de type

Wikipédia), de ressources pédagogiques (produites par les enseignants-chercheurs) et de ressources commerciales. Ce corpus est soumis au même traitement informatique et analytique que les livres de référence avec une comparaison faite à chaque étape du processus. Enfin, l'ontologie résultante est comparée avec l'ontologie des livres de référence et nous pouvons ainsi identifier les spécificités de chacune des approches.

Pour les matériaux composites, nous avons choisi les cinq premières ressources provenant d'une recherche Google avec les termes « matériaux » et « composites »<sup>2</sup> :

1. Un article sur les matériaux composites de Wikipédia : L'article Wikipédia sur les matériaux composites présente l'approche industrielle, notamment sur la typologie des matrices et renforts et quelques généralités sur les procédés de mise en forme avec une formalisation par la description mécanique de ces matériaux.

2. Un glossaire des matériaux composites du CARMA (Centre d'Animation Régional en Matériaux Avancés) : Ce document complet contient la définition et la mise en perspective de six types de renforts, cinq types de charges, deux types de matrice et treize technologies de mise en œuvre de composites. Ces vingt-six points font ensuite appel à plusieurs termes pour représenter une centaine de termes au total.

3. Un article sur les matériaux composites du portail Sciences de l'Ingénieur de l'ENS Cachan (Ecole Normale Supérieure de Cachan) : Ce portail, à destination des élèves des écoles d'ingénieurs généralistes et par extension aux scientifiques et industriels, contiennent des ressources qui définissent les champs principaux des différents domaines de l'ingénierie. L'article sur les matériaux composites, contient une explication de composites à matrice organique avec une description des matrices, renforts, charges et additifs, les composites à matrice céramique et les composites à matrice métallique.

4. Une fiche technologique de FMC (Florian Madec Composites) : Ce document, à destination d'une clientèle industrielle décline les différents matériaux composites, leurs procédés de fabrication et les principales propriétés de ces matériaux.

5. Une fiche technologique du Café de l'Innovation du Laval Mayenne Technopole : Ce document pédagogique, à destination du grand public, explique les matériaux composites, leurs principales propriétés et leurs applications.

---

<sup>2</sup> Ce choix tient compte d'une ressource qui a été éliminée à cause de la pauvreté de son contenu textuel qui se limite à quelques menus contextuels permettant la navigation à l'intérieur du site.

Pour mieux comprendre les phénomènes liés aux données structurées et aux données non-structurées, il est nécessaire d'étendre cette approche au deuxième champ d'étude où nous sommes face à un ouvrage plus technique à destination des étudiants, chercheurs et industriels de la réalité virtuelle. Cependant, il est compliqué d'appliquer cette même méthodologie aux termes « réalité » et « virtuelle » pour les raisons suivantes :

1. La réalité virtuelle est un domaine évolutif très présent dans les médias. Les ressources qui apparaissent dans les premières pages de résultats de recherche Google ou DuckDuckGoGo contiennent principalement des articles de presse qui mettent en avant les applications de la réalité virtuelle et notamment les jeux vidéo qui intègrent des casques. Nous avons également effectué des recherches dans des outils comme Google Scholar mais celles-ci n'ont pas été concluantes. La première ressource était *Le traité de la réalité virtuelle*, ce qui renforce notre choix concernant l'utilisation de cet ouvrage. Les ouvrages suivants étaient principalement des ressources qui n'existent qu'au format papier et rédigées il y a une vingtaine d'années et qui ne tient pas forcément compte du domaine en évolution.

2. Les autres ressources concernent la réalité augmentée dans lesquelles les auteurs élaborent la définition de ce qui différencie la réalité augmentée de la réalité virtuelle, d'où le référencement de ces ressources parmi les premiers résultats.

3. La majorité des ressources pointent vers *Le Traité de la réalité virtuelle* dans leurs références. Ceci pourrait biaiser les résultats de l'étude si l'on considère que ces ressources sont construites à partir de cet ouvrage.

4. Ces ressources courtes, peu détaillées et trop spécialisées ne donnent pas une matière suffisante pour l'élaboration d'une ontologie de domaine car nous n'atteignons pas la masse critique nécessaire pour différencier les concepts-clés des mots ordinaires. Une analyse sur ces premières ressources a mené à l'identification de neuf cent concepts-clés potentiels pour un corpus d'uniquement trois mille mots.

Nous avons donc choisi d'identifier cinq références qui correspondent à celles utilisées pour les matériaux composites, c'est à dire un document encyclopédique, un document pédagogique, un document de type glossaire<sup>3</sup>, une fiche technologique d'une entité commerciale et une fiche technologique d'une cellule de transfert technologique.

---

<sup>3</sup> A savoir, qu'à notre connaissance, il n'existe aucun glossaire compréhensif pour la réalité virtuelle.

### 3.4.3. Les résultats des analyses

Dans l'optique d'arriver à la validation des ontologies de domaine, nous élicitons des cartes des connaissances avant de faire une analyse des mots-clés obtenus lors de nos analyses statistiques. Ces résultats sont comparés avec ceux d'une analyse de corpus non-structuré avant de procéder à l'élaboration de l'ontologie définitive. Nous présentons les résultats des analyses ci-dessous en s'appuyant à différents moments sur les deux domaines étudiés.

Pour la réalité virtuelle, nous avons demandé aux experts d'éliciter des cartes conceptuelles sur la thématique de l'homme et l'environnement virtuel. Dans ces cartes, nous trouvons la majorité de concepts généraux sur l'exemple de ceux cités ci-dessus pour décrire les interactions entre le sujet et son environnement.

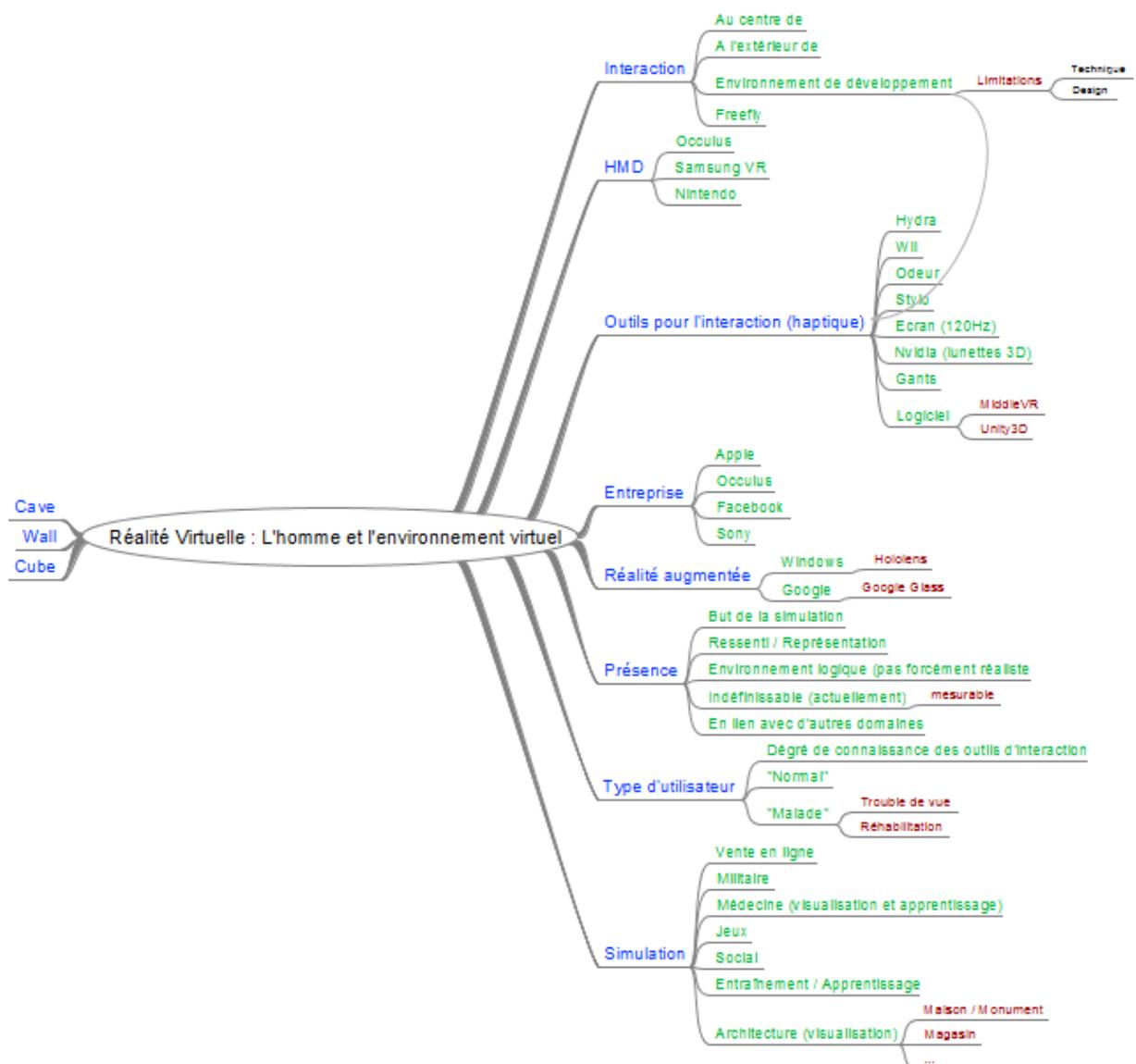


Figure 11 : Carte réalisée par un doctorant en informatique – spécialisation Réalité Virtuelle.

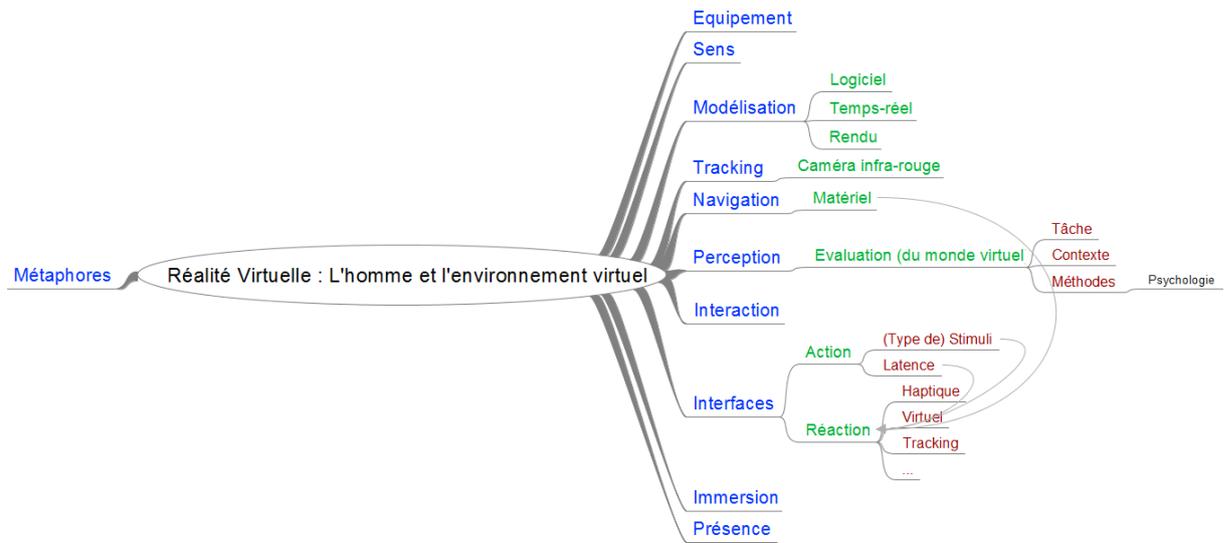


Figure 12 : Carte réalisée par un post-doctorant en informatique – spécialisation Réalité Virtuelle.

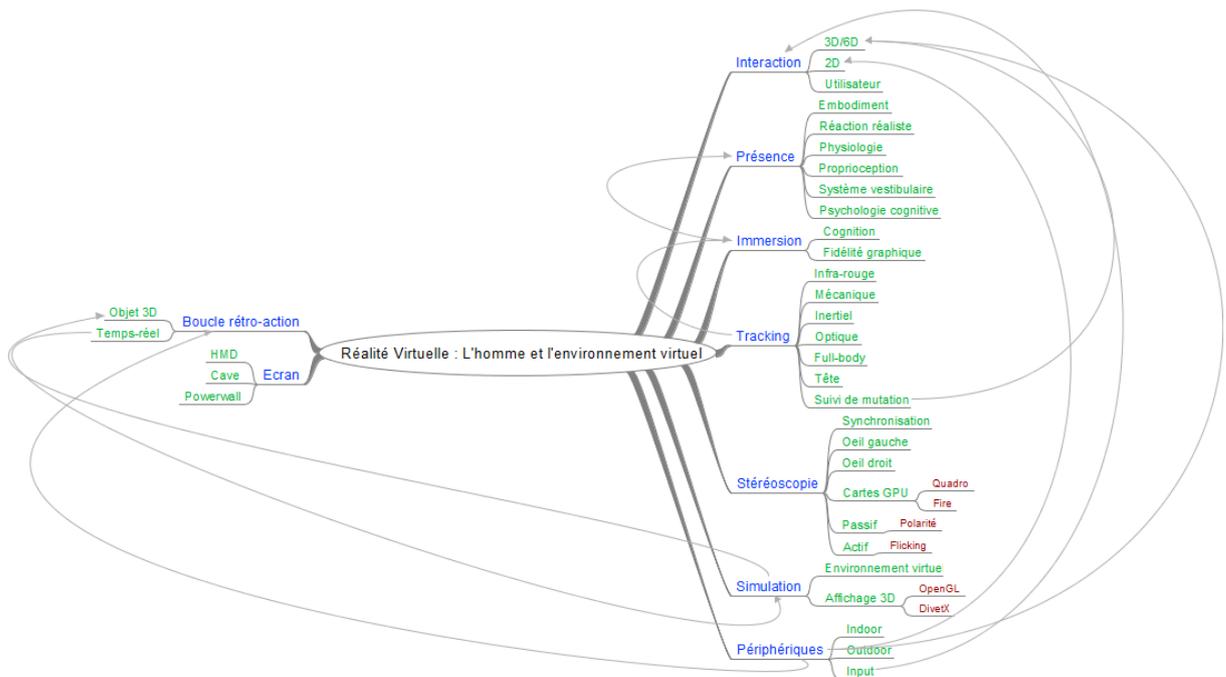


Figure 13 : Carte réalisée par un enseignant-chercheur en informatique – spécialisation Réalité Virtuelle.

Une comparaison des trois cartes et des interviews avec nos experts nous permettent d'émettre quelques hypothèses quant à leur conception du domaine. L'enseignant-chercheur arrive à inférer des multiples liens entre les concepts élicités pour produire une vue très large du domaine alors que le doctorant fait une unique abstraction des éléments rencontrés. Ce dernier, de formation ingénieur, adopte un point de vue plutôt focalisé outils et technologies alors que le post-doctorant se limite largement aux aspects théoriques. Il est intéressant de

croiser ces trois postures différentes dans l'élaboration d'une ontologie qui se veut consensuelle.

Alors qu'un des trois experts a élicité des nombreux outils et technologies, ces concepts ne sont pas traités à l'intérieur du champ de *L'Homme et l'environnement virtuel*, le premier tome du *Traité de la réalité virtuelle*. Ces concepts figurent surtout dans le troisième tome du même livre, *Outils et modèles informatiques des environnements virtuels*, et serviront à l'analyse de ce dernier.

Toutefois, nous avons élicité un certain nombre d'outils et concepts technologiques et autres qui n'ont pas été identifiés lors de nos analyses comme « infra-rouge ». Cela s'explique par le fait que la réalité virtuelle est un domaine à forte évolution technologique et les livres de référence, publiés quelques années auparavant, ne peuvent pas se rendre compte de ces évolutions même si certaines perspectives d'évolution d'outils sont identifiées.

Lorsque les experts ont été présentés avec une liste de cent vingt-sept termes pouvant potentiellement faire partie d'une ontologie de domaine sur la réalité virtuelle, ils ont éliminé un certain nombre de termes. Bien qu'ayant un sens dans l'étude de domaine, des termes comme « articuler » et « déterminer » étaient jugés trop généraux pour être exploités.

La table ci-dessous présente les résultats obtenus. Les vingt-quatre mots indiqués en vert ont été identifiés comme appartenant au domaine avec une majorité absolue et identifiés comme centraux au domaine. Les soixante-treize mots indiqués en orange ont été identifiés comme appartenant au domaine avec une majorité absolue. Les vingt-neuf mots indiqués en jaune ont été indiqués comme appartenant au domaine avec une majorité relative. Enfin, les vingt-sept mots indiqués en rouge ont été indiqués comme étant trop généraux ou hors-sujet.

Les experts ont également fait des propositions de certains termes ne figurant pas dans cette liste. Nous pouvons notamment signaler des mots comme « présence », un terme au cœur de l'étude de la réalité virtuelle qui n'a pas été relevé lors de nos analyses. Il sera nécessaire d'étudier les raisons pour cette anomalie. Il est possible qu'elle trouve son origine dans le fait que ce terme partage sa racine avec des nombreux autres mots.

Activer	Développer	Limite	Relatif
Adapter	Dispositif	Localiser	Santé
Analyser	Disposition	Main	Sciences
Application	Domaine	Man	Sembler
Appliquer	Dynamique	Méthode	Sens
Apprentissage	Effectuer	Modal	Sensor
Approche	Effet	Modèle	Sensoriel
Articuler	Egal	Monde	Signal
Aspect	Environnement	Moteur	Simuler
Augmenter	Ergonomie	Motricité	(In-)Situ
Cadre	Espace	Muscle	Son
Capacité	Etude	Nature	Spatial
Caractéristique	Etudier	Niveau	Stimulus
Champ	Evaluer	Objet	Sujet
Changer	Expérience	Observateur	Tâche
Chapitre	Explorer	Observer	Tactile
Cible	Façon	Œil	Technique
Cognitif	Fonction	Organe	Temporel
Cognition	Fonctionner	Outil	Théorie
Concept	Fréquence	Particulier	Traité
Concerner	Haptique	Perceptif	Travaux
Connaissances	Homme	Perception	Utilisateur
Constituer	Humain	Performer	Utiliser
Contrôle	Immersion	Personne	Variabilité
Corps	Impliquer	Physique	Variation
Correspondre	Indiquer	Processus	Virtuel
Définir	Individu	Propre	Vision
Degré	Informer	Propriété	Visuel
Délai	Interaction	Rapport	Voir
Dépendre	Interface	Réalité	Volume
Déplacer	Interne	Réception	Vue
Déterminer	Latence	Recherche	

**Table 3 : Récapitulatif des résultats d'analyse des mots clés avec le comité d'experts.**

Ce processus nous a permis de définir une proposition d'ontologie retravaillée pour tenir compte des remarques faites par les experts lors des entretiens d'élicitation. Pour cette dernière version, nous avons retenu uniquement les termes avec une majorité absolue. Nous avons également intégré les nouveaux termes relevés par l'ensemble d'experts. Nous avons utilisé les informations recueillies lors des entretiens pour établir les liens entre les différents concepts et hiérarchiser ces liens en utilisant les huit catégories d'annotation explicitées auparavant.

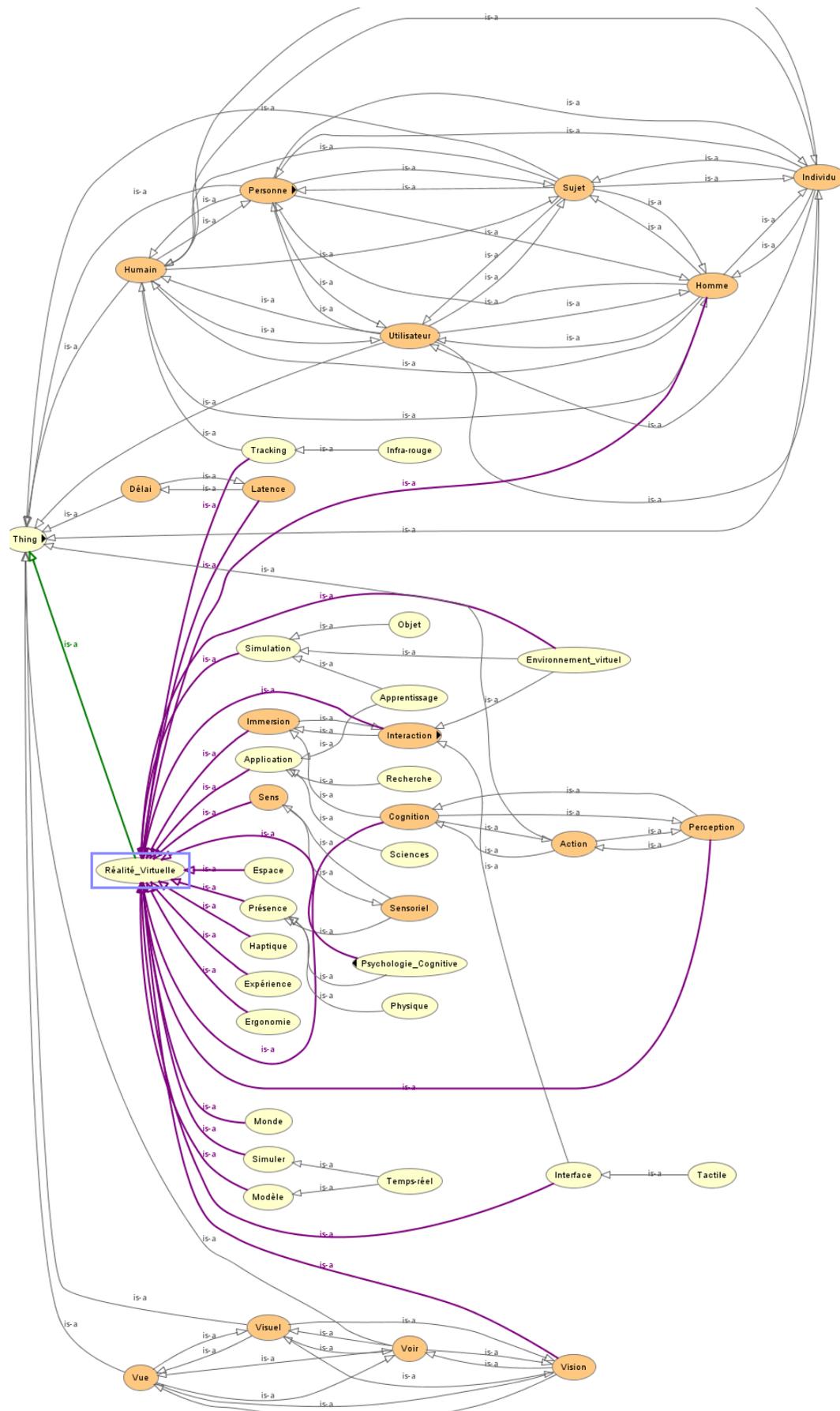


Figure 14 : Extrait de l'ontologie sur l'homme et l'environnement virtuel.

Pour l'exploration des résultats des analyses structurées/non-structurées, nous avons d'abord identifié les termes communs aux deux analyses. Ensuite, nous avons parcouru les listes des termes restants avec un expert du domaine qui nous a permis d'identifier la nature des différences entre les termes. Ces analyses nous ont permis de clairement identifier l'impact du choix de l'ouvrage sur l'ontologie résultante. Nous avons pu nous rendre compte de comment les choix de vocabulaire et les postures des équipes de rédaction jouent un rôle crucial sur la représentation des connaissances et sa formalisation.

Pour les matériaux composites, alors que le livre de référence fait ressortir des termes relatifs aux aspects de la physique et de la mécanique des matériaux comme « amorphe », « atome », « molécule » et « viscosité » et des procédés comme « écouler », « chauffer », « refroidir » et « processus », les données non-structurées donnent plus d'importance à la typologie des matériaux avec des termes comme « aluminium », « aramide », « oxyde » et « pigment ». Il est aussi intéressant d'observer les différences de vocabulaire. Alors que les livres de référence traitent l'utilisation de matériaux composites pour alléger les structures en termes de « kilogramme gagné », les données non-structurées et plus commerciales parlent du « coût ». La table ci-dessous contient l'ensemble des mots relevés lors de l'analyse non-structurée pour les matériaux composites qui ne figurent pas dans les analyses structurées :

additif	aluminium	aramide	assemblage
bâtiment	béton	caractéristique	céramique
chimique	choc	compound	couche
coût	démouler	durcir	epoxyde
fissure	gel	géométrie	hygiène
lin	machine	masse	mélange
métal	microsphère	minéral	mPa
nature	organique	oxyde	Performer
phénolique	pigment	polyamid	Polyester
polyuréthane	poudre	préimprégner	Prix
réaction	silicium	solvant	Taille
thermique	thermodurcissant	tissu	

**Table 4 : Termes identifiés par l'analyse non-structurée.**

Au-delà du rôle de l'auteur, il faut prendre en compte la nature des ressources. Le livre de référence sur les matériaux composites est un ouvrage de vulgarisation à destination d'apprenants dans le domaine ainsi que le grand public. On constate un traitement des aspects

théoriques avec un langage imagé et métaphorique qui fait sortir des termes comme « spaghetti » pour parler du comportement d'une « mèche » dans une « résine ».

