



HAL
open science

Ingénierie des Connaissances et Formalisation Sémantique des Relations Symboliques. Des Réseaux Sociaux Médiévaux au Web 3.0

Djibril Diarra

► **To cite this version:**

Djibril Diarra. Ingénierie des Connaissances et Formalisation Sémantique des Relations Symboliques. Des Réseaux Sociaux Médiévaux au Web 3.0. Traitement des images [eess.IV]. Université Bourgogne Franche-Comté, 2020. Français. NNT : 2020UBFCK021 . tel-03601884

HAL Id: tel-03601884

<https://theses.hal.science/tel-03601884v1>

Submitted on 8 Mar 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THÈSE DE DOCTORAT DE L'ÉTABLISSEMENT UNIVERSITÉ BOURGOGNE FRANCHE-COMTÉ

PRÉPARÉE À L'UNIVERSITÉ DE BOURGOGNE

École doctorale n°37
Sciences Pour l'Ingénieur et Microtechniques

Doctorat d'Informatique

par

DJIBRIL DIARRA

**Ingénierie des Connaissances et Formalisation Sémantique des Relations
Symboliques. Des Réseaux Sociaux Médiévaux au Web 3.0**

Thèse présentée et soutenue à Dijon, le 15 12 2020

Composition du Jury :

LAPAYRE JEAN-CHRISTOPHE	Professeur, Univ. de Franche-Comté	Président
FORRESTIER GERMAIN	Professeur, Univ. de Haute Alsace	Rapporteur
GESQUIERE GILLES	Professeur, Univ. de Lyon 2	Rapporteur
STAHULJAK ZRINKA	Professeure, UCLA	Examinatrice
CLOUZOT MARTINE	Professeure, Univ. de Bourgogne	Codirectrice de thèse
NICOLLE CHRISTOPHE	Professeur, Univ. de Bourgogne	Directeur de thèse

Titre : Ingénierie des Connaissances et Formalisation Sémantique des Relations Symboliques. Des Réseaux Sociaux Médiévaux au Web 3.0

Mots-clés : Ingénierie de connaissances, Ontologie, Réseau sociaux, Relation d'influence, Relation sémantique, Enluminure médiévale, Patrimoine culturel, Numérisation

Résumé :

La recherche des conditions et des moyens permettant de représenter, de mieux contrôler et de communiquer efficacement avec son environnement a toujours été au centre des préoccupations de l'humain. Si les avancées technologiques telles que des téléphones intelligents (smartphones), le Web et les réseaux sociaux numériques nous permettent aujourd'hui de répondre à cette préoccupation, tel n'a pas toujours été le cas. Nos travaux dans cette thèse traitent des documents médiévaux considérés comme un moyen de communication et comme un modèle de réseau social du Moyen Âge. Ces documents, dénommés enluminures médiévales, sont des peintures luxueuses qui auraient été utilisées à cette époque pour représenter l'environnement réel et des mondes idéaux pour les élites tels que les princes, les ducs, etc. Ces peintures contiennent beaucoup d'entités symboliques et métaphoriques comme des ornements, les animaux fabuleux, etc. L'ambiguïté sémantique de telles entités, certaines de leurs combinaisons et les contextes de réalisation des enluminures elles-mêmes font que leurs interprétations et la compréhension des messages véhiculés sont actuellement réservées exclusivement aux médiévistes. Dans nos travaux, nous proposons une approche qui réduit l'hétérogénéité sémantique des entités

de notre domaine d'intérêt (les enluminures, les réseaux sociaux, l'influence sociale). Elle permet également aux médiévistes de transmettre leur savoir-faire sur la compréhension de ces peintures médiévales à travers une formalisation des connaissances qu'elles contiennent. L'ambition est de permettre une compréhension plus générale des enluminures et des interprétations de leurs entités. Pour ce faire, nous exploitons des techniques et des méthodes de l'ingénierie des connaissances qui seront appliquées aux enluminures. Les contenus de ces dernières sont extraits et représentés dans un modèle formel. Ce modèle sert dans une application Web permettant à tout utilisateur de décrire des enluminures et de détecter automatiquement certains de leurs contenus. Cette détection automatique est effectuée grâce à des méthodes d'apprentissage machine (machine learning) implémentées dans l'application Web. Parallèlement, une étude comparative entre les principes de propagation de l'influence sociale à travers les enluminures et ceux à travers les réseaux sociaux numériques est faite. Cette comparaison donne des éléments de réflexion sur les mesures par lesquelles les questions relatives à cette notion d'influence sociale, telles que son évaluation, sa qualité, sa pérennité, sa maximisation, pourraient être traitées au mieux.