Les résultats obtenus du *Traité de la réalité virtuelle* sont bien plus catégoriques en termes de langage. A destination principalement d'un public averti, la terminologie employée est bien plus formelle. Par exemple, pour *L'homme et l'environnement virtuel*, le premier tome de l'ouvrage qui pose les bases théoriques du domaine, nous avons pu constater un grand nombre de concepts généraux comme « Immersion », « Perception » et « Stimulus » mais aucun terme relevant d'un langage métaphorique.

### 3.5. Les wikis sémantiques

Nous avons intégré le contenu des livres de référence dans des espaces wiki protégés. Pour faciliter le chargement et la prise en charge des ouvrages, nous avons inséré des balises wiki Markup dans le document original. Ensuite, les ontologies de domaine, programmées en OWL/RDF ont été intégrées dans des wikis sémantiques. Ceci se fait via l'extension Semantic MediaWiki : RDFIO [WEB – RDFIO].



Figure 15 : Aperçu de la page *Réalité Virtuelle* du wiki sémantique.

Ce wiki sémantique sert de base pour le contenu pédagogique sous forme de texte, images et liens vers des ressources complémentaires et fournira la matière pour répondre aux requêtes générées par l'application pédagogique dont la conceptualisation et la construction seront détaillées dans le chapitre suivant.

## **Chapitre 4 : L'ingénierie pédagogique**

## **4. Introduction**

Les ontologies de domaine servent de base pour la création et la gestion des ressources pédagogiques adaptatives. Avant de présenter la solution retenue pour la gestion des ressources, il est nécessaire de prendre en compte les différents facteurs ayant une influence sur l'utilisation de l'application, notamment les contextes d'apprentissage, les objectifs d'apprentissage et les référentiels pour le développement des TICE. L'application résultante se base à la fois sur les constats faits dans la littérature dans notre exploration de ces facteurs et ceux faits lors de nos expériences auprès des élèves et des enseignants qui seront détaillés au cours de ce chapitre.

### **4.1. Les contextes d'apprentissage**

Afin de mieux appréhender l'utilisation des ressources documentaires par les apprenants, il est nécessaire de mieux comprendre les contextes dans lesquels l'apprentissage a lieu. Parmi les contextes les plus fréquents on trouve :

- les cours universitaires « traditionnels »,
- l'apprentissage inversé,
- l'apprentissage par problème,
- l'apprentissage par projet,
- l'apprentissage ubiquitaire.

Nous avons exploré chacun de ces contextes afin d'identifier les tenants et aboutissants de ces derniers afin de comprendre comment ils conditionnent le choix opéré par les apprenants et la façon dont ils emploient ces documents. Ceci permet de peaufiner les scénarii d'utilisation de l'application pédagogique dans les différents contextes rencontrés dans l'enseignement supérieur.

#### **4.1.1. Les cours universitaires « traditionnels »**

Pour commencer nos analyses des contextes d'apprentissage nous avons examiné la structure de cours de la formation ingénieur et plus globalement de l'enseignement supérieur. Les cours universitaires peuvent être détaillés en séquences de cours magistraux (CM), travaux dirigés (TD), travaux pratiques (TP) et travail en autonomie (TA) [Neumann, 2001].

Les CM sont un composant central de la formation universitaire depuis des siècles. Ils formalisent l'enseignement par l'imposition d'un cadre pour le processus d'apprentissage,

fournissant une base théorique pour l'étude d'une matière donnée et une perspective du champ d'étude [Gauthier and Meggori, 2002]. Dans des parcours technologiques comme ceux des élèves-ingénieurs généralistes, les cours magistraux sont très courants et représentent traditionnellement entre trente et cinquante pour cent du volume horaire [Parpette et Royis, 2000 ; Neumann, 2001]. L'introduction d'une pédagogie par projet implique que cette proportion est revue à la baisse. Toutefois, des nombreuses formations ingénieur continuent d'afficher des pourcentages de cours magistraux supérieurs à trente pour cent [WEB - ENSIBS; WEB - ISEN].

Ensuite, les TD sont à considérer comme la pratique, le feedback et la synthèse des connaissances acquises dans les cours magistraux. Ils donnent une occasion à l'enseignant d'approfondir certains sujets et de proposer des exercices qui permettront aux apprenants d'assimiler ces connaissances en bénéficiant du soutien de l'enseignant et des pairs.

Les TP sont l'approfondissement des connaissances par l'analyse de cas. Ils permettent à l'apprenant de manipuler des concepts directement afin de gagner en autonomie. [Davis, 2004] souligne l'importance analytique de ce *sina que non* des sciences.

Enfin, les TA sont la contextualisation des connaissances et des compétences par leur application à des situations diverses et variées. L'authenticité de ces apprentissages par projet est un vecteur pour la motivation des apprenants [Park and Park, 2012 ; Thomas, 2000].

#### **4.1.2. L'apprentissage inversé**

Dans le cadre de l'apprentissage inversé, les étudiants sont invités à découvrir le contenu du cours en amont des enseignements en présentiel [Strayer, 2012 ; Bergmann et Sams, 2012]. La séance en présentiel est ensuite orchestrée autour des échanges entre les enseignants et les étudiants. Ces derniers arrivent en cours avec des interrogations par rapport à la matière qu'ils peuvent soulever avec l'enseignant. Ce mode d'apprentissage est un moyen d'impulser davantage d'interaction dans les cours magistraux réputés comme étant transmissifs.

#### **4.1.3. L'apprentissage par problème**

Ce mode d'apprentissage s'appuie sur la résolution d'un problème énoncé par l'enseignant pour lequel il n'y a aucune résolution simple ou structurée [Savery et Duffy, 1995]. Les apprenants sont dans l'incapacité de mettre en place une approche stratégique pour résoudre le problème et doivent procéder à sa résolution par essai et erreur. Dans le cadre de

ce type d'apprentissage, les apprenants doivent se former à des nouvelles connaissances et compétences.

#### **4.1.4. L'apprentissage par projet**

L'apprentissage par projet vise à permettre à l'apprenant ou à un groupe d'apprenants de retravailler un ensemble de connaissances et compétences dans le cadre d'un projet applicatif [Blumenfeld et al, 1991]. Contrairement à l'apprentissage par problème, les apprenants travaillent à partir d'un cas concret et s'appuient sur un cahier des charges pour mettre en place une démarche structurée et répondre à une problématique spécifique souvent issue de véritables cas industriels. Ils peuvent être transversaux, obligeant les apprenants à réunir des savoirs multidisciplinaires comme dans l'approche « *Mantle of the Expert* » [Heathcote et Herbert, 1985].

#### **4.1.5. L'apprentissage ubiquitaire**

L'apprentissage ubiquitaire [Cao et al, 2006] regroupe deux types de pratiques ; l'apprentissage informel et l'apprentissage « partout et tout le temps ». La première pratique fait référence à des situations du quotidien dans lequel l'apprenant n'est pas dans un contexte d'apprentissage formalisé ayant des objectifs précis mais est néanmoins dans un contexte qui est propice à l'apprentissage comme un musée ou un lieu de travail [Chen et Huang, 2012]. La deuxième pratique concerne le côté pervasif de l'apprentissage, notamment par des technologies numériques qui permettent à l'apprenant de rester connecté au savoir en toute circonstance [Yang, 2006].

#### **4.1.6. Discussion**

D'une simple consultation de ressources après un cours magistral à la mise en place d'un parcours d'apprentissage nomade adapté à l'apprentissage ubiquitaire, l'application pédagogique envisagée devra être capable de contribuer à l'EAP de l'apprenant dans l'ensemble de ces contextes. Nous pouvons identifier certains éléments communs aux cinq contextes ci-dessus qui mériteront un traitement particulier dans l'application.

Le premier élément est lié au temps de l'utilisation de ressources et de la recherche de ces dernières. Dans l'ensemble des contextes, les apprenants ont besoin d'un accès rapide à des informations pertinentes pour compléter celles fournies par l'enseignant, pour vérifier celles qui leur sont étrangères et pour revoir celles d'une séquence d'apprentissage antérieure qui représentent des prérequis pour la séquence en cours. Par exemple, dans un apprentissage

par problème, les apprenants doivent approfondir rapidement des domaines pour répondre à une problématique. Par une définition d'un parcours de lecture et du temps de lecture avec un paramétrage du temps de consultation, l'application devra être capable de restituer des informations pertinentes dans un format adapté au contexte d'apprentissage.

Le deuxième élément concerne la mise en contexte des apprentissages dans la formation globale. Il est important que les apprenants comprennent comment les savoirs qu'ils sont en train d'acquérir s'articulent pour former un socle de connaissances qu'ils peuvent ensuite mobiliser. Par exemple, il peut s'agir de comprendre comment des connaissances acquises dans certaines matières sont retravaillées dans d'autres matières ou bien dans le contexte informel de l'apprentissage ubiquitaire de comprendre comment ils peuvent étendre leurs connaissances. Ce deuxième point sera traité par l'intégration d'une carte de connaissances à l'application qui permettra à l'apprenant de mieux comprendre son positionnement dans le domaine. Ces éléments seront complétés par les objectifs d'apprentissage explorés dans la section suivante et les observations faites lors de nos expériences exploratrices.

## **4.2. Les objectifs d'apprentissage**

Les objectifs d'apprentissage dans l'enseignement sont conditionnés par de multiples critères. La nature des savoirs, les référentiels en place, les spécificités des matières enseignées et enfin le contexte d'apprentissage. Nous explorons ces facteurs dans l'optique d'identifier les tenants et aboutissants de la mise en place des parcours d'apprentissage et de voir comment nos ressources éducatives adaptatives s'insèrent dans des programmes universitaires complexes.

### **4.2.1. Les connaissances et les compétences**

Dans une formation, il s'agit de distinguer les connaissances des compétences. Les élèves-ingénieurs généralistes acquièrent des connaissances dans les domaines scientifiques qu'ils mettent au profit avec des compétences transversales qu'ils développent dans la formation ingénieur. Afin de faciliter l'identification et l'évaluation de ces compétences, les écoles d'ingénieurs mettent en place des référentiels [WEB – CTI Commission] qui permettent de mettre l'accent sur les particularités de la formation d'ingénieur généraliste, décrites dans l'introduction générale.

#### **4.2.2. L'approche par compétence pour les ingénieurs généralistes**

Contrairement aux pratiques traditionnelles où l'on trouve « une organisation des cours [...] où l'on confie à chaque professeur la tâche de préparer et de donner seul « ses » cours de la meilleure façon possible », dans l'approche programme « l'ensemble des cours du programme repose sur un « projet de formation » élaboré et poursuivi de manière collective et longitudinale par le corps professoral et les leaders responsables de l'enseignement, dans un esprit de constante collaboration et collégialité » [Prégent, Bernard et Kozanitis, 2009].

Un récent travail de concertation entre les écoles d'ingénieurs généralistes du Groupe Ecole Centrale (GEC) a permis d'identifier les compétences transversales qui singularisent les ingénieurs généralistes, formalisées par un référentiel de compétences [ANNEXE 1]. On trouve ces compétences dans d'autres référentiels, comme celui du groupe Mines-Télécom [Lecerf et al, 2006]. Cette similitude vient du fait que ces référentiels s'appuient sur les référentiels existants dont celui de la Conférence des Grandes Ecoles (CGE) [WEB - CGE] et du Centre d'Etudes sur les Formations d'Ingénieurs (CEFI) [CEFI, 2005].

Les référentiels compétences des écoles d'ingénieurs généralistes permettent d'identifier comment les compétences sont travaillées dans différentes matières enseignées afin de mieux comprendre comment l'articulation de cours permettent d'atteindre les objectifs globaux de la formation. Ceci est la première étape dans l'optique de mettre en place une approche programme car elle permet d'identifier les pistes pour des collaborations entre les acteurs de l'enseignement.

Prenons l'exemple d'un cas d'étude Réalité Virtuelle (RV) qui sera repris dans la suite de ce chapitre. Dans le cadre de cette activité, les capacités suivantes sont travaillées. Les élèves-ingénieurs généralistes sont invités à mettre en place un cahier des charges pour le développement d'une application RV qui répond à une problématique de la société :

- Capacité à mobiliser une culture scientifique/technique
- Capacité à comprendre et formuler le problème

Après trois semaines de cours, les élèves-ingénieurs généralistes doivent mettre en pratique les concepts appris pendant ces premières semaines de formation. Par exemple, ils sont censés explorer les facteurs de réussite d'un projet RV comme la définition des I<sup>2</sup> fonctionnels [Fuchs et Moreau, 2006-9] :

- Capacité à utiliser des concepts ou des principes dans des descriptions d'évènements
- Capacité à reconnaître les éléments spécifiques d'un problème
- Capacité à proposer un ou plusieurs scénarii de résolution
- Capacité à converger vers une solution acceptable
- Capacité à approfondir rapidement un domaine

Les étudiants sont appelés à produire un rapport pour présenter de manière concise le cahier des charges mis en place pour le développement de l'application. Ce rapport est à rendre à l'issue de la séance de trois heures et demie et les étudiants doivent mettre en place une stratégie pour la gestion des ressources et des temps pour mener à bien cet exercice :

- Capacité à définir et à négocier des objectifs
- Capacité à communiquer, à convaincre et à rendre des comptes

En accord avec la nature transversale de ces compétences, elles sont reprises à plusieurs occasions dans des montages variés au cours de la formation ingénieur généraliste. A ces compétences transversales, s'ajoutent des compétences et objectifs spécifiques aux matières.

#### **4.2.3. Les objectifs par matière**

Les cours sur lesquels nous nous appuyons pour illustrer nos approches font partie des options disciplinaires proposées aux élèves-ingénieurs. Une option disciplinaire correspond à la spécialisation des études dans une option à partir d'une vingtaine d'options au choix. Elle est composée de douze cours de trente-deux heures soit trois cent quatre-vingt-quatre heures de présentiel, d'un projet court d'application et d'un projet long d'application industrielle.

Les objectifs principaux du cours *Mise en forme des composites*, module de l'option disciplinaire *Matériaux et Procédés* est de comprendre les principaux procédés de fabrication pour les matériaux composites et de pouvoir réaliser les calculs de structure nécessaires à la réalisation d'une pièce composite sur mesure. Pour ce faire, ils doivent faire appel à des compétences travaillées dans le tronc commun de la formation ingénieur, notamment, leurs connaissances dans le domaine de la résistance des matériaux acquises dès la première année du cycle ingénieur.

Pour l'option disciplinaire Réalité Virtuelle (RV), il s'agit d'acquérir « des compétences en informatique, synthèses d'images mais aussi dans les disciplines connexes

qui aident à construire des applications immersives efficaces : sciences cognitives, mécanique et biomécanique, vision par ordinateur [et] Interaction Homme-Machine » [WEB – CentraleNantes]. Pour ce faire, ils doivent faire appel à des compétences travaillées dans le tronc commun de la formation ingénieur, notamment leurs connaissances dans le domaine de l’algorithmique et programmation acquises dès la première année du cycle ingénieur.

### **4.3. Les référentiels pour le développement des TICE**

Le cadre de la formation ingénieur et les contextes et objectifs d’apprentissage étant posés, il est possible de procéder à l’ingénierie de l’application pédagogique. Afin de bâtir une application pertinente, il faut faire correspondre les contextes et scénarii pédagogiques et le choix de solutions techniques. Parmi les outils de diagnostic qui permettent ces rapprochements, on trouve les référentiels [WEB - Compétice].

Ce référentiel établit cinq scénarii TICE basés sur une approche compétence et établis par le Ministère de l’Education Nationale et de l’Enseignement Supérieur et de la Recherche. Il est devenu l’outil *de facto* pour décrire les scénarii TICE en France. Il nous sert pour qualifier les expériences exploratrices mises en place pour définir les contraintes à prendre en compte dans le développement de l’application pédagogique ainsi que pour décrire les scénarii d’utilisation de cette dernière. Nous décrivons les scénarii ci-dessous en positionnant l’application dont la construction sera détaillée dans la suite du chapitre.

**Le présentiel enrichi par l’usage de supports multimédia :** ce scénario correspond à une utilisation classique des outils TICE comme un vidéoprojecteur pour afficher un diaporama qui illustre le discours de l’enseignant et dynamise le contenu du cours. Dans le cas de l’application, les apprenants pourront l’utiliser ponctuellement en cours pour faire des recherches ciblées permettant d’optimiser le temps qu’ils y passent.

**Le présentiel amélioré en amont et en aval :** ceci correspond à une utilisation ponctuelle des TICE pour préparer ou prolonger le cours. Par exemple, l’enseignant demande aux apprenants de consulter une ressource ou de faire un test de positionnement. On est notamment dans le cadre de la « classe inversée ». Dans ce scénario, les apprenants seront invités dans l’application à étudier le contenu relatif à un concept sur un niveau de lecture simple en amont du cours afin de pallier aux hétérogénéités et s’assurer qu’ils savent manipuler les concepts nécessaires pour l’activité pédagogique.

**Le présentiel allégé :** Le cours présentiel avec quelques séances d'autoformation. Les apprenants bénéficient de flexibilité dans l'emploi de temps et gagnent en autonomie. Avec les contraintes des formations scientifiques, les apprenants apprécient le caractère asynchrone [Osguthorpe et Graham, 2003 ; Garrison et Kanuka, 2004 ; So et Brush, 2008]. Pour l'utilisation de l'application, prenons l'exemple d'un TP Matériaux. L'apprenant devra choisir un procédé à employer pour une pièce composite. En sélectionnant un parcours « procédés », il aura accès aux caractéristiques des procédés afin d'en choisir en fonction des contraintes.

**Le présentiel réduit :** Ceci qualifie un contexte où l'apprenant travaille en autonomie. Il continue de bénéficier de conseils de la part de l'enseignant qui pilote la formation et intervient de façon synchrone ou asynchrone. Cela permet la gestion de grands groupes de niveau hétérogène. L'application peut pallier à l'absence de contact régulier avec l'enseignant. Par la visualisation de la carte des connaissances et la définition d'un parcours de lecture, l'apprenant pourra comprendre ce qui est attendu et se positionner par rapport aux objectifs.

**Le présentiel quasi-inexistant :** Ce dernier cas correspond au cours « dématérialisé » qui se passent presque entièrement à distance. Cela peut être une formation diplômante sur le modèle de l'OU [WEB - OU] ou le CNED [WEB - CNED] ou une formation optionnelle sur le modèle du MOOC [Hyman, 2012]. Dans ce cadre, l'application n'est pas une ressource auto-suffisante mais articulée avec les autres ressources de l'EAP de l'apprenant. Elle pourra être utilisée pour visualiser le domaine d'étude ou voir les connaissances attendues.

Ces scénarii servent deux objectifs dans le cadre de nos travaux. Dans un premier temps, ils nous permettent de caractériser les expériences exploratrices détaillées par la suite afin de mieux comprendre les liens entre le contexte d'apprentissage et la mise à disposition du contenu pédagogique et comment le contexte conditionne les interactions entre les apprenants et les ressources ainsi que la posture de l'apprenant par rapport à l'action de formation. Dans un deuxième temps, il nous aide à mieux définir les scénarii d'utilisation de l'application pédagogique qui sera présentée au cours du chapitre.

On peut constater que d'une manière générale, une plus grande part de distanciel dans un cours implique un investissement plus fort de la part des enseignants. Ces derniers doivent répondre aux interrogations des apprenants et suivre leur évolution par un contrôle régulier de connaissances et l'analyse d'indicateurs. Toutefois, elle permet une gestion plus efficiente

face à des grands groupes, surtout lorsque la masse critique est atteinte et que les apprenants entrent en dialogue [Waard et al, 2010].

#### **4.4. Des expériences exploratrices**

Pour mieux comprendre l'utilisation de ressources par les apprenants visés par notre étude, c'est-à-dire, les ingénieurs généralistes, nous avons mené quatre études préalables. La première expérience autour d'eTextbooks a eu pour but de mieux comprendre la construction de ressources pédagogiques par les enseignants et la réutilisation de ces ressources par les apprenants. Avec les deuxième et troisième expériences autour d'un cours hybride, nous avons cherché à comprendre le processus de constitution de l'EAP par les apprenants et son orchestration dans le cadre de leurs apprentissages. L'ultime expérience nous a permis de mieux comprendre l'utilisation de ressources en situation d'apprentissage.

##### **4.4.1. Les eTextbooks**

Sur la base des problématiques liées à l'utilisation des ressources éducatives numériques et l'exploration de la nature de ces dernières, nous avons mené une expérience en ingénierie documentaire afin d'identifier les leviers potentiels pour l'optimisation des usages de ressources numériques et de mieux comprendre les problématiques rencontrées par les enseignants. Ainsi, nous avons pu peaufiner le cadre de développement par rapport à notre public cible : les élèves-ingénieurs généralistes.

Nos échanges avec des enseignants [Carolan et al, 2012] soulevaient une priorité au niveau de l'interaction des étudiants avec les enseignants et le contenu. Comme indiqué dans l'état de l'art, les photocopiés forment une partie importante du socle documentaire de l'EAP de l'élève-ingénieur généraliste. Il nous a semblé donc pertinent de démarrer notre exploration des pratiques documentaires à partir de ces ressources. Afin de permettre aux apprenants de mieux adapter leurs ressources pédagogiques aux différents contextes d'apprentissage et aux enseignants de prévoir des scénarii multiples adaptés aux spécificités des étudiants, nous avons expérimenté la création de photocopiés enrichis. Ceux-ci font bénéficier les apprenants des technologies développées dans les laboratoires de l'établissement.

Pour démarrer notre exploration de ces ressources, nous avons interrogé cinq enseignants de cinq départements d'enseignement différents de l'institution où les premières expérimentations ont eu lieu. Lors de ces entretiens, nous avons relevé trois problématiques communes à l'ensemble des enseignants :

1. Les enseignants rencontrent des difficultés pour trouver des ressources adaptées aux enseignements. Les approches méthodologiques varient largement d'un ouvrage à un autre et sont rarement complètement en phase avec celle de l'enseignant.

2. Les contraintes liées à la disponibilité ou à l'état de fonctionnement des équipements impliquent que les étudiants ne peuvent pas faire l'ensemble des travaux pratiques qui leur sont proposés. Après, les étudiants sont invités à échanger sur les travaux pratiques qu'ils ont pu faire afin de compléter leurs connaissances.

3. Les étudiants comprennent rapidement le fonctionnement des travaux pratiques. Quand ils font des erreurs, ils peuvent falsifier les résultats pour qu'ils correspondent aux calculs effectués dans les cours et les travaux dirigés sans forcément se demander ce qui fut à l'origine de cette erreur. Sur le plan pédagogique, ce comportement est évidemment très insatisfaisant.

Pour répondre à ces problématiques citées dessus ainsi que celles citées auparavant, nous avons proposé l'intégration des trois éléments : des contenus multi-échelles, des simulateurs et des enrichissements numériques.

#### **4.4.1.1. Les contenus multi-échelles**

eZoomBook [Carolan et al, 2012 ; Evain, de Marco et Carolan, 2013] est une méthodologie pour la structuration et la valorisation de la documentation multi-échelle. Il se présente sous la forme d'un document numérique qui contient de multiples versions du texte allant de sa version complète à des versions abrégées. Celles-ci contiennent une alternance de citations et de résumés dans une suite logique, ainsi transmettant les mêmes idées avec un niveau de détail variable. eZoomBook fonctionne selon l'idée qu'un concept peut être résumé en une phrase, un paragraphe, une page ou un chapitre et que chaque version correspond à un temps ou niveau de lecture donné. Le lecteur est libre de naviguer entre les versions et de personnaliser le contenu en fonction de sa capacité à comprendre le sujet. eZoomBook peut être considéré comme une réponse à l'hétérogénéité grandissante des étudiants. Sur un niveau de lecture abrégé, les étudiants découvrent les concepts à maîtriser pour valider le cours. Ensuite, ils peuvent consulter les versions en survolant les concepts qu'ils maîtrisent et en approfondissant les concepts qui leur sont étrangers. Ainsi, eZoomBook permet aux lecteurs de garder davantage de contrôle sur le contenu et de l'adapter à leurs niveaux hétérogènes dans une perspective d'échafaudage pédagogique [Pea, 2004].

#### **4.4.1.2. Les simulateurs**

Des simulateurs sont des outils efficaces pour l'apprentissage [Rutten, van Joolingen, et van der Veen 2012]. Ils permettent aux enseignants de reproduire des phénomènes scientifiques complexes qui sont impossibles à reproduire dans l'espace physique de la salle de classe. Ensuite, les étudiants peuvent consulter le contenu de ces simulateurs sur des appareils portatifs pendant les travaux pratiques. Nous pouvons dire les mêmes choses des photocopiés mais alors qu'un livre papier ou électronique « traditionnel » permet à l'étudiant de faire un exercice pour un contexte précis, les simulateurs dans des documents enrichis permettent à l'étudiant de faire l'exercice avec toutes les valeurs possibles. Les étudiants peuvent interagir avec les données, ce qui augmente la compréhension et la motivation des apprenants [Holt, 2011]. Nous avons expérimenté l'intégration de simulateurs numériques dans des photocopiés enrichis intégrés dans les documents. Ces simulateurs proviennent d'une technique récemment proposée pour produire des abaques numériques [Chinesta et al, 2013]. Elle fournit des moyens pratiques pour obtenir des métamodèles pour des scénarii complexes. C'est une sorte de vade-mecum qui contient la solution du modèle pour n'importe quel choix de paramètres. L'intégration des simulateurs dans des documents pédagogiques sert plusieurs objectifs ; elle fournit aux étudiants des outils puissants de calcul et les confronte à des situations réelles par l'application de théorèmes et outils développés au laboratoire. De cette façon nous avançons vers une nouvelle dimension du livre électronique, celle d'un laboratoire virtuel, comme souligné par [Matz et al, 2012].

#### **4.4.1.3. Les enrichissements**

En plus du contenu multi-échelle et des simulateurs, nous avons intégré des séquences vidéo, des images dynamiques et des QCM. Ces évolutions renforcent l'efficacité du contenu des cours [Collis et Wende van der, 2002]. Néanmoins, des doutes subsistent car elles peuvent perturber le processus d'apprentissage. C'est pour cela qu'il est essentiel d'intégrer tous les acteurs de l'enseignement dans le processus centré sur l'enseignant comme « chef d'orchestre » [Laurillard et al, 2009]. Dans ce cas, la création de contenu dynamique, interactif et ludifié peut être bénéfique pour la motivation et la compréhension des étudiants. Afin de permettre aux étudiants et aux enseignants d'adapter le contenu éducatif aux contextes d'apprentissage, nous avons également intégré des balises qui permettent aux utilisateurs de naviguer dans la ressource. Nous avons défini quatre niveaux d'étude ; notions, synthèse, approfondissement et expertise qui correspondent aux cours magistraux, travaux dirigés, travaux pratiques et travaux en autonomie [Carolan et al, 2012].

#### **4.4.1.4. Implications**

Après l'examen des implications prévisibles d'une telle entreprise d'apprentissage augmenté et les opportunités que cela présente, nous avons expérimenté la création de dispositifs hybrides en appliquant le modèle pédagogique à deux séquences de cours de sciences de l'ingénieur [Carolan et al, 2012 ; Carolan et al, 2015] et une séquence de cours de sciences humaines. Pour en savoir plus et pour voir une présentation complète des dispositifs vous pouvez consulter le site web suivant : <http://expermentice.com/enriched-courses/>.

Nos expériences avec les polycopiés enrichis nous ont permis de nous rendre compte des impacts positifs de l'utilisation des polycopiés enrichis. Les enseignants engagés dans des projets de production des ressources ont compris l'intérêt de la documentation enrichie et les premiers résultats sont concluants [Carolan et al, 2015]. Les cinq enseignants consultés apprécient ce format pour ses capacités à dynamiser et illustrer le contenu du cours et à encourager les apprenants à se tourner vers des ressources supplémentaires pour prolonger les apprentissages faits en cours. Ils nous ont également fait part d'une ouverture vers des nouvelles formes de pédagogies grâce à l'utilisation de ces ressources, notamment la co-construction des contenus pédagogiques dans un scénario de classe inversée voire renversée. Effectivement, le processus de design a provoqué une réflexion chez les enseignants concernés sur la cohérence des contenus pédagogiques par rapport au scénario du cours et ils ont évoqué l'envie de s'engager dans une réingénierie importante de ces derniers.

Cette expérience nous a également permis de nous rendre compte des limites des approches. Premièrement, deux enseignants nous ont fait part de leurs difficultés à s'adapter à la logique éditoriale. Ces derniers travaillaient collaborativement sur la rédaction et la mise à jour du polycopié en utilisant des langages comme Latex. Le format proposé pour les polycopiés enrichis ne permet pas forcément le même degré de souplesse pour la rédaction collaborative. Deuxièmement, les outils comme eZoomBook permettent une personnalisation du contenu en fonction des choix opérés par le lecteur mais il pourrait s'avérer plus intéressant d'adapter le contenu automatiquement en fonction du niveau de connaissances ou de fonctionnaliser l'ensemble en proposant un guide ou GPS de lecture.

Après avoir identifié les tenants et aboutissants du champ d'intervention de ce projet de recherche en ingénierie documentaire et en ingénierie des connaissances, il est devenu nécessaire de revenir au point de départ pour considérer les particularités du public d'élèves-ingénieurs généralistes par rapport aux constats relevés dans l'état de l'art.

#### **4.4.2. L'observation des pratiques des apprenants**

Afin d'intégrer l'approche pédagogique dans la démarche d'ingénierie documentaire, il était nécessaire d'observer des situations d'apprentissage pour mieux comprendre comment une personnalisation de l'accès aux ressources « intelligentes » pourrait optimiser la performance des élèves-ingénieurs généralistes dans ces contextes. Pour ce faire et pour mieux comprendre l'utilisation réelle des ressources électroniques, nous avons observé et analysé l'utilisation des ressources par trois groupes d'étudiants. Ces trois groupes étaient formés d'élèves-ingénieurs ayant bénéficié de deux ans de cours préparatoires et suivi un an d'enseignements du tronc commun.

Nous avons sélectionné trois groupes d'apprenants qui prennent part à des cours dans des contextes d'apprentissage bien distinctes : vingt-huit étudiants ayant pris part à la première saison du MOOC ITyPA dans le cadre du cours électif eITyPA du 04 octobre au 13 décembre 2012, vingt étudiants ayant pris part à la deuxième saison du MOOC ITyPA dans le cadre du même cours du 10 octobre au 12 décembre 2013 et dix-huit étudiants ayant pris part au cas d'étude « Conception d'une application de la réalité virtuelle » dans le cadre de l'option disciplinaire RV, dans l'après-midi du 19 septembre 2014.

Ces groupes ont été sélectionnés pour privilégier les contextes où les étudiants travaillent en autonomie. Ils ont naturellement un grand besoin en ressources documentaires et ceci nous permet de voir une grande variété de pratiques. Pour les premier et deuxième groupes, l'enseignant est absent pour la majeure partie de la formation alors que pour le troisième groupe, tandis que les apprenants travaillent en autonomie, l'enseignant est disponible comme une personne-ressource de l'EAP des apprenants. Outre les observations sur le comportement des étudiants, cette dernière expérience nous permet de nous rendre compte de l'apport de l'enseignant dans ce contexte spécifique.

##### **4.4.2.1. eITyPA : électif Internet, Tout y est Pour Apprendre**

Dans le cadre d'eITyPA, les étudiants prennent part à une formation en présentiel réduit. Ils bénéficient d'un apport occasionnel de l'équipe enseignante de l'institution mais la majeure partie de l'apprentissage se fait de manière autonome. Ce cours a également été sélectionné car il se focalise sur le développement des compétences clés et transversales pour l'élève-ingénieur généraliste : les compétences qui se rapportent à la thématique « apprendre à apprendre ». Autrement dit, la capacité à se former tout au long de sa carrière. Ces

compétences se déclinent dans les capacités suivantes, identifiées dans le référentiel des compétences de l'ingénieur généraliste [ANNEXE 1] :

- Capacité à mobiliser une culture scientifique/technique
- Capacité à appréhender toutes les dimensions scientifiques/techniques d'un projet
- Capacité à approfondir rapidement un domaine
- Capacité à s'adapter rapidement à de nouvelles fonctions et à s'intégrer efficacement dans de nouveaux systèmes complexes

L'électif eITyPA – Internet, Tout y est Pour Apprendre – réalisé en parallèle au MOOC du même nom [Carolan et Magnin, 2013 ; Carolan, Magnin et Gilliot, 2014] a pour objectif de provoquer une réflexion de l'apprenant sur la constitution d'un EAP et de partager les fruits de cette réflexion dans une démarche collaborative, constructiviste voire connectiviste. Sur une période de dix semaines, les apprenants ont suivi des webinaires hebdomadaires, ont complété un certain nombre d'activités en ligne et ont interagi avec les autres internautes, membres de la communauté du cours. Leurs apprentissages ont été ponctués de quelques séances en présentiel qui ont permis aux apprenants de se préparer au cours, de rythmer leur participation et de faire un bilan de leurs progressions.

Dans le cadre de notre étude, nous les avons interrogés sur les modalités de leur participation au cours, sur leurs interactions avec les autres participants et sur les ressources, les outils, pratiques et usages numériques qui ont rythmé leur participation, sur leur capacité à faire coexister leur participation en salle de classe et en ligne et enfin sur leur sentiment d'auto-efficacité. Les retours des apprenants pendant les séances intermédiaires ainsi que des questionnaires réalisés à l'issue du cours ont formé la base de notre réflexion et nous ont permis de mieux comprendre comment ces étudiants ont abordé leurs apprentissages et de mieux se rendre de leurs pratiques en termes d'utilisation des ressources pédagogiques et des outils [Carolan et Magnin, 2013 ; Carolan, Magnin et Gilliot, 2014].

#### **4.4.2.2. Etude de cas : La conception d'applications de la Réalité Virtuelle**

Dans l'ultime d'étude, les étudiants prennent part à un cours en présentiel enrichi. Ils travaillent de manière autonome mais peuvent bénéficier à tout moment de l'apport de l'équipe enseignante pour avancer dans les tâches à réaliser. Ce cours a été sélectionné car il

représente une nouvelle spécialisation pour l'élève-ingénieur dans un des deux domaines que nous avons élus pour notre étude initiale.

L'objectif de ce cas d'étude était de compléter la phase préparatoire pour la conception d'une application RV. Les élèves-ingénieurs généralistes devaient identifier une problématique à résoudre, se positionner par rapport à une série de protocoles dans le développement des applications RV comme les I<sup>2</sup> fonctionnels, développer un cahier des charges pour la production de l'application et réfléchir à des moyens de qualifier le retour sur investissement.

Ce cas d'étude a eu lieu à l'issue des trois semaines de cours sur les cadres théoriques du développement des applications RV. Après une brève introduction et un rappel des éléments par l'enseignant chargé du cours, les élèves-ingénieurs généralistes, répartis en binômes disposaient de trois heures et demie pour produire un rapport sur le développement de l'application imaginée. Pour mener à bien cette réflexion, ils disposaient de l'ENT de l'établissement qui contenait les supports du cours et notamment les présentations des enseignants, un livre de référence dans la matière [Fuchs et Moreau, 2006-9] en version papier et portable document format ainsi qu'un poste informatique par binôme.

Nous avons observé ces apprenants en situation d'apprentissage et nous leur avons posé les mêmes questions en début, au milieu et à la fin de l'activité. Ces questions portaient sur le choix de ressources à utiliser, les stratégies qu'ils mettaient en place pour gérer les ressources et compléter l'activité et enfin le sentiment d'auto-efficacité [Carolan et al, 2015].

#### **4.4.2.3. Les observations faites à partir des contextes d'apprentissage**

Ces expériences nous ont permis de faire un nombre d'observations [Carolan et Magnin, 2013 ; Carolan, Magnin et Gilliot, 2014 ; Carolan et al, 2015] qui nous permettent de définir les contraintes pour le cahier des charges de l'application. A partir de nos observations des étudiants du MOOC ITyPA, nous avons pu faire les constats suivants :

- La majorité des apprenants interrogés considèrent qu'il est souhaitable de maintenir une part de présentiel dans les formations.

Les apprenants reconnaissent les possibilités offertes par des formations en ligne ; faciliter la gestion des apprentissages, pouvoir facilement retravailler le cours et avancer en fonction de leurs niveaux de connaissances ou compétences ou la motivation à suivre la formation. Dans le cas d'eITyPA, malgré le fait qu'ils pouvaient faire quatre-vingt-dix pour cent de ce cours de manière dématérialisée, certains apprenants se retrouvaient physiquement

avec d'autres apprenants pour faire les activités en ligne, notamment pour suivre les webinaires, un élément que les porteurs du cours ont voulu convivial.

Pour l'option disciplinaire RV, nous avons fait les observations suivantes :

- Les aspects pratiques liés à l'utilisation des ressources de référence dans des contextes présentiels ne facilitent pas les recherches des apprenants.

Les apprenants comprennent l'intérêt des ressources empiriques comme des livres de référence dans leurs apprentissages. Toutefois, les informations qu'ils recherchent sont distribuées dans plusieurs sections du livre et ils sont souvent amenés à abandonner l'utilisation de ces ressources au profit des ressources davantage indexées, le plus souvent en ligne, pour lesquels la recherche d'informations est plus aisée. A titre d'exemple, sur les neuf binômes interrogés dans le cadre de notre étude sur le cas d'étude RV, sept binômes ont indiqué vouloir utiliser le livre de référence pour mener à bien leur étude. Finalement, seulement cinq binômes ont utilisé ces ressources. Sur ces cinq binômes, quatre binômes ont trouvé aucune des informations qu'ils cherchaient. Pour cause, l'indexation de la ressource était inadaptée à leurs besoins en tant qu'apprenants novices du domaine.

- Les apprenants qui utilisent des machines ou écrans multiples arrivent à mieux gérer les multiples ressources à leur disposition.

Ceci vient du fait qu'ils mettent en place des stratégies organisationnelles qui favorisent l'utilisation efficace des ressources. Ils peuvent par exemple dédier une machine aux activités en ligne de type consultation de sites web ou lecture d'une vidéo et une autre machine aux activités hors ligne de type lecture d'article ou rédaction de rapport. En occurrence, les étudiants équipés d'une seule machine peinent à gérer les multiples onglets et fenêtres ouverts et perdent plus de temps à retrouver leurs ressources.

- Les apprenants qui prennent des notes manuscrites ont tendance à produire des rendus de travail plus longs et plus détaillés.

Nos observations confirment les constats faits dans la littérature. La prise de notes manuscrites est bénéfique pour la cognition des apprenants. Sur les neuf binômes interrogés dans le cadre de notre étude sur le cas d'étude RV, quatre binômes ont produit des notes manuscrites. Ces quatre binômes se retrouvaient parmi les cinq binômes ayant produit les rapports les plus longs et détaillés. Le contenu de ces notes manuscrites est très varié. Dans le cadre de nos observations, on a pu relever des sketchs des applications sur lesquelles les

étudiants travaillaient, des schémas méthodologiques et surtout des éléments textuels pour structurer les rendus des travaux, ce qui pourrait expliquer cette différence notable.

Nos observations confirment l'intérêt pour la fonctionnalisation de ressources et notamment les livres de référence. Ces derniers peuvent jouer un rôle important dans l'acquisition de connaissances par les apprenants mais ne sont pas adaptés aux contraintes des contextes de l'enseignement universitaire traditionnel. Ces constats nous confirment également l'importance de prévoir des scénarii pour l'utilisation de l'application dans la salle de classe et dans le cadre des EAP des apprenants.

#### **4.5. La création d'une application pédagogique**

Nous avons développé une application pédagogique sémantique qui permet de tirer profit des ressources pédagogiques et notamment les livres de référence en personnalisant ces ressources en fonction de la structuration proposée dans l'ontologie de domaine ainsi que le profil de l'apprenant. Cette application peut s'adapter à des contextes, des objectifs et des scénarii de formation divers comme indiqué dans les sections précédentes.

Pour s'assurer de cette adaptabilité de la solution envisagée, nous avons cherché à faire le rapprochement des enseignements tirés de nos expériences et de notre analyse des référentiels afin de mieux anticiper les interactions entre les différents éléments ayant une influence sur la définition des parcours des apprenants. Ceci nous a permis de formaliser quatre grandes fonctionnalités, développées à partir de nos observations des apprenants ; la recherche à partir d'un mot-clé, la recherche à partir d'un mot-composé, la recherche à partir d'une association de mots-clés et enfin la génération d'un parcours de lecture.

##### **4.5.1. Les scénarii d'utilisation**

Les quatre grandes fonctionnalités peuvent être décrites ainsi :

1. **La recherche de contenu par mot-clé :** Permet à l'apprenant d'interroger le contenu du wiki pédagogique à partir d'un mot-clé.
2. **La recherche de contenu par mot-composé :** Permet à l'apprenant de faire une recherche à partir d'un mot-composé. A partir du mot-clé sélectionné dans le menu, un choix de mots-composés est proposé. Par exemple, si l'apprenant sélectionne « temps », l'application lui proposera « temps-réel ». Ce terme montre la pertinence de la fonctionnalité car « temps réel » et « temps-réel » n'ont pas le même sens. Elle

permet également aux apprenants de découvrir des utilisations de vocabulaire, souvent à partir de mots simples, qu'ils n'ont pas encore forcément rencontrés.

3. **La recherche de contenu par association des mots :** A la différence du mot-composé, ces mots ne se trouvent pas forcément côte à côte mais à l'intérieur d'un même paragraphe, voire une même section. A partir d'un mot-clé, une liste de termes associés sera proposée à l'apprenant. Pour ce faire, l'application interroge l'ontologie pour identifier les parents et enfants du terme sélectionné. Par exemple, pour le terme « Présence », l'apprenant se verra présenté avec plusieurs choix comme « Présence-Immersion ».
4. **La mise en place d'un parcours de lecture sur la base du profil utilisateur :** La quatrième fonctionnalité propose un parcours de lecture en fonction des choix opérés par l'apprenant. Il sélectionne un mot-clé, son profil et son contexte de son apprentissage (pendant le cours, en autonomie avec temps limité...). L'application lui retournera les éléments constituant son parcours et lui demandent de se positionner par rapport à son état des connaissances. A partir de ces informations, l'application identifie les éléments relatifs à sa requête en interrogeant l'ontologie de domaine, la base de données dont le contenu du wiki pédagogique.

L'ensemble des fonctionnalités mène à la création d'un fichier XML qui présente les contenus associés aux recherches. Un en-tête est rajouté pour chaque sous-section afin de qualifier le contenu pour l'apprenant de type « définition » ou « procédé ». Ces en-têtes sont générés à partir d'une liste de mots-clés. Lorsque ceux-ci sont identifiés dans le contenu identifié, ils sont automatiquement attribués en tag aux titres. Ceci permet aux apprenants de parcourir le contenu rapidement afin d'identifier les sections correspondantes plus précisément à leurs recherches, de bénéficier d'un contenu structuré et d'un découpage qui facilite la lecture.

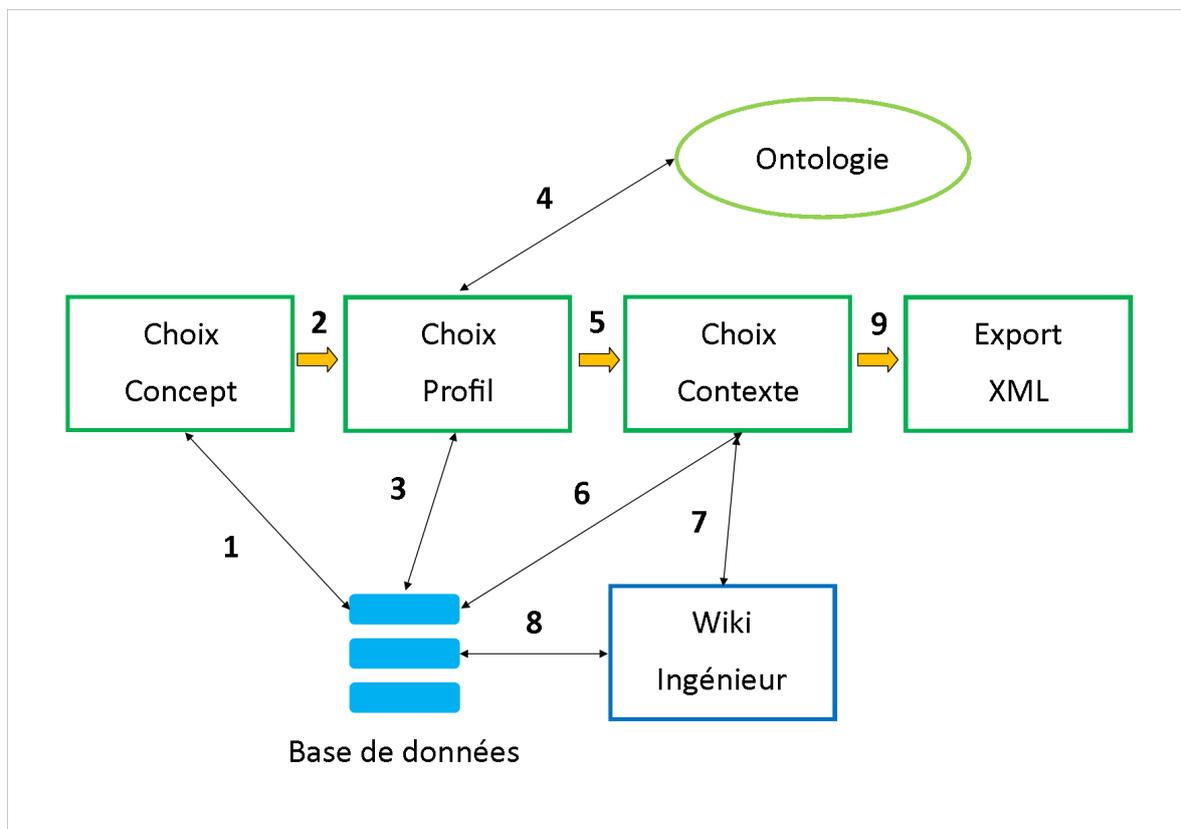
#### **4.5.2. Le prototypage de l'application**

Pour chacune des activités, nous pouvons identifier les données requises en entrée et les sorties attendues, ce qui nous permet d'identifier l'architecture de l'information nécessaire pour la gestion des ressources contenues dans l'application. Comme indiqué dans le schéma ci-dessous, les fonctionnalités mènent à la création d'un fichier XML présentant les contenus recherchés. Le choix du format XML permet une plus grande fonctionnalisation du contenu

extrait du wiki. A partir de ce fichier, on peut arriver à la création d'un livre électronique en format ePub que les élèves-ingénieurs généralistes peuvent consulter à leur convenance.

L'ePub, un format ouvert et libre, est le seul à faire l'objet d'une véritable promotion au sein de l'*International Digital Publishing Forum* car il peut être consulté en ligne et hors ligne sur les ordinateurs fixes et portables et la majorité de tablettes et smartphones et en intégrant les normes xHTML5 et CSS3, il peut être accessible à des publics souffrant de handicaps visuels ou des troubles d'apprentissage de type dyslexie et dyspraxie<sup>4</sup>. Ainsi, nous sommes capables de produire des ressources personnalisées et nomades et accessibles.

La fonctionnalité la plus basique, celle de « la recherche par mot-clé » ne génère qu'une simple requête pour sa mise en œuvre alors que « la génération du parcours de lecture », la fonctionnalité la plus complète et la plus complexe, fait appel à l'ensemble des outils et doit générer et gérer des multiples requêtes pour arriver à l'affichage des contenus provenant de sources multiples. D'ailleurs, l'utilisation est conditionnée par une quantité d'informations fournies par les utilisateurs du système selon le modèle présenté ci-dessous.



**Figure 16 : Présentation de l'architecture de la fonctionnalité parcours.**

<sup>4</sup> Pour plus d'informations sur les normes d'accessibilité mis en place par le Digital Accessible Information System (DAISY) consortium, veuillez consulter : [www.daisy.org](http://www.daisy.org).

### 4.5.3. Le développement de l'application pédagogique

Pour commencer notre développement, nous avons sélectionné cinq profils d'utilisateur qui représentent des typologies d'utilisateurs fréquemment rencontrés dans ces domaines d'étude ; étudiant débutant, étudiant intermédiaire, étudiant avancé, chercheur et industriel. Pour ces utilisateurs, nous avons également sélectionné cinq contextes de consultation de ressources ; en salle de classe, en train de réviser, au poste de travail, en autonomie temps limité et en autonomie temps indéfini. Ces profils et contextes macros seront peaufinés dans des versions ultérieures de l'application. La table ci-dessous montre les dix-sept associations de profils et contextes que nous avons imaginées pour la définition des parcours de lecture.