Title: Ingénierie des Connaissances et Formalisation Sémantique des Relations Symboliques. Des Réseaux Sociaux Médiévaux au Web 3.0

Keywords: Knowledge engineering, Ontology, Social network, Social influence, Semantic relation, Medieval Illumination, Cultural heritage, Digitalisation

Abstract:

A search has always been at the center of human concerns, the one of conditions and means to represent, to control well, and to communicate effectively with his environment. While technological advances such as smartphones, the Web, and online social networks currently allow addressing this concern, it has not always been the case. Our works in this thesis treat medieval documents considered as a medium of communication and as a model of the social network in the Middle Ages. These documents are called medieval illuminations. They were luxurious paintings used in that time to represent the environment and ideal world for elites such as prince, duke, etc. Those paintings contain tremendous metaphoric and symbolical items such as ornaments, fabulous animals, etc. The semantic ambiguity of those items, some of their combination, and the contexts of realisation of illuminations themselves make that their interpretations and their comprehension are currently reserved exclusively to the medievalists. In this thesis, we propose an approach that reduces the semantic heterogeneity of the items contained in the illuminations and allows the medievalists to transmit their

know-how on these medieval paintings through a formalisation of the knowledge they contain. The goal is to allow a more global understanding of illuminations and their items' interpretation. To achieve that, we use techniques and methods of knowledge engineering that we apply to the medieval illuminations. The contents of those later are extracted and represented in a formal model. That model serves in a Web application that allows any user to describe illuminations and detect automatically some of their contained items. This automatic detection is done thanks to machine learning methods implemented in the Web application. At the same time, a comparative study between the principles of the spread of social influence through illuminations as a model of social network and the ones through social media is done. That comparison provides food for thought on the measures by which questions relating to this notion of social influence, such as its evaluation, quality, sustainability, and its maximisation, could be tackled better.

REMERCIEMENTS

Aux termes de ce projet, je remercie toutes les personnes physiques et morales qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation des travaux. Je m'adresse très particulièrement :

- à l'Ambassade de France à Bamako, pour sa grande contribution dans le financement de mes séjours en France ;
- au Gouvernement de la République du Mali, à travers l'Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako (USSGB), qui a assuré le co-financement des travaux, notamment les phases effectuées au Mali ;
- à l'Université Bourgogne-Franche Comté (UBFC), à l'Ecole Doctorale Science Pour l'Ingénieur et Microtechnique (SPIM) et au laboratoire Connaissances et Intelligence Artificielle Distribuées (CIAD), pour la facilité et la diligence des démarches administratives ;
- aux professeurs Martine Clouzot et Christophe Nicolle, respectivement co-directrice et directeur de cette thèse, pour leur grande disponibilité, leur patience et leur générosité dans la transmission de leur savoir et leur savoir-faire. Je me rappellerai toujours de vos conseils le long du parcours que je ferai sur cette piste, que je dénomme "*recherche*" et qui est parsemé de verrous scientifiques, menant vers ce beau village inestimablement grand, que j'appelle "*savoir et savoir-faire*". À travers vous, je remercie tout le corps d'encadrement du laboratoire CIAD ;
- à tous mes camarades du laboratoire CIAD, notamment Roberto Marroquini, Meriem Mkhinini, pour les coups de mains techniques et les conseils ;
- à Rami Belkaroui, pour sa collaboration et ses conseils ;
- aux ingénieurs du laboratoire CIAD, notamment Nicolas Gros et Lise Kabbache, pour leurs participations aux implémentations informatiques.

Retrouvez tous, ici, l'expression de ma profonde gratitude et de mes considérations sincères à l'endroit de chacun d'entre vous.

DÉDICACE

À mes parents! Vos bénédictions continuent d'éclairer ma route et d'ouvrir des portes pour moi.

SOMMAIRE

I	Contexte	1
1	Introduction	3
1.1	Positionnement	4
1.2	Organisation du Manuscrit	6
2	Numérisation du Patrimoine Culturel	9
2.1	Introduction	9
2.2	Patrimoine culturel et TIC	10
2.3	Enluminure Médiévale	12
2.3.1	Contexte historique de la création et de l'utilisation des enluminures	12
2.3.2	Conception et Principes de Fonctionnement	14
2.4	Réseau Social Médiéval et Réseau Social Numérique	16
2.4.1	Réseaux sociaux numériques : Définitions, caractéristiques fonctionnelles et structurelles	17
2.4.2	Correspondances entre les enluminures médiévales et les réseaux sociaux numériques	19
2.5	Conclusion	21
II	Approche et Modélisation	23
3	Graphe Sémantique des Enluminures Médiévales	25
3.1	Introduction	25
3.1.1	Gestion de connaissances	25
3.1.2	Ingénierie des connaissances	27
3.2	Modèles de Représentation de Connaissances	28
3.2.1	Réseau Sémantique	30
3.2.2	Graphe Conceptuel	31
3.2.3	Modèles Structurels (ou Frame ou schéma)	31
3.2.4	Modèles logiques	32
3.3	Ontologies	33