	Etudiant débutant	Etudiant intermédiaire	Etudiant avancé	Chercheur	Industriel
En salle de classe	X	X	X		
En train de réviser		X	X		
Au poste de travail				X	X
En autonomie temps limité	X	X	X	X	X
En autonomie temps indéfini	X	X	X	X	X

**Table 5 : Correspondances entre les profils et les contextes.**

Pour définir le contenu des parcours d'apprentissage, nous avons affecté un nombre d'attributs à chacun des profils et contextes. Les mots complémentaires permettent d'identifier les paragraphes récupérés par la requête qui sont les plus pertinents en fonction des besoins des utilisateurs. Par exemple, un étudiant débutant aura besoin de définitions pour un bon nombre de termes qu'il rencontrera et nous avons donc affecté la racine de « définir » comme attribut pour ces utilisateurs.

Les attributs ontologie permettent de définir les classes de l'ontologie de domaine qui seront intégrées à la définition du parcours de lecture. On peut considérer que les classes filles représentent les prérequis pour l'étude du concept en question et que les classes mères sont les perspectives d'avancement. Dans ce cadre, nous sommes dans une perspective vygotskienne [Vygotski, 2002] où les classes filles représentent les concepts que les apprenants doivent savoir maîtriser, la classe représente la zone de développement proximale et enfin la classe mère représente ce qui est hors de portée des apprenants. Dans la même lignée, on peut citer

les travaux de [Lave et Wenger, 1991] et [Zhang, 2011] où les apprenants participent aux activités en périphérie du domaine et avancent progressivement vers le cœur de la matière.

Profil	Mots complémentaires <sup>5</sup>	Attributs ontologie
Etudiant débutant	théorie, définition	filles
Etudiant intermédiaire	Théorie	filles et mère
Etudiant avancé	-	mère
Chercheur	théorie, technique	mère
Industriel	technique, application	filles et mère

**Table 6 : Attributs pour la sélection du contenu en fonction des profils.**

En ce qui concerne les contextes de consultation, nous avons défini deux attributs. Le premier concerne l'utilisation de mots complémentaires. Lorsqu'il est indiqué « tous », la requête retourne les paragraphes contenant les mots-clés et un des mots complémentaires.

Pour les attributs longueur, il s'agit d'identifier les paragraphes contenant moins de mille deux cent cinquante caractères soit moins d'une minute de lecture. Pour la définition du mot par minute (mpm), un mot est considéré comme un ensemble d'environ cinq caractères et une personne moyenne peut lire deux cent cinquante mots par minute [Fry, 1963].

Nous avons donc choisi de fixer cette limite pour trois des contextes de lecture. Ceci pour deux raisons ; la sélection des paragraphes contenant moins de mille deux cent cinquante caractères permet un survol plus rapide du texte et ces derniers, par leur brièveté, sont moins approfondis dans leur exploration du contenu. Par exemple, un apprenant débutant en salle de classe sera présenté avec un maximum de dix paragraphes, lui permettant d'avoir une assez bonne compréhension du concept et ses fondations en moins de dix minutes.

Contexte	Mots complémentaires	Attributs longueur
En salle de classe	Tous	< 1250 caractères
En train de réviser	Aucun	< 1250 caractères
Au poste de travail	Premier	Néant
En autonomie – temps limité	Aucun	< 1250 caractères
En autonomie – temps indéfini	Tous	Néant

**Table 7 : Attributs pour la sélection du contenu en fonction des contextes.**

<sup>5</sup> Pour les mots morphologiques comme « théorie », « définir » et « application », nous utilisons les racines de ces termes.

Les contextes « en train de réviser » et « en autonomie – temps limité » ont les mêmes attributs. La différence entre ces deux contextes vient du fait que les paragraphes sont organisés en fonction de la fréquence des mots-clés sélectionnés pour le premier de ces contextes.

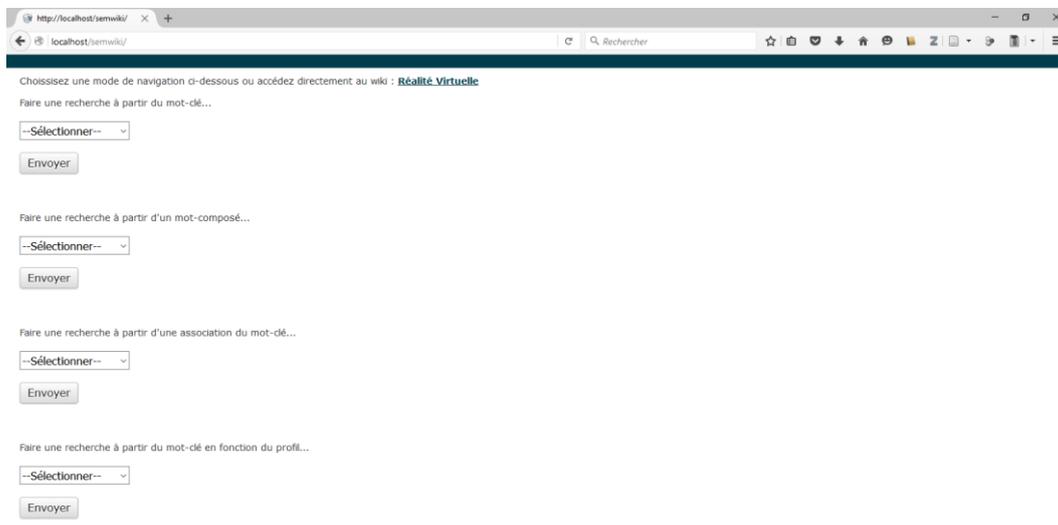


Figure 17 : Page d'accueil de l'application pour la réalité virtuelle.

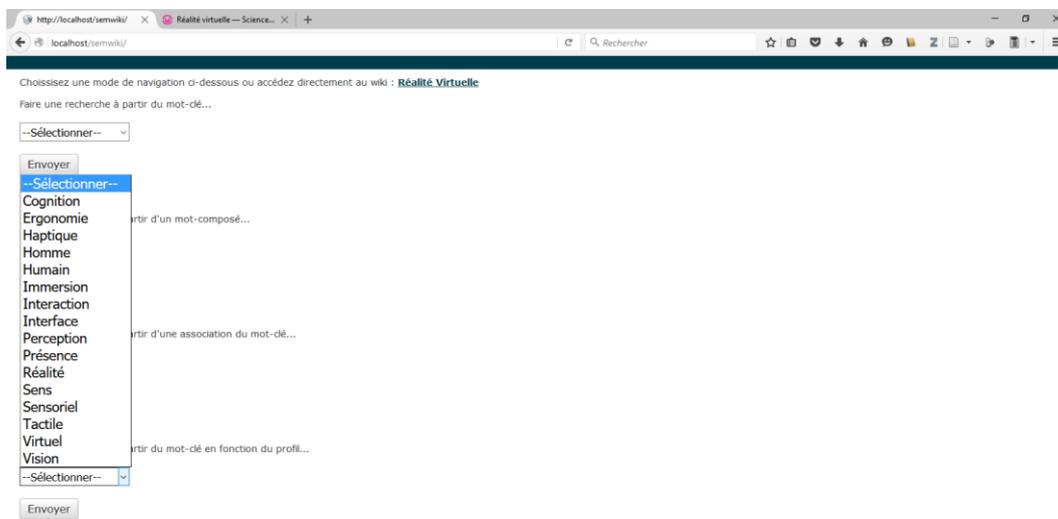


Figure 18 : Sélection du concept à explorer.

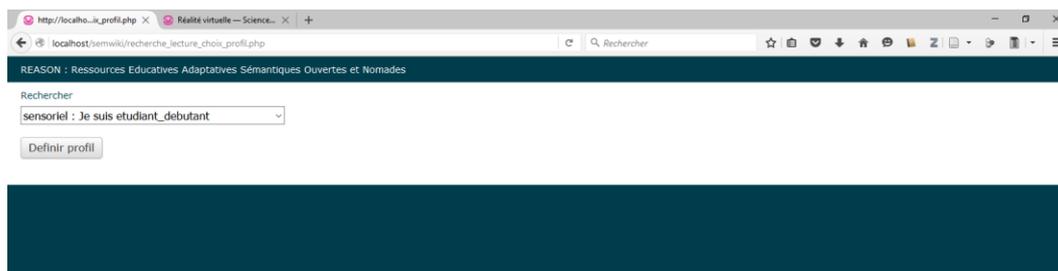


Figure 19 : Sélection du profil d'apprenant.

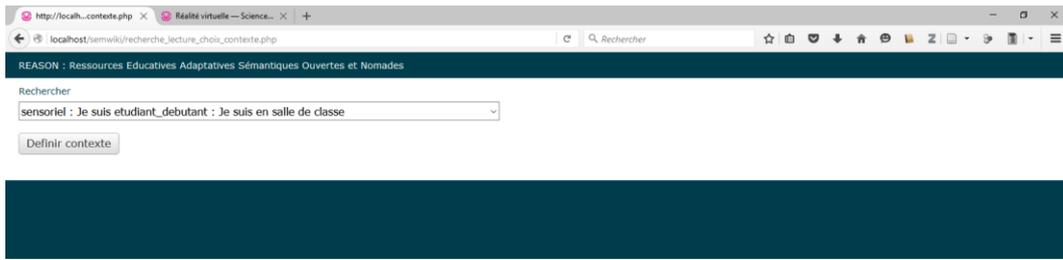


Figure 20: Sélection du contexte d'apprentissage.

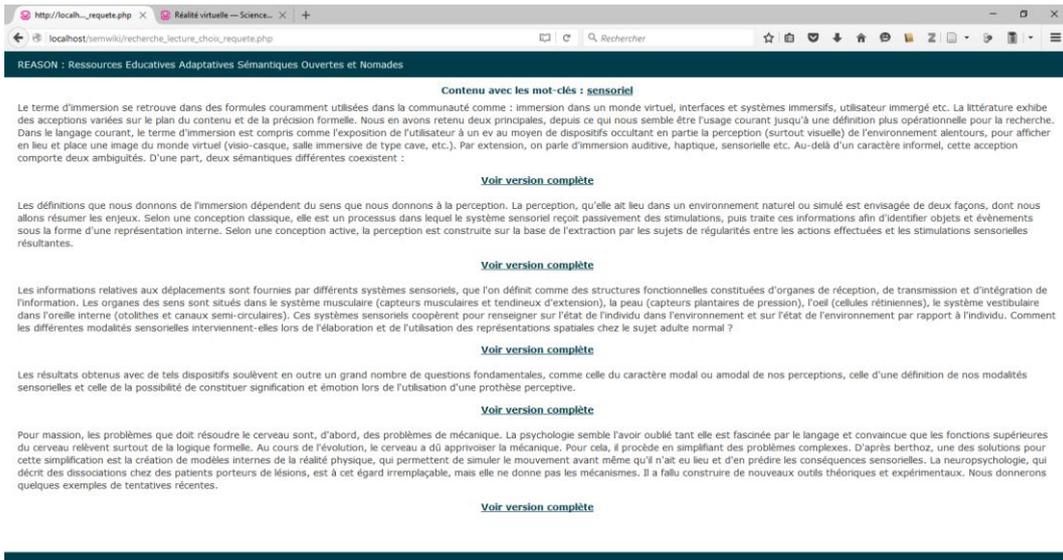


Figure 21 : Contenu associé à la recherche affiché en XML.

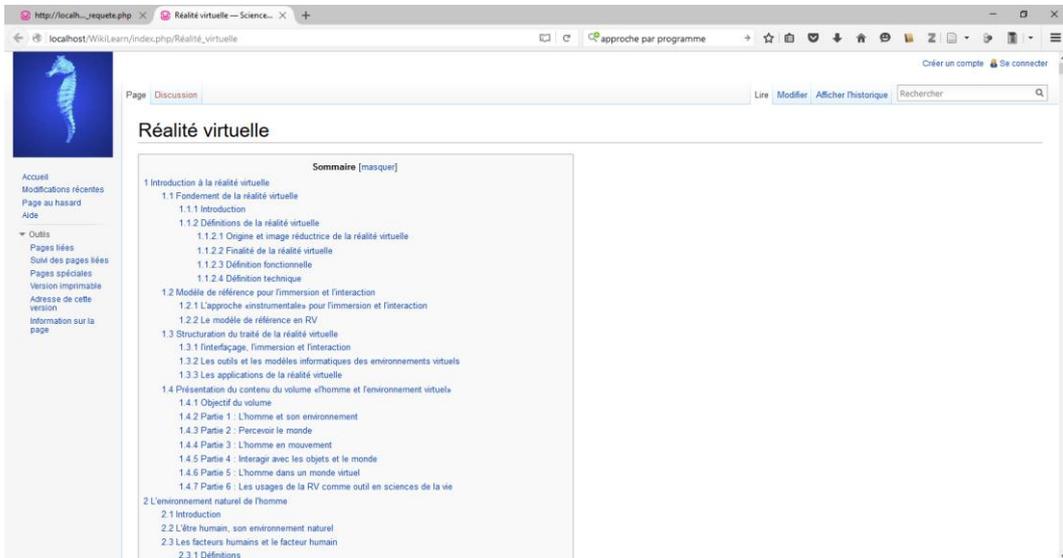
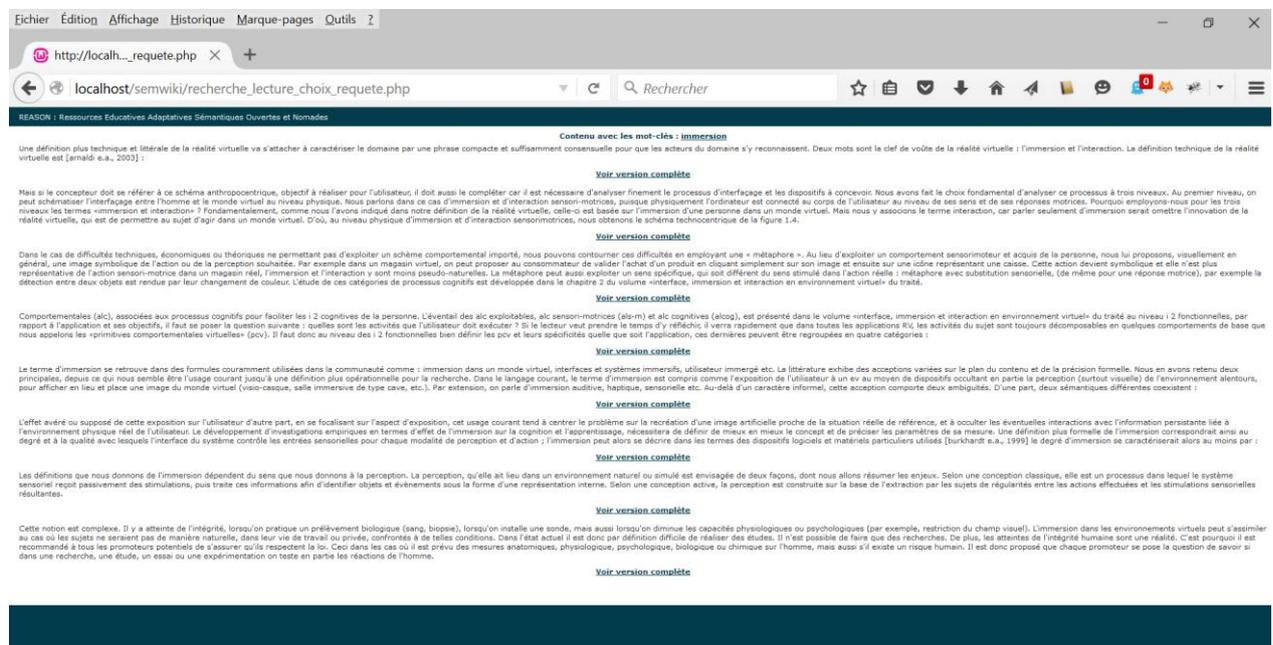


Figure 22 : Page du wiki Sciences de l'ingénieur pour la réalité virtuelle.

Les figures ci-dessus montrent des captures d'écran des différentes pages de l'application. Dans cet exemple, l'apprenant arrive sur la page d'accueil de la réalité virtuelle (fig. 17), sélectionne le terme « sensoriel » (fig. 18), définit son profil d'apprenant comme

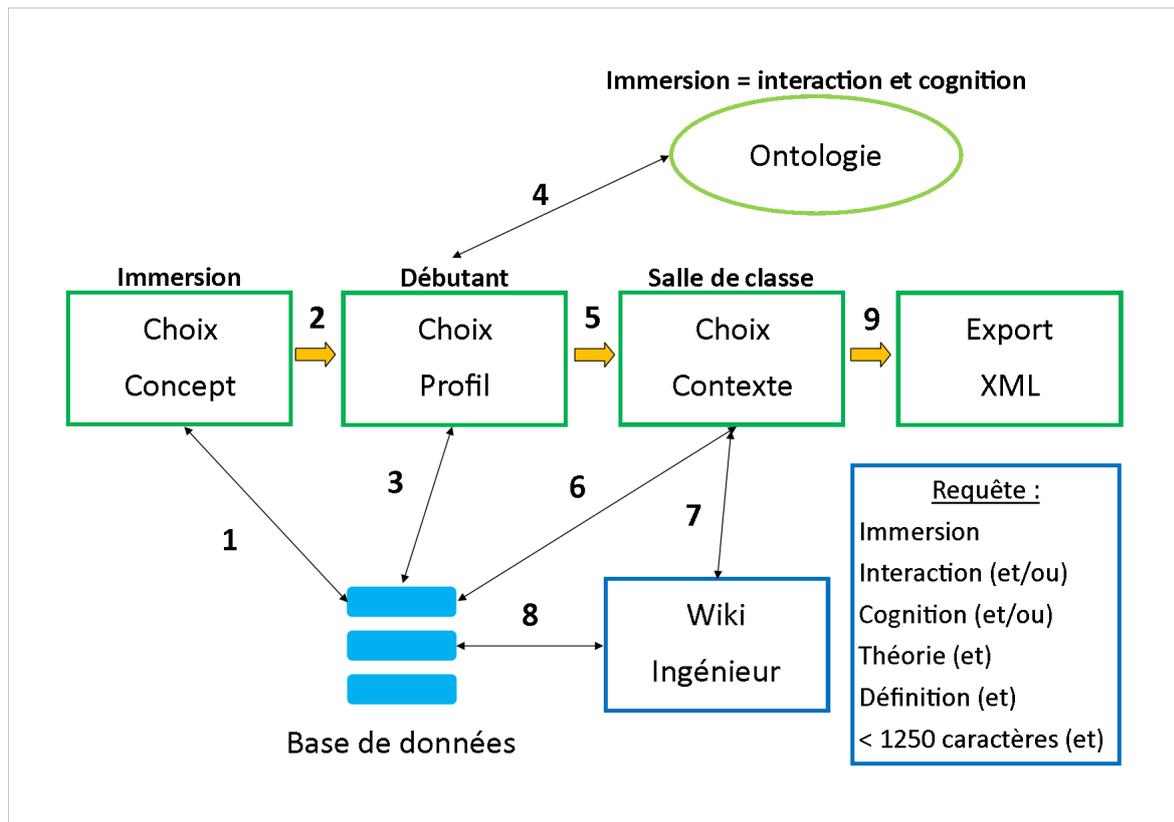
« étudiant débutant » (fig. 19) et son contexte comme « en salle de classe » (fig. 20). L'application génère du contenu basé sur ces requêtes, qu'elle affiche en XML (fig. 21). Enfin, nous avons une vue du wiki qui sert de source pour le contenu généré par l'application (fig. 22).

Pour illustrer ce processus en plus de détail, voici un exemple de visualisation du parcours de lecture d'un apprenant débutant en salle de classe qui souhaite mieux comprendre le concept de l'immersion. L'application a identifié huit paragraphes qui contiennent le mot « immersion » ainsi que ses concepts fils accompagnés de la racine du « définir » et/ou « théorie ».



**Figure 23 : Aperçu du parcours de lecture pour « Immersion » pour un apprenant débutant en salle de classe.**

Le schéma ci-dessous montre les différentes étapes de la concaténation du contenu pour cette requête :



**Figure 24 : Schéma du traitement de la requête « Immersion » pour un apprenant débutant en salle de classe.**

Pour commencer, les extraits mettent en évidence le lien fort entre immersion et interaction. Ces termes sont régulièrement employés ensemble dans l'exploration du domaine. Ensuite, les apprenants sont présentés avec :

- une mise en contexte du terme dans le domaine de la réalité virtuelle :

« Fondamentalement, comme nous l'avons indiqué dans notre définition de la réalité virtuelle, celle-ci est basée sur l'immersion d'une personne dans un monde virtuel. »

- des exemples d'usages et une définition concrète :

« Le terme d'immersion se retrouve dans des formules couramment utilisées dans la communauté comme : immersion dans un monde virtuel, interfaces et systèmes immersifs, utilisateur immergé etc. La littérature exhibe des acceptions variées sur le plan du contenu et de la précision formelle. Nous en avons retenu deux principales, depuis ce qui nous semble être l'usage courant jusqu'à une définition plus opérationnelle pour la recherche. Dans le langage courant, le terme d'immersion est compris comme l'exposition de l'utilisateur à un EV au moyen de dispositifs occultant en partie la perception (surtout visuelle) de l'environnement

alentours, pour afficher en lieu et place une image du monde virtuel (visiocasque, salle immersive de type cave, etc.). Par extension, on parle d'immersion auditive, haptique, sensorielle etc. »

- des concepts connexes à comprendre :

« Les définitions que nous donnons de l'immersion dépendent du sens que nous donnons à la perception. »

- avant d'arriver à une exploration plus formelle du terme.

« Une définition plus formelle de l'immersion correspondrait ainsi au degré et à la qualité avec lesquels l'interface du système contrôle les entrées sensorielles pour chaque modalité de perception et d'action... »

A un taux de 250mpm, le contenu correspond à environ quatre minutes de lecture. L'apprenant a toute les informations dont il a besoin pour avoir une compréhension du concept dans son exploration du terme dans ce contexte d'apprentissage et peut accéder au contenu complet dans son contexte originel par le moyen des liens HTML, lui permettant d'approfondir ses lectures.

#### **4.6. L'évaluation des dispositifs**

Afin d'évaluer la portée de nos dispositifs, lors d'une séance en présentiel de 4 heures le matin du 21 septembre 2015, nous avons interrogé vingt-huit élèves-ingénieurs généralistes prenant part à l'option disciplinaire RV à Centrale Nantes. Ces étudiants répartis dans quatorze binômes travaillaient sur le même cas d'étude que celui présenté dans la section « 4.4.2.2 Etude de cas : La conception d'applications de Réalité Virtuelle ».

Nous avons mené une étude auprès des apprenants [ANNEXE 2]. Nous avons notamment relevé les différents types de ressources utilisés par les binômes, les choix stratégiques derrière l'utilisation des ressources, la couverture de leurs besoins par les ressources proposées et les notions d'auto-efficacité pour compléter l'activité à un niveau suffisant avec les ressources disponibles. Nous avons également recueilli des informations sur la perception de l'application que nous avons construite et élicité des propositions pour l'évolution de cette dernière.

<b>BINOME</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	
<b>Livre papier</b>	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	<b>7</b>
<b>Livre électronique</b>	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	<b>8</b>
<b>Wikipédia</b>	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	<b>7</b>
<b>Hippocampus</b>	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	<b>12</b>
<b>Google Images</b>	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	<b>5</b>
<b>Chaînes média</b>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	<b>2</b>
<b>Sites spécialisés</b>	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	<b>9</b>
<b>Enseignant</b>	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	<b>4</b>
<b>Autres (sites web)</b>	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	<b>8</b>
<b>Types de ressources</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	

**Table 8 : Récapitulatif des ressources utilisées par les élèves-ingénieurs dans le cadre du cas d'étude.**

La table ci-dessus récapitule les ressources utilisées par les étudiants. Parmi les ressources les plus utilisées, nous trouvons Hippocampus - l'environnement numérique de travail (ENT) de l'établissement, le livre *Le Traité de la réalité virtuelle* (présenté en format papier et électronique), les sites web spécialisés et les autres sites web.

Sur Hippocampus, les élèves-ingénieurs généralistes ont principalement utilisé les diapositives que les enseignants ont présentées pendant les cours magistraux. Dans ces diapositives, ils ont notamment pu revoir les éléments théoriques nécessaires pour compléter le cas d'étude comme l'identification des  $I^2$  fonctionnels ou les Primitives Comportementales Virtuelles (PCV).

Il est intéressant de constater que trois binômes se sont tournés d'abord vers Wikipédia pour rechercher ces éléments théoriques mais ces tentatives se sont soldées par un échec. Ils n'ont pas forcément pu identifier une ressource correspondante à leur recherche et même lorsque cela était possible, les informations trouvées ne correspondaient pas forcément aux spécificités du cas d'étude. Ces binômes se sont ensuite tournés vers les ressources disponibles sur Hippocampus, une stratégie qui s'est avéré plus efficace.

Les autres apprenants qui ont utilisé Wikipédia étaient plutôt à la recherche d'informations spécifiques au domaine de l'application qu'ils ont identifiée dans le cadre du cas d'étude. A titre d'exemple, un binôme qui travaillait sur la conception d'une application

de simulation de saut en parachute cherchait à savoir si les sauts par temps pluvieux étaient possibles.

Contrairement aux études menées précédemment (Section 4.4.3) [Carolan et al, 2015], l'utilisation de Wikipédia pour le cas d'étude est restée très marginale. Les apprenants ont privilégié des sites spécialisés dans les domaines d'application. Sur ces sites, ils ont pu trouver des informations techniques leur permettant de définir les paramétrages des applications et les particularités des systèmes à prendre en compte.

En ce qui concerne le livre support du cours, nous avons identifié plusieurs types d'utilisation en fonction du format papier ou électronique de ce dernier. Dix binômes distinguent les utilisations des deux formats par rapport aux avantages procurés. Ils préfèrent le livre papier pour un confort de lecture et, en adéquation avec les idées mises en avant dans la littérature, l'impression que la lecture sur papier procure une meilleure concentration, compréhension et mémorisation des contenus.

Néanmoins, les apprenants déclarent préférer la version électronique dans certains contextes car elle permet une recherche du contenu par mot-clé et une navigation facilitée à l'intérieur de la ressource. D'ailleurs, quatre binômes ont utilisé les deux formats en parallèle, utilisant la version électronique pour identifier la section recherchée et ensuite se tournant vers la version papier pour la découverte de ce contenu.

A partir du prototype mis en place dans le cadre de ce projet, nous avons fait une démonstration de l'application web pour la gestion personnalisée des ressources pédagogiques à chacun des binômes. Nous leur avons demandé de faire un retour qualitatif sur les fonctionnalités de l'application, leur intérêt pour l'utilisation de cette ressource par rapport aux ressources étudiées dans le cadre du cas d'étude et la correspondance entre les fonctionnalités de l'application et les besoins documentaires des élèves-ingénieurs généralistes<sup>6</sup>.

L'ensemble des vingt-huit élèves-ingénieurs généralistes interrogé a reconnu l'intérêt pour l'utilisation de l'application web en parallèle des autres outils documentaires. Ils apprécient la possibilité d'avoir un accès rapide à des informations de qualité (neuf binômes), de pouvoir qualifier rapidement les ressources en passant par les titres contextuels (neuf

---

<sup>6</sup> Dans un premier temps, nous avons demandé aux élèves-ingénieurs généralistes de faire abstraction des aspects liés à l'ergonomie de l'outil. Ces aspects seront traités dans les versions subséquentes de l'application.

binômes), de pouvoir personnaliser l'accès au contenu pédagogique (trois binômes) et enfin de pouvoir disposer d'une vision mise à jour du domaine (quatre binômes).

Nous avons pu relever cinq cas d'utilisation pour l'application d'ingénierie documentaire. Ces cas d'utilisation se reposent sur les témoignages des élèves ingénieurs et nos observations des pratiques de ces étudiants :

- Application seule

Les étudiants peuvent utiliser l'application pour accéder au contenu personnalisé. Ils peuvent effectuer quatre types de recherche sur les ressources pédagogiques. Les contenus proposés proviennent du wiki ainsi que des contenus supplémentaires provenant des bases de données comme des vidéos explicatives, des exercices, des images animées et des simulateurs.

- Application avec livre papier

Un binôme a évoqué l'utilisation de l'application en parallèle du livre papier. Les apprenants peuvent faire des recherches dans l'application pour identifier le contenu approprié avant de se tourner vers le livre papier pour effectivement découvrir ce contenu. L'utilisation du livre papier peut aussi faciliter la gestion des ressources documentaires par les étudiants. Par exemple, dans le cadre du cas d'étude RV, les binômes disposaient d'un seul écran par binôme avec une multitude de ressources nécessaires pour compléter cette activité dont les ressources pédagogiques proposées par les enseignants, des sites web et un éditeur de texte. Certains étudiants ont donc cherché à utiliser les versions papiers des livres afin de faire une économie d'espace sur l'écran et optimiser la répartition des tâches entre les étudiants.

- Application avec livre électronique

Trois binômes ont évoqué l'utilisation de l'application avec le livre électronique. Le scénario évoqué en parallèle du livre papier s'applique aussi bien au livre électronique mais il a l'avantage sur le livre papier de permettre de rechercher un mot pour faciliter la navigation à l'intérieur de ressource et l'avantage sur le wiki qu'il peut être transmis et consulté hors ligne.

- Application avec wiki

Quatre binômes ont évoqué une utilisation de l'application avec le wiki. Les apprenants peuvent se servir de l'application pour lire le contenu dans la version

personnalisée et condensée et naviguer vers les sections correspondantes dans le wiki pour obtenir une explication plus complète quand cela est nécessaire pour leur compréhension ou lorsqu'ils sont particulièrement intéressés par un sujet.

- Application avec wiki et livre papier

Six binômes ont évoqué une utilisation de l'application tantôt avec le wiki, tantôt avec le livre papier en fonction du contexte de consultation, du contenu à parcourir et l'état physique de l'apprenant. Ils ont mis en avant le confort associé à la lecture sur papier versus l'ergonomie et surtout la lisibilité du format wiki. Ceci conforte l'idée mise en avant à plusieurs reprises dans ce présent manuscrit ; l'application pédagogique forme une partie intégrante des EAP des apprenants et est à considérer comme une ressource comme une autre.

Entre les deux expériences menées dans le cadre du cas d'étude RV, nous avons observé une différence notable dans les comportements des apprenants par rapport à l'utilisation des ressources. Dans l'expérience menée en 2014, une grande partie des étudiants utilisaient des appareils supplémentaires à ceux fournis par l'établissement, c'est-à-dire une poste informatique par binôme. Ils mettaient en place des stratégies pour gérer les multiples ressources en fonction des appareils à leur disposition. Lors de l'expérience menée en 2015, seulement deux binômes utilisaient des appareils supplémentaires. Le premier de ces binômes, constitué d'étudiants étrangers utilisaient des appareils mobiles pour gérer des questions liées à l'utilisation de français alors que le deuxième binôme utilisait un ordinateur supplémentaire pour rédiger le cahier des charges attendu en fin de séance.

De ce fait, la deuxième cohorte était face aux contraintes ergonomiques de la visualisation de multiples ressources web et documentaires par le biais d'un écran unique. Ils nous ont fait part de leurs difficultés à gérer les multiples ressources, notamment lorsqu'ils ont ouvert des dizaines d'onglet dans le navigateur web. Ceci n'est pas sans conséquence sur leur souhait d'utiliser l'application proposée et notamment l'envie pour sept binômes de coupler l'utilisation de l'application et/ou le wiki avec une version papier des ouvrages.

Au-delà de l'identification des scénarii d'utilisation pour l'application, nous avons également interrogé les étudiants sur les possibles évolutions de l'application afin d'intégrer des nouvelles fonctionnalités pour répondre aux besoins des apprenants, notamment en termes de l'interopérabilité des outils et des ressources. [Laurillard et al, 2009] mettent en avant l'impact positif de faire participer les utilisateurs dans la construction de l'application :

« Less common, but perhaps most successful, are initiatives that permit co-development. Where developers brought a part-finished artefact, for example a “half-baked microworld” to an existing community, and the work with those community members to tailor it to address their own interests and preoccupations, a sense of ownership and engagement resulted that made adoption of the innovation a much more plausible outcome. »

Nous avons invité les étudiants à être force de proposition pour le développement continu de l'application. Ils ont identifié des outils ou fonctions comme faisant potentiellement partie des besoins des étudiants pour l'utilisation efficace des ressources pédagogiques. La grande majorité de ces outils relèvent du développement web et de l'ergonomie des interfaces.

### **Navigation à l'intérieur de l'application**

Ces premières fonctionnalités permettent à l'apprenant de davantage personnaliser son expérience soit en paramétrant davantage son accès au contenu, soit en rentrant dans des parcours davantage guidés. Ces fonctionnalités nécessiteront l'intégration de nouveaux mécanismes et la constitution d'une communauté d'apprenants pour alimenter la définition des parcours. Pour ces raisons, l'intégration de ces fonctionnalités est à visée plutôt moyen terme.

- Pouvoir faire des recherches à partir de questions prédéfinies (9 binômes)

Il y a certaines questions que les étudiants posent régulièrement de type « Quelles sont les applications RV ? ». Il pourrait être intéressant d'intégrer une liste de questions qui pointe sur les sections des ressources spécifiques à ces questions. Cette fonctionnalité a été proposée par plusieurs binômes mais d'autres ont des craintes concernant l'efficacité de ces questions jugées trop généralistes. Une variante de cette fonctionnalité a été proposée. Il s'agit de permettre aux apprenants de poser des questions qui seront soumises aux votes des autres apprenants. Les questions les plus pertinentes feront ensuite l'objet d'une programmation de parcours.

- Avoir la possibilité de poser des questions ouvertes (9 binômes)

Les binômes qui ont un avis défavorable pour l'utilisation des questions prédéfinies ont proposé la mise en place d'une fonctionnalité qui permettrait de poser des questions en langage naturel.

- Pouvoir faire un paramétrage manuel des requêtes (3 binômes)

Le système présenté aux étudiants définit un parcours de lecture à partir d'un certain nombre d'informations renseignées par les apprenants sur le contexte de l'apprentissage, l'état de leurs connaissances du domaine et leurs objectifs d'apprentissage. Les requêtes qui génèrent les parcours de lecture sont produites automatiquement. Quelques étudiants ont exprimé l'intérêt de personnaliser les recherches de parcours en renseignant des informations supplémentaires ou d'intégrer un peu plus de nuances dans les paramètres utilisateur afin de définir avec plus de précision le profil de l'utilisateur.

### **Compréhension du contenu pédagogique**

Ces fonctionnalités sont des moyens supplémentaires pour aider les apprenants à comprendre le domaine d'étude. Ils permettent de diversifier les ressources en proposant du contenu complémentaire pour que les apprenants puissent continuer à explorer la thématique choisie. Nous avons déjà amorcé un travail sur l'intégration de ressources multimédia et notamment de vidéos. Par ce biais, nous avons également intégré une ébauche sur le social learning et la constitution de ressources collaboratives par l'intégration du feedback utilisateur sur la pertinence des médias sélectionnées.

- Afficher des bulles de dialogue avec des définitions des mots-clés ou exemples (4 binômes)

Lorsqu'un apprenant découvre un mot-clé qu'il ne maîtrise pas, il serait intéressant de proposer une définition de ce dernier qui apparaîtra dans une bulle de dialogue ou qui s'ouvrira dans un nouvel onglet. Certains binômes ont exprimé des craintes que ces définitions contiennent d'autres mots-clés qu'ils ne maîtrisent pas. Ils proposent plutôt de pouvoir découvrir un exemple concret de l'utilisation du mot-clé par le biais d'un média de type vidéo.

- Fournir des références bibliographiques pour chaque sous-section (9 binômes)

Une majorité d'apprenants a exprimé l'intérêt d'intégrer des références bibliographiques à la fin de chaque sous-section afin de pouvoir continuer la découverte des éléments du domaine. En plus des références académiques, ils ont exprimé leur intérêt pour le référencement de sites web spécialisés, des ressources largement exploitées par les étudiants dans le cadre de leurs études et notamment lors des séances pratiques comme le cas d'étude présenté ici.

- Intégrer des ressources multimédia (8 binômes)

Les étudiants souhaitent que le contenu soit davantage intercalé avec des ressources multimédia de type vidéo explicative ou schéma animé afin d'augmenter la lisibilité de

contenu et de maintenir l'attention de l'apprenant en lui permettant d'effectuer des pauses dans sa découverte du contenu textuel.

- Mettre en place des forums d'échange (3 binômes)

Les forums d'échange permettront aux apprenants de s'engager dans un processus de *Social Learning*. Le fait de pouvoir échanger avec ses pairs augmente l'efficacité de l'apprentissage et l'utilisation des forums permet, entre autres, aux étudiants de se poser des questions sur des éléments spécifiques ou de converser avec d'autres apprenants sur des sujets à controverse.

### **Présentation de l'application**

Pour améliorer la lisibilité des contenus textuels, les apprenants nous ont fait part de leur intérêt pour les fonctionnalités suivantes. Elles relèvent de questions d'interface et ont déjà fait l'objet d'une étude quantitative auprès des utilisateurs finaux et ont été intégrées à l'application.

- Mettre en évidence les mots-clés recherchés (7 binômes)

Plusieurs binômes ont mis en avant l'avantage de mettre en évidence les mots-clés à l'origine des recherches afin de faciliter la navigation des apprenants dans le texte. Ainsi, ils pourraient parcourir plus rapidement le document produit afin d'identifier la section correspondante, prêter plus ou moins d'attention aux sections en fonction de la concentration des dits mots-clés et identifier les rapprochements entre les différents concepts du domaine.

- Pouvoir plier ou déplier les sections (3 binômes)

Afin de faciliter la lisibilité des ressources proposées aux apprenants, ils jugent qu'il serait préférable de permettre aux utilisateurs de plier et déplier les différentes sections afin de masquer les informations qui ne sont pas pertinentes ou les informations accessoires qui sont à découvrir ultérieurement. Certains apprenants déclarent devenir démotivés, désintéressés ou anxieux face à un contenu textuel important dans un document.

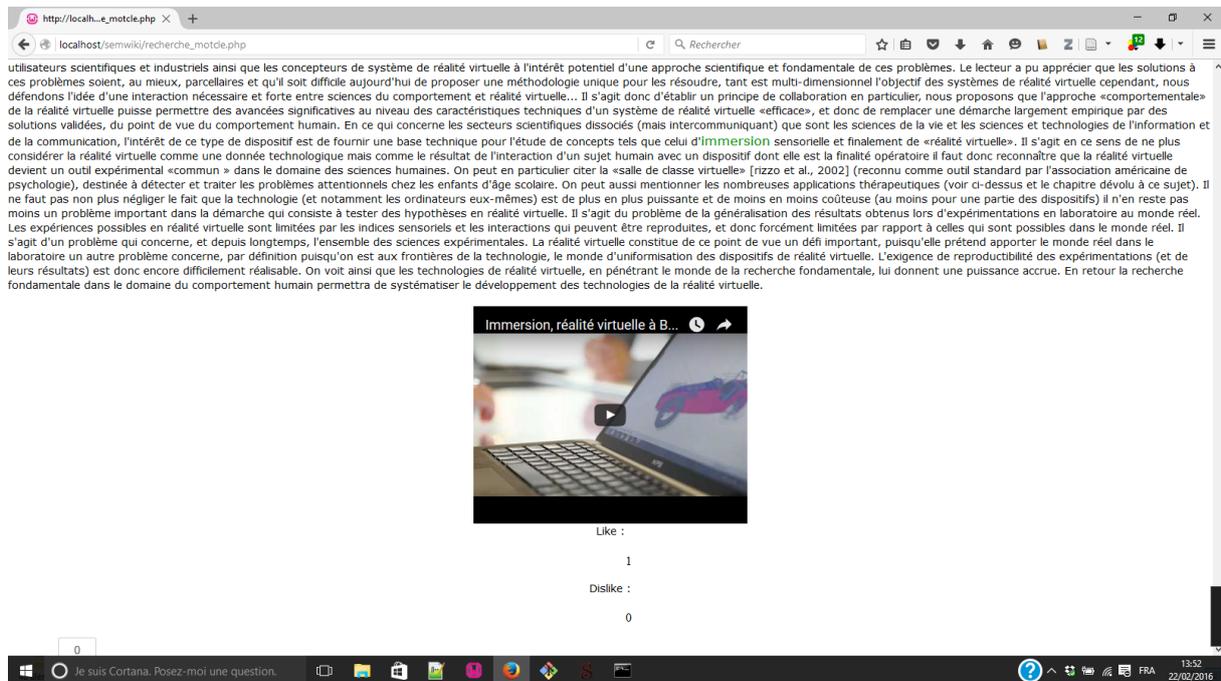
### **Feedback système**

Comme une grande partie de la définition des parcours de lecture se fait automatiquement, dans une optique d'amélioration continue, il serait intéressant d'avoir un retour des utilisateurs sur la pertinence des contenus.

- Pouvoir signaler un chemin et en choisir un autre s'il n'est pas pertinent (4 binômes)

Le système propose des chemins de découverte de contenu en fonction du profil de l'apprenant (élève-ingénieur, enseignant-chercheur, technicien, ingénieur d'étude...). Ces profils généralistes ne correspondent pas à l'ensemble des membres d'une catégorie. Il pourrait donc s'avérer intéressant de permettre aux utilisateurs de signaler certains contenus comme n'étant pas pertinents aux recherches des utilisateurs et leur permettre d'accéder à une ressource d'un autre niveau de connaissances. La collecte de ces informations pourrait permettre l'optimisation des chemins proposés aux utilisateurs à terme.

L'ensemble des propositions fera l'objet d'une étude fonctionnelle afin de proposer leur intégration dans des versions subséquentes de l'application web. Comme nous avons indiqué auparavant, trois de ces fonctionnalités ont déjà fait l'objet d'études quantitatives et qualitatives sur une centaine d'utilisateurs potentiels et sont dorénavant intégrées à l'application.



**Figure 25 :** Aperçu des fonctionnalités « mettre en évidence les mots-clés recherches » et « intégrer des ressources multimédia ».

Nous voudrions également travailler sur le développement d'une interface utilisateur qui permettra à l'apprenant de visualiser son parcours d'apprentissage par rapport à l'ensemble du domaine en même temps qu'il consulte le contenu associé. Nous souhaitons notamment travailler sur l'utilisation de cartes des connaissances pour naviguer dans les ressources du domaine.

A cet effet et suite à cette séance d'observation, nous avons réalisé une enquête auprès des étudiants visés par l'utilisation de cartes des connaissances pour la gestion de leurs apprentissages. Sur les vingt-huit étudiants interrogés, dix-neuf d'entre eux ont répondu à notre sollicitation. Nous leurs avons posé des questions au sujet de leur familiarité avec les cartes des connaissances, de la pertinence des cartes pour la gestion de la lecture, et de l'utilisation de cartes pour se représenter les parcours d'acquisition des connaissances.

Sur les dix-neuf étudiants interrogés, dix-sept entre eux ont déjà utilisé des cartes des connaissances dont quinze avec un logiciel dédié pour des projets académiques, associatifs et personnels. Douze étudiants trouvent qu'il est pertinent d'utiliser une carte pour la gestion de la lecture. Ces étudiants déclarent que les cartes des connaissances permettent de faire des recherches d'information plus aisées et de gagner en efficacité. Trois des étudiants mettent en avant le fait que cela permettra d'avoir une vision globale de la matière. Quinze étudiants considèrent que les cartes les aideraient à mieux représenter les parcours d'acquisition des connaissances. Parmi les justifications, les apprenants mettent en avant le fait qu'ils ont une mémoire plutôt visuelle ou que cela leur permettrait de mieux visualiser les liens entre les enseignements. Sur les quatre étudiants ayant répondu négativement, trois d'entre eux déclarent ne pas connaître suffisamment les cartes des connaissances.

Ces résultats démontrent qu'il y a un intérêt pour l'utilisation de cartes des connaissances pour gérer les apprentissages et mieux faire les liens entre les différents concepts enseignés et nous encourage à poursuivre nos études dans ce sens. Toutefois, des enquêtes à plus grande échelle seront nécessaires pour confirmer cette observation et pour bien prendre en compte les besoins des utilisateurs finaux dans le développement de l'application et de son interface de lecture.

## **Chapitre 5 : Discussion, Conclusions et Perspectives**

## **5. Introduction**

Les travaux effectués dans les domaines de l'ingénierie ontologique et l'ingénierie pédagogique nous ont permis d'explorer un certain nombre de problématiques et d'hypothèses, mises en avant dans le deuxième chapitre de ce manuscrit. Dans cet ultime chapitre, nous allons mettre ces hypothèses face aux résultats obtenus lors des différentes étapes pour analyser l'impact de notre processus sur l'avancement de travaux scientifiques dans ces domaines.

Dans un premier temps, la mise en perspective des résultats d'ingénierie ontologique et pédagogique nous permettra de délimiter la portée de nos travaux dans ces domaines et de discuter des limites de notre approche. Ce sera l'occasion de démontrer l'intérêt de l'utilisation de livres de référence pour la création d'ontologies de domaine pour arriver à une représentation plus inclusive du domaine mais aussi de montrer les particularités induites par une telle approche. En ce qui concerne la création et la gestion de DVP sur les bases de ces ontologies, nous aurons l'occasion de démontrer l'intérêt des apprenants pour ce type de ressource et de présenter les contextes d'utilisation de l'application et des ressources résultantes expérimentés mais ce sera aussi l'occasion de démontrer la nécessité de déployer ces ressources dans des multiples scénarii pour assurer la pérennité de la solution et d'évoquer les problématiques liées à l'ergonomie des ressources.

Enfin, nous émettrons des perspectives pour l'avancement de nos travaux, afin d'améliorer les résultats du processus, d'avancer vers une plus grande automatisation des tâches, d'optimiser la création des parcours de lecture et permettre une plus grande personnalisation et suivi pour les apprenants.

### **5.1. Discussion**

Nous allons maintenant explorer nos principales contributions : la mise en place et optimisation d'une approche semi-automatique de production d'ontologies de domaine à partir de livres de référence et la construction d'une application pour la génération et la gestion de documents virtuels personnalisables à partir de ces ontologies.

#### **5.1.1. L'ingénierie ontologique**

Nous avons mis en place une méthodologie pour la production facilitée d'ontologies de domaine à partir de livres de référence et procédé à l'exploitation des ontologies

résultantes couplées avec le contenu du corpus via la construction d'une application afin de proposer des ressources pédagogiques adaptatives.

L'analyse des résultats a notamment permis de se rendre compte de l'impact de la voix auctoriale sur l'ontologie résultante. En effet, le langage employé dans les ressources du corpus a un effet considérable sur l'identification des termes faisant potentiellement partie des ontologies résultantes. Il est donc important d'arbitrer sur ces termes qui ne traduisent pas forcément la formalisation des connaissances du domaine mais les intentions d'un auteur face à un public bien spécifique. Pour ce faire, on peut se poser un certain nombre de questions :

- Est-ce un élément de langage à maîtriser pour le public cible de l'ontologie ou simplement un exercice de style ?
- Comment cette idée est-elle représentée dans d'autres ouvrages ? Y-a-t-il des synonymes à prendre en compte ?
- L'utilisation de ces termes est souvent éphémère. Est-ce que l'utilisation de ce terme relève de quelque chose d'historique ?

Nous nous sommes posés ces questions pour quelques termes rencontrés lors de l'ingénierie textuelle. Dans le premier cas, celui de la vulgarisation des sciences des matériaux composites, le langage imagé et métaphorique a été traduit dans l'ontologie par l'utilisation de mots comme « spaghetti » pour décrire le comportement des mèches dans une résine. Dans d'autres ouvrages, le mot « vermicelle » est utilisé pour évoquer la même idée. Alors que ces termes permettent d'expliquer des théorèmes complexes, on peut se demander quelle est la pertinence d'inclure ces concepts dans une ontologie qui se veut consensuelle et exploitable avec des multiples ressources. Dans ce cadre, nous sommes face à l'avantage qui confère l'utilisation des ontologies par rapport aux autres outils de cartographie des connaissances ; la possibilité de définir des synonymes et attributs pour les différents termes exploités. Nous avons choisi de définir ces termes comme étant des attributs de la classe « mèche » afin de se rendre compte de ce comportement sans que ces éléments soient perturbateurs dans la représentation des connaissances et sur le parcours de lecture résultant.

On a également constaté des différences entre le langage des enseignant-chercheurs et celui des industriels du domaine. Par exemple, alors que les enseignants-chercheurs parlent en termes du « poids gagné » des matériaux, les industriels réfléchissent en termes du « coût ». Il est donc important de prendre en compte comment faire cohabiter ces notions connexes dans l'ontologie de domaine de manière intelligente et intelligible.

Dans le deuxième cas, celui de l'état des connaissances dans la réalité virtuelle, la nature même de l'œuvre implique un recours à un langage bien plus formel. D'abord, le fait que l'ouvrage soit un « traité » implique que les auteurs veulent arriver à une formalisation du domaine pour ancrer les connaissances qui forment les bases de cette discipline. Deuxièmement, le fait que l'ouvrage fasse appel à une centaine de chercheurs a nécessité une harmonisation du langage par les éditeurs, un processus qui aura tendance à éliminer une grande partie des effets de style.