3.3.1	Définitions et composantes des ontologies	35
3.3.2	Typologie des ontologies	37
3.3.3	Les logiques de description	38
3.3.4	Choix des Ontologies pour représenter les Enluminures Médiévales	42
3.3.5	Construction d'une ontologie et technologies utilisées	43
3.4	Domaines utilisant des ontologies et connexes à nos travaux	48
3.4.1	Dans les réseaux sociaux numériques	48
3.4.2	Dans le patrimoine culturel	48
3.5	MedievEnl : Ontologie sur les Enluminures Médiévales	50
3.5.1	Portée, Objectifs attendus de <i>MedievEnl</i> , ses Applications	50
3.5.2	Spécifications de <i>MedievEnl</i>	51
3.5.2.1	Ontologies externes utilisées	51
3.5.2.2	Termes Propres à <i>MedievEnl</i>	52
3.6	Raisonnement dans <i>MedievEnl</i>	57
3.7	Évaluation de <i>MedievEnl</i>	58
3.7.1	Vérification de <i>MedievEnl</i>	58
3.7.2	Validation de <i>MedievEnl</i>	59
3.8	Conclusion	60
4	Influence Qualitative et Enluminures Médiévales	63
4.1	Introduction	63
4.2	Influence et ses caractéristiques	64
4.2.1	Définitions de l'influence	64
4.2.2	Influence Sociale	65
4.3	Contextualisation et Typologie de l'Influence	65
4.3.1	Contexte de l'Influence	66
4.3.2	Typologie de l'Influence	67
4.4	Influence Sociale dans les Réseaux Sociaux Numériques	69
4.4.1	Analyse de l'influence numérique	70
4.4.2	Indicateurs déterminants dans l'évaluation de l'influence numérique	71
4.4.3	Évaluation quantitative de l'influence numérique	72
4.5	Influence Sociale Qualitative	78
4.5.1	Analyse de la Qualité de l'Influence sur les Réseaux Sociaux Nu- mériques	79
4.5.2	Problématique de l'évaluation de la qualité de l'influence numérique	81

4.6	Influence Qualitative dans les Enluminures Médiévales	82
4.6.1	Organisation Hiérarchique de la Société Médiévale	82
4.6.2	Caractérisation de l'Influence Qualitative dans <i>MedievEnl</i>	83
4.7	Conclusion	86
III	Prototype du Système	89
5	Illumination 3.0 : Système d'annotation d'enluminures	91
5.1	Introduction	91
5.2	Présentation du système	91
5.2.1	Médiéviste et Connaissance	92
5.2.2	Connaissance et Machine	93
5.2.3	Machine et Enluminure	93
5.2.4	Enluminure et Médiéviste	93
5.3	Architecture Générale du Système	94
5.3.1	Module <i>base de données</i>	94
5.3.2	Module d' <i>alimentation de l'ontologie MedievEnl</i>	95
5.3.3	Module de <i>détection automatique d'objets dans l'enluminure</i>	97
5.4	Évaluation du système <i>Illumination 3.0</i>	98
5.5	Conclusion	99
IV	Conclusion	101
6	Conclusion et Perspectives	103
6.1	Conclusion Générale	103
6.2	Discussion Générale	105
6.3	Futurs Travaux	106



CONTEXTE

INTRODUCTION

La valorisation de sa personne et la représentation de son environnement ont toujours fait partie des préoccupations de l'humain. Celui-ci a développé de manière constante de nouveaux modes et techniques d'expression de ce qu'il est, de ce qu'il souhaite paraître, de son environnement personnel réel ou de ses mondes imaginaires.

Les peintures rupestres comptent parmi les exemples les plus anciens. Elles font partie des premiers moyens conçus et utilisés pour la représentation des croyances, des valeurs culturelles et sociales. Les dessins de mains d'adultes et d'enfants en pochoir d'ocre rouge ou de charbon noir, les figurations d'espèces animales choisies et des scènes de rituels de la chasse en sont des exemples typiques. Ces scènes ont été généralement dessinées sur les pierres, sur les parois des grottes dont quelques exemples sont celles de Chauvet et de Lascaux en France et celle des bêtes (ou la vallée des images) dans le Wadi Sura (Gilf-el Kébir) au Sahara égyptien. Cette dernière comprend plusieurs sites de gravures et peintures rupestres représentant des groupes d'humains et de bovins domestiqués [108, 123]. Ces représentations, dont la raison d'être est de laisser des traces de passage, de valoriser des cultures et de marquer l'histoire [9], auraient été des moyens de communication avec des clans, l'entourage familial, mais aussi avec les générations futures [73]. Cette volonté de communiquer s'est développée aussi bien dans sa dimension temporelle que spatiale.