Au-delà de la question du choix du vocabulaire, comme nous avons indiqué plus haut, l'ontologie traduit les intentions des auteurs. Dans le cas de *La vie intime des matériaux composites*, l'intention est de créer un ouvrage « grand public » pour expliquer l'historique des matériaux composites, les principaux procédés de fabrication, les perspectives en termes de recherche et enfin les applications industrielles.

Ceci explique une des grandes disparités relevées entre les approches structurées et non-structurées. Alors que l'approche structurée, en passant par *La vie intime des matériaux composites*, a mis en avant les procédés de fabrication, l'ouvrage comme l'ontologie résultante contiennent peu d'informations sur la typologie de matériaux. Pour l'approche non-structurée qui s'appuie sur des documents technopédagogiques et industriels, nous sommes face à une situation inverse avec une grande importance donnée à la typologie des matériaux et peu de place pour les procédés de fabrication.

Cela signifie que la sélection des éléments constituant le corpus doit être faite en fonction du public cible pour les applications finales. Par exemple, pour un cours de trente-deux heures de type *Mise en forme des composites* qui vise à familiariser les élèves-ingénieurs généralistes avec les principaux procédés pour la manufacture des pièces composites, un ouvrage de vulgarisation et l'ontologie résultante seront bien suffisants pour couvrir les besoins de ces apprenants novices alors que pour une formation de type *Mastère Spécialisé Structures Composites* où les étudiants doivent maîtriser les aspects méthodologiques et techniques de mise en œuvre des pièces composites, l'ouvrage et l'ontologie résultante permettent une première approche du domaine mais restent largement insuffisants pour couvrir l'ensemble des besoins de ces apprenants. Dans ce deuxième cas, il pourrait s'avérer plus intéressant de sélectionner une ressource qui couvre le domaine au sens large ou éventuellement d'étendre le corpus pour inclure des ressources web dans une approche semi-structurée. Des études supplémentaires seront nécessaires pour valider cette hypothèse.

Toutefois, nous restons persuadés que l'utilisation de livres de référence amène à la création d'ontologies de domaine représentatives, si l'on prend soin de bien sélectionner l'ouvrage en fonction du public cible.

### ***Limites de l'approche d'ingénierie ontologique***

Alors que notre approche améliore l'efficacité et la représentativité des ontologies de domaine, elle rencontre certaines limites que nous tenterons d'élaborer ci-dessous :

Premièrement, nous travaillons à partir de textes statiques dans des domaines précédemment cités comme étant à évolution forte. Comme nous l'avons constaté auparavant, les ontologies existantes dans le domaine des matériaux n'ont pas évolué pour rendre compte des avancées technologies des vingt dernières années, notamment la mise en œuvre de nouveaux procédés de fabrication et le développement et la fonctionnalisation des matériaux innovants comme les nanotubes de carbone, rendant ces outils obsolètes à de nombreux points de vue. Nous avons rencontré un problème similaire avec le domaine de la réalité virtuelle. Le livre n'a pas pu rendre compte des dernières évolutions technologiques du domaine. Ceci soulève plusieurs questions :

- A partir de quel moment peut-on considérer qu'une technologie a une maturité suffisante pour que l'ontologie du domaine se stabilise ?
- Comment mettre en place une politique éditoriale pour intégrer ces changements dans le wiki et les ressources associées ainsi que l'ontologie de domaine ?

Dans notre cas, le format wiki permet la mise à jour des informations en fonction des évolutions du domaine. Toutefois, ces changements ne sont pas automatiquement répercutés sur l'ontologie de domaine. Il sera donc nécessaire de réfléchir à un procédé de mise à jour et validation pour l'ajout ou la suppression des classes et des relations entre ces dernières. Pour cela, nous pourrions notamment nous appuyer sur les travaux de [Stojanovic et al, 2002].

Deuxièmement, notre approche repose sur les contributions des experts à deux moments précis dans le processus. Dans un premier temps, ils interviennent sur les listes des mots-clés après le processus d'ingénierie textuelle pour trier la liste des radicaux à vérifier. Dans un deuxième temps, leur expertise permet de valider l'ontologie provisoire issue des analyses syntaxiques et sémantiques. Il n'est pas toujours facile d'avoir un accès direct aux experts de domaine et cette organisation implique qu'un délai soit nécessaire pour valider les ontologies produites afin de procéder à la production des ressources pédagogiques. En

employant des techniques d'apprentissage automatique, il serait possible d'améliorer l'ingénierie textuelle afin d'éliminer la première intervention humaine et de largement réduire la deuxième intervention.

Troisièmement, alors que l'algorithme de Carry a un taux de précision important, autour de quatre-vingt-dix pour cent, nous avons pu identifier un certain nombre d'améliorations qui peuvent être faites dans l'implémentation de cet algorithme. Par exemple, pour les mots qui se terminent en « que », lorsque la valeur associée à cette règle est atteinte, le suffixe est à remplacer par « c ». Alors que cette règle fonctionne bien pour les adjectifs au féminin, pour les conjonctions utilisées de façon régulière dans la langue française de type « puisque » et « lorsque », l'application sort les radicaux « puisc » et « lorsc ». De cette manière, ces radicaux erronés sont identifiés comme appartenant à la liste des radicaux à retenir car ils sont introuvables dans le lexique des mots les plus fréquemment utilisés. Un comportement similaire peut être constaté pour le futur du verbe irrégulier « être ». Il sera donc nécessaire d'instaurer des boucles complémentaires pour ces cas spécifiques.

En travaillant sur ces trois points, nous pourrions optimiser notre processus afin d'améliorer la qualité des résultats, optimiser le temps nécessaire à l'élaboration de l'ontologie et assurer la pérennité des ontologies face aux évolutions du domaine d'étude. Ceci permettra une plus grande répliquabilité du processus dans d'autres domaines des sciences de l'ingénieur voire les sciences dites « dures » au sens large.

### **5.1.2. L'ingénierie pédagogique**

En ce qui concerne le développement des applications pédagogiques, nous sommes arrivés à la création d'une application pédagogique capable de produire des ressources adaptatives et nomades. Cette application propose quatre fonctionnalités différentes aux apprenants ; la recherche à partir d'un mot clé, la recherche à partir d'un mot-composé, la recherche à partir d'une association de mots-clés et la construction d'un parcours de lecture/apprentissage. Ces fonctionnalités se basent sur des besoins relevés lors de nos interrogations et observations d'élèves-ingénieurs généralistes dans des contextes d'apprentissage où ils s'appuient sur leur EAP au sens large.

Tous les apprenants interrogés jugent l'application utile à leurs apprentissages et souhaitent expérimenter davantage l'utilisation de l'ensemble des fonctionnalités. Elle est appréciée pour son accès ciblé à l'information qui permet d'augmenter l'efficacité de la

découverte de son contenu et pour sa présentation structurée de contenu par rapport à un grand nombre d'autres ressources qui leur sont proposées dans le cadre de leur EAP, notamment les livres de référence et les ressources encyclopédiques.

Pour confirmer l'intérêt de l'outil dans le cadre de la formation d'ingénieurs généralistes, il sera nécessaire de déployer cette application dans d'autres contextes d'apprentissage de manière pluriannuelle et d'analyser les retours des apprenants suite à ces expériences. Pour ce faire, nous devons déployer l'application à une plus grande échelle, en expérimentant son utilisation à l'échelle d'une promotion entière d'élèves-ingénieurs généralistes dans une démarche pluri-institutionnelle.

Il sera également nécessaire d'analyser l'impact des fonctionnalités supplémentaires qui seront intégrées à l'application à partir de la liste proposée par le groupe témoin en prêtant une attention particulière à celles liées à l'interface utilisateur afin d'éviter les effets néfastes que certains développements peuvent avoir sur la charge cognitive des apprenants, comme explicités par [Baccino, 2004 ; Saemmer, 2015].

### ***Limites de l'approche pédagogique***

Alors que notre approche aboutit à la création et la gestion de ressources pédagogiques adaptatives, la répliquabilité de notre approche dans d'autres contextes soulève un certain nombre de points de vigilance que nous tenterons d'élaborer ci-dessous :

Premièrement, nous travaillons à partir de livres dont une partie des détenteurs de droits d'auteur est hors de notre équipe. Alors que légalement rien ne s'oppose à l'utilisation d'un livre électronique sous copyright pour produire une ontologie<sup>7</sup>, ce même livre ne peut pas être ensuite utilisé dans son entièreté à l'intérieur d'une ressource pédagogique. Dans ce

---

<sup>7</sup> Dans le droit américain, à propos du Fair Use, il est stipulé, « Nonobstant les dispositions des sections 106 et 106A3, l'usage loyal d'une œuvre protégée, y compris des usages tels la reproduction par copie, l'enregistrement audiovisuel ou quelque autre moyen prévu par cette section, à des fins telles que la critique, le commentaire, l'information journalistique, l'enseignement, les études universitaires et la recherche, ne constitue pas une violation des droits d'auteurs. » En France, l'article L.122-5 du Code de propriété intellectuelle contient un dispositif similaire. Ainsi, l'article 3a) stipule « Sous réserve que soient indiqués clairement le nom de l'auteur et la source, lorsque l'œuvre a été divulguée, l'auteur ne peut interdire les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, polémique, pédagogique, scientifique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées. » et plus loin l'article 3e) « La représentation ou la reproduction d'extraits d'œuvres, sous réserve des œuvres conçues à des fins pédagogiques, des partitions de musique et des œuvres réalisées pour une édition numérique de l'écrit, à des fins exclusives d'illustration dans le cadre de l'enseignement et de la recherche... dès lors que le public auquel cette reproduction est destinée est composé majoritairement d'élèves, d'étudiants, d'enseignants ou de chercheurs directement concernés, que l'utilisation de cette représentation ou cette reproduction ne donne lieu à aucune exploitation commerciale et qu'elle est compensée par une rémunération négociée sur une base forfaitaire sans préjudice de la cession du droit de reproduction par reprographie mentionnée à l'article L. 122.10.

cas, il sera nécessaire d'intégrer des REL et de s'appuyer davantage sur les contributions de la communauté scientifique dans le wiki.

Deuxièmement, le groupe témoin a expérimenté l'utilisation ponctuelle de l'application dans le cadre spécifique d'une activité qui implique une grande autonomie de la part des participants. Comme nous avons constaté précédemment, cet outil forme une partie de l'EAP des apprenants. Toutefois, nous avons imaginé des scénarii pour l'utilisation de l'application en présence d'un enseignant avec un accompagnement pédagogique. Cependant, nous n'avons pas encore déployé l'application dans ce cadre. Il sera nécessaire de procéder à des expériences de ce genre pour confirmer l'intérêt de l'application dans ces scénarii supplémentaires et assurer la pérennité de l'outil du côté de l'enseignant aussi bien que du côté de l'apprenant.

Troisièmement, nous avons peu de retours sur les aspects liés à la cognition de la lecture de ces ressources et notamment sur les effets induits par le changement du mode de lecture, notamment en ce qui concerne la création des parcours et l'appauvrissement du nombre d'hyperliens face à une ressource encyclopédique électronique classique. Il sera nécessaire de travailler avec des chercheurs en psychologie cognitive et en ergonomie de ressources électroniques pour analyser les impacts des parcours de lecture. On pourrait notamment mettre en place des observations d'oculométrie pour mieux comprendre le comportement des apprenants face à ses ressources et l'effet potentiel des contenus multimédia sur la concentration, les saccades des yeux et donc sur la mémorisation de ces apprenants, une méthode explorée par [Baccino, 2004].

Malgré ces points de vigilance, on constate l'adhésion de la part de notre groupe témoin à l'application et aux premières fonctionnalités proposées. Ces résultats encourageants confirment l'intérêt de poursuivre le développement de l'application et son déploiement à plus grande échelle.

## **5.2. Conclusion**

Notre approche en deux temps nous a permis d'explorer l'impact du choix de corpus sur la création d'ontologies de domaine et l'utilisation de ces derniers pour la création et la gestion de ressources pédagogiques adaptatives, notamment par le biais de documents virtuels personnalisables.

### **5.2.1. Le livre de référence une qualitative et représentative**

En ce qui concerne le choix du corpus, nous pouvons confirmer que nous obtenons une bonne représentativité du domaine d'étude en employant une approche à partir d'un corpus structuré. Notre comparaison avec l'approche non-structurée semble pointer vers le fait qu'il sera intéressant d'explorer une approche intégrant les livres de référence dans un corpus avec quelques ressources non-structurées. Les livres de référence semblent apporter un contenu qualitatif dans une masse critique suffisamment grande pour couvrir une large partie du domaine. Les ressources non-structurées complémenteraient les livres de référence en proposant une ouverture envers les représentations d'autres acteurs du domaine voire des connaissances un peu plus récentes. Des analyses supplémentaires seront nécessaires pour analyser cette nouvelle hypothèse.

La question de masse critique ne se pose pas forcément dans le cadre d'une approche structurée. Par ailleurs, nous constatons que le corpus peut être constitué d'une ressource unique de type livre de référence en prenant soin de bien sélectionner la ressource en fonction des objectifs visés. Dans le cadre de notre étude, nous avons pu démontrer comment le choix de cette ressource unique a un impact sur la portée de l'ontologie résultante, d'un livre de vulgarisation pour la création d'une ontologie à destination des apprenants novices à un livre de référence pour une ontologie à destination de tout utilisateur et surtout à un public expert.

### **5.2.2. Le DVP un outil efficace pour l'apprenant**

En ce qui concerne la création et la gestion de ressources pédagogiques adaptatives, notre approche a abouti à la création de documents virtuels personnalisables en fonction des objectifs, des contextes d'apprentissage et des profils des apprenants. Ces documents virtuels leur permettent d'avoir un accès contrôlé à l'information et ainsi permet d'augmenter l'efficacité de leurs recherches de contenu et sa réutilisation dans le cadre d'activités pédagogiques, notamment pour des activités de synthèse.

Les utilisateurs visés dans cette première phase d'étude, les élèves-ingénieurs généralistes, affirment l'intérêt de l'application pédagogique et les documents réalisés pour compléter les ressources existantes de leur EAP. Ils se sont appropriés l'application pour se rendre compte de l'utilité de cet outil pour leurs apprentissages et se sont engagés dans le processus de développement futur de l'outil en proposant des fonctionnalités complémentaires et des scénarii d'utilisation supplémentaires.

### **5.2.3. La carte de connaissances – un outil pour situer ses apprentissages**

Nos enquêtes sur la cohorte de l'option disciplinaire RV montrent un intérêt marqué pour les apprenants d'utiliser des cartes des connaissances dans l'optique de faciliter les lectures des différentes ressources par les apprenants et de permettre à ces derniers de visualiser le contexte de leurs apprentissages et plus particulièrement les liens entre les différents concepts qu'ils rencontrent. Les résultats de l'enquête, notamment le fait que trois quarts des dix-neuf étudiants interrogés voient l'utilité de cartes des connaissances pour l'apprentissage, nous encouragent à poursuivre notre exploration de cet outil pour la contextualisation des apprentissages.

Nous avons notamment mis en place une activité pédagogique de constitution de cartes des connaissances par les apprenants pour le domaine étudié en début et en fin de cours pour leur permettre de réfléchir sur la connexion entre les différentes connaissances et compétences rencontrées. Ces cartes peuvent être comparées de façon automatique avec une carte « experte » du domaine. Ces expériences nous permettront de mieux nous rendre compte de la capacité des étudiants à se servir de cartes des connaissances dans des situations d'apprentissage. Toutefois, il sera nécessaire de faire cette enquête et l'expérience associée à une plus grande échelle pour confirmer nos résultats initiaux et pour mieux se rendre compte de la capacité des apprenants à faire des abstractions à partir de ces visualisations.

### **5.3. Perspectives**

Face à cette première expérience réussie, nous allons donc continuer à explorer le développement des ressources pédagogiques adaptatives en déployant notre approche dans des domaines du tronc commun des sciences de l'ingénieur. A terme, nous pourrions arriver à un compagnon de l'élève-ingénieur généraliste qui peut faire partie de son EAP pour l'ensemble des matières enseignées aux apprentis ingénieurs. En ayant exploré un domaine dit des sciences « dures » comme les matériaux composites et un domaine à cheval entre les sciences dites « dures » et les sciences humaines et sociales comme la réalité virtuelle, nous avons confiance dans la robustesse de notre méthodologie pour traiter ces matières.

Il pourrait être intéressant d'explorer l'application de notre méthodologie à un domaine plus fermement ancré dans les sciences humaines et sociales où il y a davantage de controverse comme la psychologie ou la philosophie. Dans ces domaines, il est réputé difficile d'atteindre un consensus sur la représentation du domaine car l'utilisation de termes peut être beaucoup plus subtile et il est donc nécessaire de faire des analyses syntaxiques et

sémantiques plus complètes et complexes. Dans un premier temps, il est attendu que le fait de produire une ontologie de domaine de manière automatique facilitera le travail d'experts qui enrichiront l'ontologie à partir d'un modèle préétabli.

A travers nos échanges avec des apprenants et des enseignants et par rapport à la littérature dans le domaine, nous avons pu identifier d'autres perspectives d'évolution pour le processus de création d'ontologies et de domaine ainsi que pour le développement des usages de l'application et sa capacité à répondre aux exigences de ses utilisateurs. Nous souhaitons mettre en avant quatre pistes particulières pour la continuation de notre recherche ; augmenter l'automatisation de l'ingénierie ontologique, l'exploitation des traces utilisateurs, le développement d'agents intelligents et la mise en place d'une démarche de ressources éducatives libres.

### **5.3.1. Vers l'augmentation de l'automatisation de l'ingénierie ontologique**

Nous avons mis en place une approche semi-automatique pour la création d'ontologies de domaine. Nous aimerions avancer vers l'augmentation de l'automatisation de l'ingénierie ontologique. Actuellement, à cause de l'identification de lemmes multiples, certains mots-clés de domaines à morphologie forte sont écartés lors des tris effectués sur les lemmes identifiés. Il y a également une liste de mots-clés à vérifier qui nécessite l'intervention d'un expert du domaine pour éliminer les mots non-pertinents.

Afin d'améliorer les résultats des analyses, il pourrait être intéressant d'éliminer les mots vides avant le début des analyses textuelles. Ceci permettrait de réduire le nombre de lemmes à traiter et de mieux définir la fréquence des mots-clés à retenir ou vérifier.

Dans une perspective à venir, la mise en place d'une démarche intégrant des ressources structurées (livres de référence) et non-structurées (ressources web) nous souhaitons étudier la possibilité d'exploiter les techniques d'apprentissage automatique comme les réseaux de neurones artificiels [Lettvin et al, 1959]. Ceci nous permettra de catégoriser les ressources utilisées pour les analyses non-structurées. Pour cela, nous pouvons notamment explorer les travaux réalisés par [Li et Park, 2006] qui combinent des outils de désuffixation et des réseaux de neurones artificiels. Ces techniques peuvent également servir à mieux analyser le contenu des textes pour aller plus loin dans le passage d'une analyse statistique et syntaxique, vers une analyse sémantique et sémiotique.

### **5.3.2. L'exploitation des traces utilisateurs**

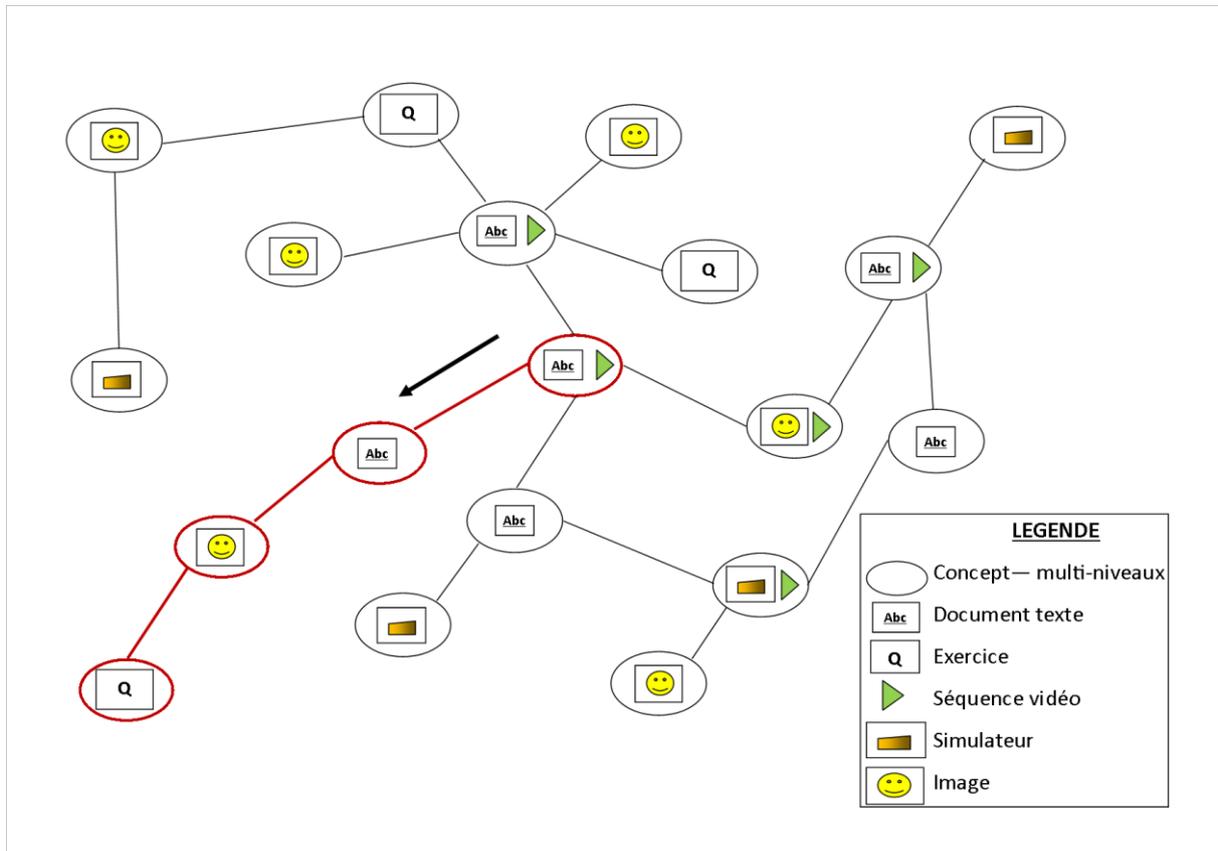
L'analyse des traces des apprenants-utilisateurs est une mine considérable pour comprendre l'utilisation d'environnements d'apprentissage et définir des pistes d'amélioration continue pour ces derniers. Toutefois, des précautions sont nécessaires pour l'exploitation de ces analyses, notamment en ce qui concerne l'interprétation de ces renseignements générés automatiquement qui ne rendent pas forcément compte de tous les comportements des utilisateurs face aux ressources et aux interfaces.

L'utilisation de l'application générera des traces considérables et exploitables. On pourrait ainsi se rendre compte des recherches les plus souvent effectuées par les apprenants, le temps que chaque apprenant consacre à la découverte des ressources, les résultats obtenus sur les activités pédagogiques par les apprenants avant et après l'étude du domaine, et la navigation de l'apprenant à l'intérieur des ressources. A titre d'exemple, en étudiant la navigation des apprenants à l'intérieur des ressources, nous pourrions identifier les correspondances entre le profil de l'utilisateur et les types de recherches effectuées. Ceci nous permettra de peaufiner la modélisation des apprenants avec des données utilisateurs obtenues à plus grande échelle.

Ces outils doivent également être disponibles pour les apprenants qui souhaitent gérer une partie de leur apprentissage en autonomie ou bien approfondir un sujet au-delà des attentes des enseignants [Ferguson, 2012]. Il est indispensable de mettre en place des graphiques avec des métriques qui permettent à l'utilisateur d'identifier facilement la portée des apprentissages et les stratégies qu'il peut mettre en place pour les optimiser [Fournier, Kop et Sitlia, 2011 ; Greller et Drachsler, 2012]. Ces informations doivent permettre aux enseignants de se rendre compte de l'avancement de chaque apprenant et de porter un regard critique sur les ressources qu'ils mettent à la disposition des apprenants, aux étudiants de se situer par rapport à leurs pairs et aux décideurs et, enfin, aux développeurs et gestionnaires de projet de décider des investissements et des politiques nécessaires pour l'amélioration des dispositifs de pédagogie numérique [Siemens et Long, 2011].

Ces traces seront utilisées pour optimiser une interface utilisateur que nous projetons de mettre en place sur le modèle graphique qui se trouve ci-dessous. Le parcours de lecture proposé à l'apprenant est indiqué en rouge. Les pictogrammes représentent la typologie des ressources principales disponibles pour chacun des concepts. Par cette présentation,

l'apprenant est capable de comprendre comment les connaissances et les compétences qu'il est en train d'acquérir s'insèrent dans l'ensemble du domaine qu'il est en train d'étudier.



**Figure 26 : Exemple de présentation pour l'interface utilisateur**

Pour arriver à ce type de présentation, nous pouvons nous inspirer de nombreux développements d'interfaces interactives sous forme de cartes des connaissances comme js-mindmap [WEB – JS-mindmap]. Il faudrait dans ce cas, imaginer une petite application qui récupérerait les annotations XML des parcours pour les structurer pour correspondre à la modélisation du menu sous forme de carte.

L'application développée fera également l'objet d'un travail d'optimisation dans les mois à venir en tenant compte des recommandations du groupe témoins précédemment évoquées ainsi que des perspectives d'évolution annoncées suite à l'analyse de notre contribution scientifique. Nous allons également travailler sur le peaufinage des parcours. Par exemple, dans cette perspective, il pourrait être intéressant de pouvoir différencier les étudiants ayant effectué un stage professionnel dans le domaine de ceux n'ayant aucune expérience professionnelle du domaine.

### **5.3.3. Les agents intelligents**

Les agents intelligents permettent aux apprenants d'entrer en dialogue autour du contenu pédagogique. Présentés dans la majorité des cas sous la forme d'un avatar, ces agents peuvent jouer plusieurs rôles avec un objectif commun, offrir un soutien à l'apprenant, exercer et approfondir ses connaissances et compétences et lui faire bénéficier d'un apprentissage personnalisé [Lourdeaux et al, 2002 ; Edward, Lourdeaux et Barthès, 2009]. Parmi ces différents rôles on peut notamment identifier des agents tuteurs et des agents à tutorer.

Dans le premier cas, l'agent peut être convoqué pour répondre aux interrogations des apprenants ou présenter des indices ou indications afin de faciliter la complétion d'un exercice ou mieux comprendre un contenu que l'apprenant est en train de découvrir. Cet agent omniprésent peut guider l'apprenant dans ses apprentissages de façon ponctuelle ou pas à pas dans un apprentissage procédural.

Le deuxième cas repose sur l'idée que pour renforcer un apprentissage et avancer vers la maîtrise d'un sujet, l'apprenant doit être capable d'explicitier ou d'apprendre un sujet ou une idée à quelqu'un d'autre. Dans ce cas, l'apprenant est présenté avec un agent supposé novice. Il doit interagir avec ce dernier et répondre à ses interrogations. Le fait de pouvoir formaliser, reformuler et expliciter une idée fait partie des mécanismes cognitifs dans l'acquisition de connaissances.

### **5.3.4. Ressources éducatives libres**

Dans la lignée de travaux pour la mise en place de REL adaptées aux contextes émergents et fragiles [Mitra, 2003 ; Vacca, 2004 ; Albright, 2005 ; Hatakka, 2009 ; Penson et Tomlinson, 2009 ; Kulkarni et Mitra, 2010 ; Vaufrey, 2012 ; de Waard et al, 2014 ; Moser-Mercer, 2014] et dans la perspective du projet défini dans [Carolan, Magnin et Kabalu, 2014], nous souhaitons explorer la création de REL à partir de nos applications par l'exportation de livres personnalisés à partir des parcours de la lecture. Ces derniers seront présentés en format ePub ce qui permettra une consultation du contenu pédagogique hors ligne dans un format accessible et facile à partager.

Le format ePub des contenus exportés, qui fonctionne sans connexion internet et qui peut être consulté sur des nombreux appareils dont des liseuses et les navigateurs web, permet notamment une utilisation des ressources en milieu fragile ou émergent comme c'est le cas

dans des pays en voie de développement, des prisons et pays pratiquant la censure de ressources web. La constitution de réseaux humains facilitera la circulation, l'utilisation et la réutilisation des ressources [Carolan, Magnin et Kabalu, 2014].

De cette manière, nous allons continuer à œuvrer pour le développement d'outils pour la création et la gestion de ressources numériques qui facilitent l'acquisition de connaissances et compétences par les apprenants et la fonctionnalisation de ces ressources afin de permettre aux enseignants de mettre en place et suivre des parcours d'apprentissage personnalisés. Ce travail se fera en concertation continue avec les apprenants et les enseignants afin d'arriver à un outil pertinent et consensuel au service de l'enseignement des sciences de l'ingénieur.

## Bibliography

- N. Aggelopoulou et al., « Ontological Modelling for Intelligent E-learning » (IEEE, ICALT 2014), 716-18, doi:10.1109/ICALT.2014.208.
- P. Albright, « Final Forum Report. Internet Discussion Forum - Open Educational Resources » (Paris: UNESCO, 24 octobre 2005).
- F. Amadiou et al., « Learning from Concept Mapping and Hypertext: An Eye Tracking Study », *Journal of Educational Technology & Society* 18, n° 4 (2015): 100-112.
- R. R. Amorim et al., « A learning design ontology based on the IMS specification », *Journal of Educational Technology & Society* 9, n° 1 (2006): 38-57.
- R. Anantharangachar, S. Ramani, et R. S, « Ontology Guided Information Extraction from Unstructured Text », *International journal of Web & Semantic Technology* 4, n° 1 (31 janvier 2013): 19-36, doi:10.5121/ijwest.2013.4102.
- T. Ashino, « Materials Ontology: An Infrastructure for Exchanging Materials Information and Knowledge », *Data Science Journal* 9 (2010): 54-61, doi:10.2481/dsj.008-041.
- S. Auer et al., « DBpedia: A Nucleus for a Web of Open Data », in *The Semantic Web*, éd. par K. Aberer et al., vol. 4825 (Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007), 722-35, [http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-76298-0\\_52](http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-76298-0_52).
- N. Aussenac-Gilles, M. Baziz, et N. Hernandez, « Ontologies pour la recherche d'information : importance de la dimension terminologique », in *Terminologie et accès à l'information spécialisée*, éd. par W. Mustapha El Hadi (Paris: Hermès Science publications : Lavoisier, s. d.), 211-34.
- T. Baccino, *La lecture électronique*, Sciences et technologies de la connaissance (Grenoble: Presses Univ. de Grenoble, 2004).
- T. Baccino, « Lire sur Internet, est-ce toujours lire ? », *Bulletin des bibliothèques de France*, 2011.
- R. Bachelet et M. Cisel, « Evaluation par les pairs au sein du MOOC ABC de la gestion de projet : une étude préliminaire », Atelier MOOC (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain, Toulouse, 2013).
- R. Bachelet, « Building a wider learning community in higher education through the PeopleWiki approach » (International Conference of Education, Research and Innovation, Madrid, 2008).
- B. Bachmann et M. Steffens, « An Ontology of Materials », 1995, <http://www.dfki.uni-kl.de/~imcod/htdocs/Bernd/Paper/paper/paper.html>.

- A. Behaz et M. Djoudi, « Création dynamique de documents hypermédias adaptatifs », in *Le document numérique scientifique à des fins pédagogiques* (Colloque International sur le Document Electronique, Rouen, 2008), [lodel.irevues.inist.fr/cide/index.php?id=281](http://lodel.irevues.inist.fr/cide/index.php?id=281).
- C. Bennett, « Student-Authored wiki textbook in CS1 », *Journal of Computing Sciences in Colleges* 24, n° 6 (2009): 50-56.
- J. Bergmann et A. Sams, *Flip Your Classroom: Reach Every Student in Every Class Every Day*, 1. ed (Eugene, Or.: ISTE [u.a.], 2012).
- T. Berners-Lee, J. Hendler, et O. Lassila, « The Semantic Web », *Scientific American*, 2001.
- P. C. Blumenfeld et al., « Motivating Project-Based Learning: Sustaining the Doing, Supporting the Learning », *Educational Psychologist* 26, n° 3-4 (juin 1991): 369-98, doi:10.1080/00461520.1991.9653139.
- M. Boughanem, J. Savoy, et B. Bouchon-Meunier, *Recherche d'information: Etat des lieux et perspectives* (Paris: Hermès Science publications : Lavoisier, 2008).
- J. S. Brown, « Growing up Digital: How the web changes work, education, and the ways people learn », *Change: The Magazine of Higher Learning*, 2000.
- C. Brucks et al., « Symbolic Computing with Incremental Mindmaps to Manage and Mine Data Streams - Some Applications » (4th International Workshop on Neural-Symbolic Learning and Reasoning, Patras, 2008).
- E. Brunet, « Les 1500 mots les plus utilisés de la langue française » (Paris: Ministère de l'Éducation Nationale et de l'Enseignement Supérieur, 2002).
- M. Campedel Oudot et P. Hoogstoël, *Sémantique et multimodalité en analyse de l'information* (Paris: Hermès science publ. : Lavoisier, 2011).
- Y. Cao et al., « The Athabasca University Mobile Library Project: Increasing the Boundaries of Anytime and Anywhere Learning for Students » (ACM Press, 2006), 1289, doi:10.1145/1143549.1143808.
- S. Carolan et al., « Towards Augmented Learning in Science and Engineering in Higher Education » (IEEE, ICALT 2013), 512-13, doi:10.1109/ICALT.2013.169.
- S. Carolan et al., « Extracting Domain Ontologies from Reference Books » (IEEE, ICALT 2014), 544-45, doi:10.1109/ICALT.2014.159.
- S. Carolan et al., « Developing Models for Enhanced Learning in Engineering » (6th Beihang-Centrale Workshop, Lille, 2012), <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00783543>.
- S. Carolan, M. Magnin, et J-M. Gilliot, « Engineering MOOCs for Future Engineers : Integrating MOOCs into Formal Learning Environments » (3rd eMOOCs Stakeholders Summit, Lausanne, 2014).

- S. Carolan, M. Magnin, et A-L. Kabalu, « Sparking a Digital Revolution: Digital Educational Tools in Fragile and Emerging Learning Contexts » (Digital Intelligence 2014, Nantes, 2014).
- S. Carolan et M. Magnin, « Le MOOC et la motivation : les élèves face à une formation auto-gérée », Atelier MOOC (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain, Toulouse, 2013).
- S. Carolan et al., « Towards the Effective Use of Available Educational Resources: Designing Adaptive Hypermedia Environments for the Engineering Sciences » (IEEE, ICALT 2015), 400-402, doi:10.1109/ICALT.2015.148.
- B. Chapelain, « Internet : coexistence des courants classiques et de nouvelles logiques d'apprentissage », *Actualité de la formation permanente*, Formation des salariés : quels choix pédagogiques aujourd'hui ?, n° 191 (2004): 33-37.
- J. Charlet, B. Bachimont, et R. Troncy, « Ontologies pour le Web sémantique », *I3*, Hors série « Wéb sémantique », 2004.
- L. Chémery et L. Billia, « L'image de la science et des scientifiques sur les sites Internet de vulgarisation scientifique », *La Lettre de l'OCIM*, n° 131 (1 septembre 2010): 27-31, doi:10.4000/ocim.111.
- C-C. Chen et T-C. Huang, « Learning in a U-Museum: Developing a Context-Aware Ubiquitous Learning Environment », *Computers & Education* 59, n° 3 (novembre 2012): 873-83, doi:10.1016/j.compedu.2012.04.003.
- G. Chen, C. Gong, et R. Huang, « E-textbook: Definition, Functions and Key Technical Issues », *Open Education Research*, n° 18 (2012): 28-32.
- F. Chinesta et C. Evain, *La vie intime des matériaux composites* (Paris: Publibook, 2011).
- F. Chinesta et al., « PGD-Based Computational Vademecum for Efficient Design, Optimization and Control », *Archives of Computational Methods in Engineering* 20, n° 1 (mars 2013): 31-59, doi:10.1007/s11831-013-9080-x.
- D. Clark, « MOOCs: taxonomy of 8 types of MOOC », *Donald Clark Plan B*, avril 2013, <http://donaldclarkplanb.blogspot.fr/2013/04/moocs-taxonomy-of-8-types-of-mooc.html>.
- S. Clegg et M. David, « Passion, Pedagogies and the Project of the Personal in Higher Education », *Twenty-First Century Society* 1, n° 2 (novembre 2006): 149-65, doi:10.1080/17450140600906989.
- B. Collis et M. van der Winde, « Models of Technology and Change in Higher Education » (UNESCO/University of Twente, 2003), [http://portal.unesco.org/education/en/ev.php-URL\\_ID=18933&URL\\_DO=DO\\_TOPIC&URL\\_SECTION=201.html](http://portal.unesco.org/education/en/ev.php-URL_ID=18933&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html).
- A. Colorni, M. Dorigo, et V. Maniezzo, « Distributed Optimization by Ant Colonies » (1st European Conference in Artificial Life, Paris, 1991), 134-42.

S. Combéfis et P. Van Roy, « Three-Step Transformation of a Traditional University Course into a MOOC: a LouvainX Experience » (4th eMOOCs Stakeholders Summit, Mons, 2015).

G. Conole, S. White, et M. Oliver, « The impact of e-learning on organizational roles and structures », in *Contemporary perspectives in E-Learning Research*, éd. par G. Conole et M. Oliver (London: Routledge, 2006), 67-79.

D. Cormier, « Rhizomatic education: Community as curriculum », *Innovate: Journal of Online Education* 4, n° 5 (2008): 2.

E. Dado, E. A .B. Koenders, et D. B. F. Carvalho, « Netcentric Virtual Laboratories for Composite Materials », in *Composites and Their Properties*, éd. par N. Hu (InTech, 2012), <http://www.intechopen.com/books/composites-and-their-properties/netcentric-virtual-laboratories-for-composite-materials>.

B. D. Davis, « Measuring the views of Grade 10 – 12 Gauteng School Learners on Chemistry Practicals » (Master, University of South Africa, 2004).

C. Desmoulins et M. Grandbastien, « Une ingénierie des EIAH fondée sur des ontologies. », in *Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*, éd. par M. Grandbastien et J-M. Labat (Paris: Hermès Science publications : Lavoisier, 2006).

D. DeStefano et J. LeFevre, « Cognitive Load in Hypertext Reading: A Review », *Computers in Human Behavior* 23, n° 3 (mai 2007): 1616-41, doi:10.1016/j.chb.2005.08.012.

O. de Troyer et al., « On Generating Virtual Worlds from Domain Ontologies » (9th International Conference on Multi-Media Modeling, Taipei, 2003).

I. de Waard et al., « Challenges for conceptualising EU MOOC for vulnerable learner groups » (3rd eMOOCs Stakeholders Summit, Lausanne, 2014).

I. de Waard et al., « Exploring the MOOC format as a pedagogical approach for mLearning » (10th World Conference on Mobile and Contextual Learning, Beijing, 2011).

S. Downes, « Models for Sustainable Open Educational Resources », *Interdisciplinary Journal of Knowledge and Learning Objects* 3 (2007): 29-44.

L. Edward, D. Lourdeaux, et J-P. Barthes, « Cognitive Modeling of Virtual Autonomous Intelligent Agents Integrating Human Factors » (IEEE, IAT 2009), 353-56, doi:10.1109/WI-IAT.2009.300.

P Enjalbert, *Sémantique et traitement automatique du langage naturel* (Paris: Hermès Science publications : Lavoisier, 2005).

C. Evain, S. Carolan, et M. Magnin, « Preparing for Generation Z: The Hippocampus Experiment at Ecole Centrale de Nantes » (ASME, 2012), 291, doi:10.1115/ESDA2012-82034.

C. Evain, C. De Marco, et S. Carolan, « Le nouveau dispositif « eZoomBook » : perspectives pédagogiques », *Distances et médiations des savoirs* 1, n° 3 (26 juin 2013), doi:10.4000/dms.337.

M. Fernandez, A. Gomez-Pérez, et N. Juristo, « Methontology : From ontological art towards ontological engineering » (AAAI97 Spring Symposium Series on Ontological Engineering, Stanford, 1997), 33-40.

H. Fournier, R. Kop, et H. Sitlia, « The Value of Learning Analytics to Networked Learning on a Personal Learning Environment » (ACM Press, 2011), 104, doi:10.1145/2090116.2090131.

A. Fox, « From MOOCs to SPOCs », *Communications of the ACM* 56, n° 12 (1 décembre 2013): 38-40, doi:10.1145/2535918.

F. Frommer, *La pensée PowerPoint enquête sur ce logiciel qui rend stupide* (Paris: La Découverte, 2010).

E. Fry, *Teaching Faster Reading: A Manual*, Reprinted (Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1978).

P. Fuchs et al., *Le traité de la réalité virtuelle* (Paris: Presses de l'Ecole des mines, 2006).

S. Garlatti, S. Iskal, et P. Tanguy, « SCARCE: An Adaptive Hypermedia Environment Based on Virtual Documents and Semantic Web », in *Adaptable and Adaptive Hypermedia Systems*, éd. par S. Y. Chen et G. D. Magoulas (London: IGI Global, 2005).

D. R. Garrison et H. Kanuka, « Blended Learning: Uncovering Its Transformative Potential in Higher Education », *The Internet and Higher Education* 7, n° 2 (avril 2004): 95-105, doi:10.1016/j.iheduc.2004.02.001.

R. Gauthier et A. Meggori, « Le cours magistral, un discours oralographique : effet de la prise de notes des étudiants sur la construction du discours de l'enseignant » (Langages et significations : L'oralité dans l'écrit et réciproquement, Albi, 2002), 261-66.

T. Gherasim et al., « Analyse comparative de methodologies et d'outils de construction automatique d'ontologies à partir de ressources textuelles », *Revue des nouvelles technologies de l'information*, Conférence Internationale Francophone sur l'Extraction et la Gestion des Connaissances, 2011, 377-88.

F. Ghitalla, « L'âge des cartes électroniques : outils graphiques de navigation sur le web », *Communication et langages* 131, n° 1 (2002): 66-80, doi:10.3406/colan.2002.3126.

J-M. Gilliot et al., « ITyPA, un premier MOOD francophone et connectiviste », 2013.

I. Glover, « Play as you learn: gamification as a technique for motivating learners » (World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications 2013, Vancouver: AACE, 2013).

R. Good et C. Berger, « The Computer as Powerful Tool for Understanding Science », in *Teaching Science for Understanding* (Elsevier, 2005), 213-27, <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B978012498360150009X>.

T. Gottron, « Document Word Clouds: Visualising Web Documents as Tag Clouds to Aid Users in Relevance Decisions », in *Research and Advanced Technology for Digital Libraries*, éd. par M. Agosti et al., vol. 5714 (Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009), 94-105, [http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-04346-8\\_11](http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-04346-8_11).

A. Halavais et D. Lackaff, « An Analysis of Topical Coverage of Wikipedia », *Journal of Computer-Mediated Communication* 13, n° 2 (janvier 2008): 429-40, doi:10.1111/j.1083-6101.2008.00403.x.

J. Hartley et I. K. Davies, « Note-taking: A Critical Review », *Innovations in Education & Training International* 15, n° 3 (août 1978): 207-24, doi:10.1080/0033039780150305.

M. Hatakka, « Build it and they will come ? - Inhibiting factors for reuse of open content in developing countries », *The Electronic Journal of Information Systems in Developing Countries* 37, n° 5 (2009): 1-16.

D. Heathcote et P. Herbert, « A Drama of Learning: Mantle of the Expert », *Theory Into Practice* 24, n° 3 (juin 1985): 173-80, doi:10.1080/00405848509543169.

K. F. Hew et W. S. Cheung, « Students' and Instructors' Use of Massive Open Online Courses (MOOCs): Motivations and Challenges », *Educational Research Review* 12 (juin 2014): 45-58, doi:10.1016/j.edurev.2014.05.001.

B. Hoisl, W. Aigner, et S. Miksch, « Social Rewarding in Wiki Systems – Motivating the Community », in *Online Communities and Social Computing*, éd. par D. Schuler, vol. 4564 (Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007), 362-71, [http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-73257-0\\_40](http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-73257-0_40).

D. Holt, S. Segrave, et J. L. Cybulski, éd., *Professional Education Using E-Simulations: Benefits of Blended Learning Design* (IGI Global, 2012), <http://services.igi-global.com/resolvedoi/resolve.aspx?doi=10.4018/978-1-61350-189-4>.

M. Horridge et al., « A Practical Guide To Building OWL Ontologies Using The Protégé-OWL Plugin and CO-ODE Tools Edition 1.0 » (University of Manchester, 2004).

K. M. Hover et M. Muhlhauser, « Towards Content Exchange and Interoperability between Lecture Recordings » (IEEE, ICALT 2013), 410-11, doi:10.1109/ICALT.2013.125.

S-H. Hsieh et al., « Enabling the Development of Base Domain Ontology through Extraction of Knowledge from Engineering Domain Handbooks », *Advanced Engineering Informatics* 25, n° 2 (avril 2011): 288-96, doi:10.1016/j.aei.2010.08.004.

H-M. Huang, « Toward Constructivism for Adult Learners in Online Learning Environments », *British Journal of Educational Technology* 33, n° 1 (janvier 2002): 27-37, doi:10.1111/1467-8535.00236.

- B. A. Huberman et L. A. Adamic, « Internet: Growth dynamics of the the world-wide web », *Nature* 401, n° 6749 (1999): 131.
- P. Hyman, « In the Year of Disruptive Education », *Communications of the ACM* 55, n° 12 (1 décembre 2012): 20, doi:10.1145/2380656.2380664.
- K. E. James, L. A. Burke, et H. M. Hutchins, « Powerful or Pointless? Faculty Versus Student Perceptions of PowerPoint Use in Business Education », *Business Communication Quarterly* 69, n° 4 (1 décembre 2006): 374-96, doi:10.1177/1080569906294634.
- Y. Jeanneret et E. Souchier, « L'énonciation éditoriale dans les écrits d'écran », *Communication et langages* 145, n° 1 (2005): 3-15, doi:10.3406/colan.2005.3351.
- C. A. Johnson, *The Information Diet a Case for Conscious Consumption* (Beijing; Sebastopol [Calif.]: O'Reilly Media, 2012), <http://site.ebrary.com/id/10758821>.
- B. Keegan, D. Gergle, et N. Contractor, « Hot Off the Wiki: Structures and Dynamics of Wikipedia's Coverage of Breaking News Events », *American Behavioral Scientist* 57, n° 5 (1 mai 2013): 595-622, doi:10.1177/0002764212469367.
- P. Kennedy, « Do Androids Dream of Electric Authors ? », *The New York Times*, 14 octobre 2011.
- G. Képéklian et J-L. Lequeux, *Déployer un projet Web 2.0: anticiper le Web sémantique (Web 3.0)* (Paris: Eyrolles/Éditions d'Organisation, 2009).
- J. Kidd et al., « Student-authored Wikibooks: Textbooks of the future? » (Society for Information Technology & Teacher Education Conference 2008, Savannah, 2008), 2644-47.
- W. Kintsch, « Modeling Semantic Memory », *Studia Informatica Universalis* 8 (2010): 5-27.
- H. Knublauch et al., « The Protégé OWL Plugin: An Open Development Environment for Semantic Web Applications », in *The Semantic Web – ISWC 2004*, éd. par S. A. McIlraith, D. Plexousakis, et F. van Harmelen, vol. 3298 (Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004), 229-43, [http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-30475-3\\_17](http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-30475-3_17).
- P. Kop, « The Unexpected Connection: Serendipity and Human Mediation in Net-worked Learning », *Journal of Educational Technology & Society* 15, n° 2 (2012): 2-11.
- T. Koyama et K. Takeuchi, « Enhancing Multi-word Term Extraction for Designated Theme Embedded in a Domain Corpus » (9th International Conference on Terminology and Artificial Intelligence, Paris, 2011), 73.
- R. Kraut, « Policy Guidelines for Mobile Learning » (Paris: UNESCO, s. d.), <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002196/219641e.pdf>.
- S. Kulkarni et S. Mitra, « Management of Remote Mediation for Children's Education over the Internet » (Global Learn 2010, Limerick: AACE, 2010), 2044-49.

C. Kynigos, « Using Half-Baked Microworlds to Challenge Teacher Educators' Knowing », *International Journal of Computers for Mathematical Learning* 12, n° 2 (2 août 2007): 87-111, doi:10.1007/s10758-007-9114-2.

Y. Lasfargue, *Technomordus, technoexclus?: vivre et travailler à l'ère du numérique* (Paris: Éditions d'organisation, 2000).

D. Laurillard et al., « Implementing Technology-Enhanced Learning », in *Technology-Enhanced Learning*, éd. par N. Balacheff et al. (Dordrecht: Springer Netherlands, 2009), 289-306, [http://link.springer.com/10.1007/978-1-4020-9827-7\\_17](http://link.springer.com/10.1007/978-1-4020-9827-7_17).

J. Lave et E. Wenger, *Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation*, 24. print, *Learning in Doing : Social, Cognitive, and Computational Perspectives* (Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2011).

J. Y. Lettvin et al., « What the Frog's Eye Tells The Frog's Brain » (Institute of Radio Engineers, New York: IRE/IEEE, 1959), 1940-51.

B. Leuf et W. Cunningham, *The Wiki Way: Quick Collaboration on the Web*, Nachdr. (Boston: Addison-Wesley, 2008).

C. H. Li et S. C. Park, « Text Categorization Based on Artificial Neural Networks », in *Neural Information Processing*, éd. par I. King et al., vol. 4234 (Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006), 302-11, [http://link.springer.com/10.1007/11893295\\_35](http://link.springer.com/10.1007/11893295_35).

A. Littlejohn et C. Pegler, *Reusing Open Resources: Learning in Open Networks for Work, Life and Education*, 2015.

D. Lourdeaux, P. Fuchs, et J-M. Burkhardt, « An intelligent tutorial agent for training virtual environments » (5th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Orlando, 2002).

J. MacQueen, « Some methods for classification and analysis of multivariate observations », vol. 1 (5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Berkeley, 1967), 14.

R. L. Matz et al., « Concurrent Enrollment in Lecture and Laboratory Enhances Student Performance and Retention », *Journal of Research in Science Teaching* 49, n° 5 (mai 2012): 659-82, doi:10.1002/tea.21016.

R. E. Mayer et R. Moreno, « Nine Ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning », *Educational Psychologist* 38, n° 1 (mars 2003): 43-52, doi:10.1207/S15326985EP3801\_6.

J. P. McCrae, « Automatic extraction of logically consistent ontologies from text corpora » (Doctorat, National Institute of Informatics, 2009).

C. Métral, N. Ghoula, et G. Falquet, « An ontology of 3D visualization techniques for enriched 3D city models », éd. par T. Leduc, G. Moreau, et R. Billen (EDP Sciences, 2012), 02005, doi:10.1051/3u3d/201202005.

D. Michael et S. Chen, *Serious Games: Games That Educate, Train and Inform* (Boston, Mass: Thomson Course Technology, 2006).

S. Mitra, « Minimally Invasive Education: A Progress Report on the “Hole-in-the-Wall” Experiments », *British Journal of Educational Technology* 34, n° 3 (juin 2003): 367-71, doi:10.1111/1467-8535.00333.

F. Mödritscher et al., « A web application mashup approach for eLearning » (OpenACS/LRN Conférence 2008, Guatemala, 2008), 105-10.

B. Moser-Mercer, « MOOCs in fragile contexts » (3rd eMOOCs Stakeholders Summit, Lausanne, 2014).

R. Navigli et P. Velardi, « Ontology Enrichment Through Automatic Semantic Annotation of On-Line Glossaries », in *Managing Knowledge in a World of Networks*, éd. par S. Staab et V. Svátek, vol. 4248 (Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006), 126-40, [http://link.springer.com/10.1007/11891451\\_14](http://link.springer.com/10.1007/11891451_14).

R. Neumann, « Disciplinary Differences and University Teaching », *Studies in Higher Education* 26, n° 2 (juin 2001): 135-46, doi:10.1080/03075070120052071.

B. New et al., « Une base de données lexicales du français contemporain sur internet : LEXIQUE<sup>TM</sup>//A lexical database for contemporary french : LEXIQUE<sup>TM</sup> », *L'année psychologique* 101, n° 3 (2001): 447-62, doi:10.3406/psy.2001.1341.

A. M. O'Donnell, D. F. Dansereau, et R. H. Hall, « Knowledge Maps as Scaffolds for Cognitive Processing », *Educational Psychology Review* 14, n° 1 (2002): 71-86.

R. T. Osguthorpe et C. R. Graham, « Blended Learning Environments: Definitions and Directions », *Quarterly Review of Distance Education* 4, n° 3 (2003): 227-33.

J. Palfrey et U. Gasser, *Born Digital: Understanding the First Generation of Digital Natives* (New York: Basic Books, 2010).

G. Paquette, *L'ingénierie Pédagogique : Pour Construire L'apprentissage En Réseau*. (Quebec: Les Presses de l'Université du Québec, 2000), <http://public.ebib.com/choice/PublicFullRecord.aspx?p=3257667>.

K. Park et S. Park, « Development of Professional Engineers' Authentic Contexts in Blended Learning Environments: Colloquium », *British Journal of Educational Technology* 43, n° 1 (janvier 2012): E14-18, doi:10.1111/j.1467-8535.2011.01244.x.

C. Parpette et P. Royis, « Le discours pédagogique : caractéristiques discursives et stratégie d'enseignement », *Mélanges du CRAPEL*, n° 25 (2003): 27-53.

M. Paternostre et al., « Carry, un algorithme de désuffixation pour le français » (Bruxelles: Université Libre de Bruxelles, 2002).

R. D. Pea, « The Social and Technological Dimensions of Scaffolding and Related Theoretical Concepts for Learning, Education, and Human Activity », *Journal of the Learning Sciences* 13, n° 3 (juillet 2004): 423-51, doi:10.1207/s15327809jls1303\_6.

J. Penson et K. Tomlinson, *Rapid Response: Programming for Education Needs in Emergencies* (Paris; Reading: International Institute for Educational Planning ; CfBT Education Trust, 2009).

L. Pfeiffer, *MOOC, COOC: la formation professionnelle à l'ère du digital* (Paris: Dunod, 2015).

E. Picard, « L'histoire de l'enseignement supérieur français. Pour une approche globale. », *Histoire de l'éducation* 122 (2009): 11-33.

M.F. Porter, « An Algorithm for Suffix Stripping », *Program: Electronic Library and Information Systems* 40, n° 3 (2006): 211-18, doi:10.1108/00330330610681286.

R. Prigent, H. Bernard, et A. Kozanitis, *Enseigner à l'université dans une approche-programme: guide à l'intention des nouveaux professeurs et chargés de cours* (s.l.: Presses Internat. Polytechnique, 2009).

T. Raimbault, « Transition de modèles de connaissances : Un système de connaissance fondé sur OWL, Graphes Conceptuels et ULM » (Université de Nantes, 2011).

J. Rak, « Genre and Things: The Book Store in Canada » (Canadian Literature Symposium: Material Cultures in Canadian and Transnational Contexts, Ottawa, 2011).

J. Riedl, « Altruism, Selfishness, and Destructiveness on the Social Web », in *Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems*, éd. par W. Nejdl et al., vol. 5149 (Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008), 9-11, [http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-70987-9\\_3](http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-70987-9_3).

N. Roland, « EPA: système ou écosystème ? », *Hypothèses*, mai 2013, <http://hypotheses.org/59666>.

M. Romainville, « Esquisse d'une didactique universitaire », *Revue francophone de gestion*, Numéro spécial consacré au Deuxième prix de l'innovation pédagogique en sciences de gestion, 2004, 5-24.

I. Rose et al., « Cobra: Content-based Filtering and Aggregation of Blogs and RSS Feeds » (4th USENIX Symposium on Networked Systems Design et Implementation, Cambridge, 2007), 29-42.

M. Rosselle, P-A. Caron, et J. Huette, « Description Dimensions of a Framework Towards a Typology for MOOCs » (3rd eMOOCs Stakeholders Summit, Lausanne, 2014).

M. Rosselle, P-A. Caron, et J. Huette, « Prémisse d'une typologie et des principales dimensions d'un cadre de description pour les MOOC » (Journées Communication et Apprentissages Instrumentés en Réseaux, Paris, 2014).

N. Rutten, W. R. van Joolingen, et J. T. van der Veen, « The Learning Effects of Computer Simulations in Science Education », *Computers & Education* 58, n° 1 (janvier 2012): 136-53, doi:10.1016/j.compedu.2011.07.017.

A. Saemmer, *Rhétorique du texte numérique: figures de la lecture, anticipations de pratiques*, Collection Papiers (Villeurbanne: Presses de l'Enssib, 2015).

J. R. Savery et T. M. Duffy, « Problem based learning: An instructional model and its constructivist framework », *Educational Technology* 35, n° 5 (1995): 31-38.

F. Sclano et P. Velardi, « Termextractor: a web application to learn the shared terminology of emergent web communities », in *Enterprise Interoperability II : New Challenges and Approaches*, éd. par R. Jardim-Gonçalves et al. (London: Springer London, s. d.), 287-90.

J. K. Seale, *E-Learning and Disability in Higher Education: Accessibility Research and Practice*, 2. édition (New York: Routledge, 2014).

P. Shvaiko et J. Euzenat, « Ontology Matching: State of the Art and Future Challenges », *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* 25, n° 1 (janvier 2013): 158-76, doi:10.1109/TKDE.2011.253.

G. Siemens et al., « PLENK2010—personal learning environments, networks and knowledge », *PLENK2010—personal learning environments, networks and knowledge*, s. d., <http://connect.downes.ca/>.

H. A. Simon, « Designing Organizations for an Information-Rich World », in *Computers, Communication and the Public Interest*, éd. par M. Greenberger (Baltimore: The John Hopkins Press, 1971).

T. Simonite, « The Decline of Wikipedia », *MIT Technology Review*, 22 octobre 2013.

H-J. So et T. A. Brush, « Student Perceptions of Collaborative Learning, Social Presence and Satisfaction in a Blended Learning Environment: Relationships and Critical Factors », *Computers & Education* 51, n° 1 (août 2008): 318-36, doi:10.1016/j.compedu.2007.05.009.

J. A. Sokolowski et C. M. Banks, éd., *Principles of Modeling and Simulation: A Multidisciplinary Approach* (Hoboken, NJ: Wiley, 2009).

E. Souchier, « L'image du texte pour une théorie de l'énonciation éditoriale », *Les cahiers de médiologie* 6, n° 2 (1998): 137, doi:10.3917/cdm.006.0137.

R. H. Speer et al., « Finding Your Way in a Multi-Dimensional Semantic Space with Luminoso » (ACM Press, 2010), 385, doi:10.1145/1719970.1720037.

A. Stinner, « Science Textbooks and Science Teaching: From Logic to Evidence », *Science Education* 76, n° 1 (janvier 1992): 1-16, doi:10.1002/sce.3730760102.

L. Stojanovic et al., « User-Driven Ontology Evolution Management », in *Knowledge Engineering and Knowledge Management: Ontologies and the Semantic Web*, éd. par A.

Gómez-Pérez et V. R. Benjamins, vol. 2473 (Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2002), 285-300, [http://link.springer.com/10.1007/3-540-45810-7\\_27](http://link.springer.com/10.1007/3-540-45810-7_27).

J. F. Strayer, « How Learning in an Inverted Classroom Influences Cooperation, Innovation and Task Orientation », *Learning Environments Research* 15, n° 2 (juillet 2012): 171-93, doi:10.1007/s10984-012-9108-4.

B. Suh et al., « The Singularity Is Not near: Slowing Growth of Wikipedia » (ACM Press, 2009), 1, doi:10.1145/1641309.1641322.

V. Y. Terziyan et S. Puuronen, « Reasoning with Multilevel Contexts in Semantic Metanetworks », in *Formal Aspects of Context*, éd. par P. Bonzon, M. Cavalcanti, et R. Nossum, vol. 20 (Dordrecht: Springer Netherlands, 2000), 107-26, [http://link.springer.com/10.1007/978-94-015-9397-7\\_7](http://link.springer.com/10.1007/978-94-015-9397-7_7).

V. S. Thatcher, *Indexes: Writing, Editing, Production* (Lanham, Md.: Scarecrow Press, 1995).

J. W. Thomas, « A review of research on project-based learning » (San Rafael: Autodesk Foundation, 2000).

A. Titone, « Vers une compréhension des enjeux et des perspectives dans l'usage des MOOC par des apprenants : entre motivation et autonomie » (Master, Université de Genève, 2014).

S. Turkle, *Alone Together: Why We Expect More from Technology and Less from Each Other*, Paperback 1. publ (New York, NY: Basic Books, 2012).

V Uren et al., « Semantic Annotation for Knowledge Management: Requirements and a Survey of the State of the Art », *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web* 4, n° 1 (janvier 2006): 14-28, doi:10.1016/j.websem.2005.10.002.

J. S. Vacca, « Educated Prisoners Are Less Likely to Return to Prison », *Journal of Correctional Education* 55, n° 4 (2004): 297-305.

W. J. van der Linden et G. A. W. Glas, éd., *Computerized Adaptive Testing: Theory and Practice* (Dordrecht: Springer Netherlands, 2000), <http://link.springer.com/10.1007/0-306-47531-6>.

C. van Effenterre, « ParisTech et la formation d'ingénieurs « à la française » », *Réalités Industrielles*, 2006.

C. Vaufrey, éd., *L'apprentissage augmenté : Les TICE au service de l'innovation et des alternatives éducatives* (Cursus Edu, 2012).

W. J. C. Verhagen et R. Curran, « Ontological Modelling of the Aerospace Composite Manufacturing Domain », in *Improving Complex Systems Today*, éd. par D. D. Frey, S. Fukuda, et G. Rock (London: Springer London, 2011), 215-22, [http://link.springer.com/10.1007/978-0-85729-799-0\\_25](http://link.springer.com/10.1007/978-0-85729-799-0_25).

L. S. Vygotskij, *Pensee et langage*, 3. ed (Paris: Dispute, 1997).

G. Wang, « The Research on M-Learning Based on Network Streaming Media in Higher Vocational Education », in *Electronics, Communications and Networks IV*, éd. par A. Hussain et M. Ivanovic (CRC Press, 2015), 433-37, <http://www.crcnetbase.com/doi/10.1201/b18592-80>.

S. Wheeler, P. Yeomans, et D. Wheeler, « The Good, the Bad and the Wiki: Evaluating Student-Generated Content for Collaborative Learning », *British Journal of Educational Technology* 39, n° 6 (novembre 2008): 987-95, doi:10.1111/j.1467-8535.2007.00799.x.

G. R. Witthaus et al., « An assessment-recognition matrix for analysing institutional practices in the recognition of open learning », *eLearning Papers*, n° 40 (2015): 32-42.

E. Wood et al., « Examining the Impact of off-Task Multi-Tasking with Technology on Real-Time Classroom Learning », *Computers & Education* 58, n° 1 (janvier 2012): 365-74, doi:10.1016/j.compedu.2011.08.029.

S. J. Yang, « Context aware ubiquitous learning environments for peer-to-peer collaborative learning », *Journal of Educational Technology & Society* 9, n° 1 (2006): 188-201.

Y. Zhang, « Learning, Innovating, and an Emerging Core of Knowledge: A Model for the Growth of Citation Networks », *SSRN Electronic Journal*, 2011, doi:10.2139/ssrn.1975606.

## **Ressources Web**

« JS-mindmap », consulté le 2 janvier 2016, <https://github.com/kennethkufluk/js-mindmap>.

« Airbus », consulté le 4 janvier 2015, <http://videos.airbus.com>.

« C'estPasSorcier », consulté le 4 janvier 2015, <http://www.youtube.com/#/user/cestpassorcierftv>.

« Cachan », consulté le 4 janvier 2015, <http://eduscol.education.fr/sti/si-ens-cachan>.

« CentraleNantes », consulté le 2 janvier 2016, <http://www.ec-nantes.fr>.

« CGE », 2011, <http://www.cge.asso.fr/document/1908/2011-rapport-competences.pdf>.

« CNED », consulté le 2 janvier 2016, <http://www.cned.fr/>.

« Compétice », consulté le 4 janvier 2015, <http://eduscol.education.fr/bd/competice/superieur/competice/index.php>.

« Dailymotion », consulté le 4 janvier 2015, <http://www.dailymotion.com/fr>.

« DBPédia », consulté le 4 janvier 2015, <http://fr.dbpedia.org>.

« ENSIBS », consulté le 2 janvier 2016, <http://www-ensibs.univ-ubs.fr/ingenieur-ensibs-specialite-mecatronique-216144.kjsp>.

« HowStuffWorks », consulté le 4 janvier 2015, <http://www.howstuffworks.com/>.

« IMS », consulté le 4 janvier 2015, <http://www.imsglobal.org/learningdesign/index.html>.

« INRIA », consulté le 4 janvier 2015, <https://fuschia.info/>.

« IROSOFT », consulté le 4 janvier 2015, <http://www.irosoft.com/fr/web-30-donnees-ouvertes-0>.

« ISEN », consulté le 2 janvier 2016, <http://www.isen.fr/toulon/formations/mastere-specialise/>.

« iTunesU », consulté le 4 janvier 2015, <http://www.apple.com/fr/education/ipad/itunes-u/>.

« LOM », consulté le 4 janvier 2015, <https://standards.ieee.org/findstds/standard/1484.12.1-2002.html>.

« MediaWiki », consulté le 4 janvier 2015, <https://www.mediawiki.org/wiki/MediaWiki/fr>.

« Minecraft », consulté le 4 janvier 2015, [http://minecraft-fr.gamepedia.com/Minecraft\\_Wiki](http://minecraft-fr.gamepedia.com/Minecraft_Wiki).

« MIT », consulté le 4 janvier 2015, <https://www.youtube.com/user/MIT>.

« OpenClassrooms », consulté le 4 janvier 2015, <https://openclassrooms.com/>.

« OU », consulté le 4 janvier 2015, <http://www.open.ac.uk/>.

« Pearltrees », consulté le 4 janvier, <http://www.pearltrees.com/>.

« Pour les Nuls », consulté le 4 janvier 2015, <http://www.pourlesnuls.fr/>.

« RDFIO », consulté le 4 janvier 2015, <https://www.mediawiki.org/wiki/Extension:RDFIO>.

« RSS », consulté le 4 janvier 2015, <https://www.w3.org/WAI/highlights/about-rss.html>.

« SCORM », consulté le 4 janvier 2015, <http://adlnet.gov/adl-research/scorm/>.

« SMW+ », consulté le 4 janvier 2015, <http://semanticweb.org/wiki/SMW%2B.html>.

« Sondage1<sup>er</sup>Emploi », consulté le 4 janvier 2015, <http://www.ec-nantes.fr/version-francaise/vos-espaces/presse/2014-06-enquete-1er-emploi-des-ingenieurs-centraliens-de-nantes-137165.kjsp?RH=1211796690450>.

« TED-Ed », consulté le 4 janvier 2015, <http://ed.ted.com/>.

« TEDTalks », consulté le 4 janvier 2015, <https://www.ted.com/>.

« W3C – OWL », consulté le 4 janvier 2015, <https://www.w3.org/2001/sw/wiki/OWL>.

« W3C – RDF », consulté le 4 janvier 2015, <https://www.w3.org/RDF/>.

« WEB – CTI Commission », consulté le 2 janvier 2016, [http://fond-documentaire.cti-commission.fr/fr/fond\\_documentaire/document/6/chapitre-element/323](http://fond-documentaire.cti-commission.fr/fr/fond_documentaire/document/6/chapitre-element/323).

« Wikipédia », consulté le 4 janvier 2015, <https://www.wikipedia.org/>.

« WikipédiaRéférence », consulté le 4 janvier 2015, [http://fr.wikipedia.org/wiki/livre\\_de\\_référence](http://fr.wikipedia.org/wiki/livre_de_référence).

« Wolfram Alpha », consulté le 4 janvier 2015, <http://www.wolframalpha.com/>.

« Youtube », consulté le 4 janvier 2015, <http://www.youtube.com/>.

## ANNEXE 1 : Référentiel compétences de l'ingénieur centralien

		<b>Référentiel Ingénieur Centralien</b>
1	<b>Développer des innovations techniques et scientifiques</b>	<b>Créer</b>
		-Capacité à inventer des solutions créatives, ingénieuses, originales
		-Capacité à élargir à d'autres usages un outil ou un concept
		-Capacité à stimuler son imagination
		<b>Identifier/analyser les besoins et les contraintes socio-économiques du marché</b>
		-Capacité à analyser le contexte (organisationnel, institutionnel, sociétal, marchand)
		-Capacité à collecter et analyser de l'information avec logique et méthode
		<b>Passer de l'idée à la conception puis à la réalisation</b>
		-Capacité à mobiliser une culture scientifique / technique (transdisciplinarité et/ou spécialisation)
		-Capacité à valoriser
		-Capacité à convaincre pour mobiliser
-Capacité à concrétiser ou à réaliser un prototype		
2	<b>Résoudre des problèmes complexes et transdisciplinaires</b>	<b>Adopter une vision globale et appréhender le problème dans sa complexité</b>
		- Capacité à comprendre et formuler le problème (hypothèses, ordres de grandeur, etc...)
		- Capacité à utiliser des concepts ou des principes dans les descriptions d'événements
		<b>Modéliser et organiser la résolution :</b>

		- Capacité à reconnaître les éléments spécifiques d'un problème
		- Capacité à identifier les interactions entre éléments
		- Capacité à proposer un ou plusieurs scénarios de résolution
		- Capacité à prendre en compte l'incertitude générée par la complexité
		<b>Suivre la résolution</b>
		- Capacité à converger vers une solution acceptable (suivi hypothèses, ordres de grandeur ...)
3	<b>Elaborer et conduire des projets scientifiques et techniques internationaux</b>	<b>Elaborer et appréhender un projet scientifique et technique</b>
		- Capacité à appréhender toutes les dimensions scientifiques et techniques d'un projet
		- Capacité à approfondir rapidement un domaine
		<b>Structurer un projet complexe</b>
		- Capacité à définir et à négocier des objectifs
		- Capacité à identifier et planifier les ressources nécessaires
		<b>Conduire un projet</b>
		- Capacité à développer des méthodes de travail, à organiser
		- Capacité à superviser, coordonner et cloturer les tâches liées au projet
		<b>Prendre en compte la dimension internationale d'un projet</b>
		- Capacité à comprendre, à communiquer dans une langue étrangère
		- Capacité à prendre en compte les spécificités culturelles des partenaires dans toutes les étapes d'un projet
		<b>Connaitre et prévenir les risques</b>

		- Capacité à intégrer les règles et normes qualité / sécurité / environnementales
		- Capacité à associer les logiques économiques / responsabilité sociale et écoresponsabilité
4	<b>Manager et diriger des organisations et des structures internationales</b>	<b>Manager des hommes</b>
		- Capacité à prendre en compte la dimension humaine dans le management de l'organisation
		- Capacité à développer un management éthique et responsable
		- Capacité à communiquer, à convaincre, à rendre des comptes
		- Capacité à prendre des décisions dans des environnements incertains
		<b>Manager des organisations</b>
		- Capacité à s'adapter rapidement à de nouvelles fonctions et à s'intégrer efficacement dans de nouveaux systèmes complexes
		- capacité à prendre en compte les enjeux sociétaux, juridique, financier, économique, réglementaire
		- Capacité à prendre en compte la dimension internationale
		<b>Capacités de leadership</b>
		- Capacité à définir une stratégie à long terme
		- Capacité à susciter l'adhésion
		- Capacité à mobiliser des réseaux et à construire des alliances

## **ANNEXE 2 : Etude Utilisateur – Documents Virtuels Pédagogiques**

L'étude utilisateur a été réalisée le matin du 21 septembre 2015. Nous avons interrogé vingt-huit élèves-ingénieurs généralistes prenant part à l'option disciplinaire RV à Centrale Nantes et répartis dans quatorze binômes et travaillant sur le même cas d'étude. Nous avons d'abord posé les premières six questions à chaque binôme avant de refaire le tour des binômes pour poser l'ultime question et leur proposer de nous indiquer des informations complémentaires. Tous les participants ont été informés de l'objectif de l'étude et de sa nature anonyme.

1. Quelles ressources documentaires (livres, sites web, plateforme pédagogiques...) utilisez-vous pour faire cette activité ?
2. Pouvez-vous me montrer et commenter votre historique de navigation ? Comment avez-vous fait pour trouver ces ressources (mots-clés, liens d'autres pages...) ? Quelles informations ou renseignements avez-vous pu en tirer ?
3. Disposez-vous du temps et des ressources nécessaires à la réalisation de l'activité ?
4. Pensez-vous utiliser les livres de référence qui vous sont proposés ? En format papier ? En format numérique ?
  - a. Si oui... Quels types d'informations espérez-vous y trouver ? Pourquoi ce choix de format
  - b. Si non... Y-a-t-il une raison particulière ?
5. Pour chacune des 4 fonctionnalités, pouvez-vous nous indiquer si vous
  - a. les trouvez utiles ?
  - b. les trouvez intéressantes ?
  - c. serez prêt à vous en servir ?
    - i. Si oui... En conjonction avec quelles autres ressources ?
    - ii. Si non... Y-a-t-il une raison particulière ?
6. Pouvez-vous proposer des outils ou des améliorations qui paraissent utiles ? Voici quelques exemples : Intégration de ressources multimédia supplémentaires, Questions fréquemment demandées, Indiquer la pertinence des ressources sélectionnées (aime/n'aime pas)...
7. Pouvez-vous commenter la pertinence des améliorations proposées par vos camarades ?