Répondant à cette volonté de transmettre, d'influencer et de faire voyager les connaissances, les **enluminures médiévales** figurent parmi ces supports de communication inventés dans l'histoire. Au Moyen Âge, elles étaient conçues pour et utilisées par les élites de la société pour se représenter, pour décrire leurs environnements socio-culturels et pour communiquer avec leurs entourages. Ces élites mettaient ou faisaient mettre en scène des événements de leur vie tout en prenant soin de faire passer des messages d'influence dissimulés dans les représentations d'objets ou de personnages figurant sur les enluminures. L'efficacité de ces dernières dans la transmission des messages de propagande, d'auto-valorisation et d'influence leurs confère une popularité auprès de certains princes Européens de l'époque, tels que les ducs de Bourgogne [23].

Les enluminures ont contribué à la propagation des formes d'influence contrôlée par les élites commanditaires. Ce phénomène de création et de propagation de l'influence s'est transformé au cours du temps. Les enluminures ont fait place à la photographie, à la radio, à la télévision et maintenant aux réseaux sociaux sur Internet (en ligne). Toutefois, indépendamment du type de support d'expression, les principes de création et de propagation de l'influences restent les mêmes à travers l'histoire.

Avec les réseaux sociaux en ligne, l'auto-valorisation, la promotion et l'évaluation de

l'autre ou d'un produit sont devenues des pratiques courantes. L'influence y véhiculée peut atteindre un environnement relativement large, grâce à l'Internet. Cependant, il est très difficile sur ces réseaux de démêler le vrai du faux, d'identifier clairement la valeur d'une information diffusée et de mesurer qualitativement l'influence d'un message sur les croyances et les doutes portés par chacun. C'est l'un des enjeux des Big Data aujourd'hui : pouvoir qualifier la véracité et la valeur d'une donnée [130]. Cette situation provient principalement de la difficulté de modéliser au plus juste une réalité de terrain permettant, d'un côté, de calculer l'écart entre la vraisemblance numérique affichée et celle d'une situation réelle de terrain, et de l'autre, d'évaluer l'impact cognitif de cette vérité virtuelle. Pour faciliter l'analyse de ce problème, certains proposent de limiter l'étude à un domaine d'expression comme la politique [139], d'autres le restreignent à un type de média comme twitter [147]. Le premier choix ne garantit pas son application à d'autres domaines. Le second ne permet ni de respecter la vie privée des sujets d'études, ni d'avoir accès à leur réalité de terrain pour évaluer des résultats.

Nous avons choisi de travailler sur les enluminures médiévales. Contrairement aux travaux des médiévistes qui analysent un élément récurrent dans plusieurs enluminures ou qui se focalisent sur un cas particulier de celles-ci, nous travaillons sur un ensemble de ces images formant un modèle de réseau social. Cet ensemble nous donne le recul nécessaire pour comprendre les modes de représentation d'une société donnée et de ses valeurs culturelles, celle des ducs de Bourgogne. Il permet d'analyser les formes de communication et d'influence que ceux-ci avaient mises en place et exercées sur des groupes sociaux choisis : la cour, la haute et la petite noblesse, les clergés [73]. À travers cette analyse et la compréhension des enluminures médiévales, une comparaison entre les vérités peintes et des réalités historiques dans ladite société peut être faite avec le concours des experts du domaine qui comprennent le sens historique de ces images. L'utilisation des enluminures, en tant que modèle de réseau social, permet également d'éviter tout procès pour atteinte à la vie privée des personnes étudiées.

1.1/ POSITIONNEMENT

Ce document est une synthèse d'un travail de recherche articulé en deux parties. La première partie vise à construire une démarche de digitalisation des savoirs liés aux enluminures, à des modèles et à des outils associés. En effet, les enluminures constituent un système de communication fondé sur des relations sémantiques entre des entités symboliques. Les significations associées à ces entités, à leurs relations et à leurs combinaisons ne sont pas fixes parce que ces images sont polysémiques et combinent toujours plusieurs niveaux de lecture et de signification : comme un mille-feuilles. En fonction des capacités culturelles des lecteurs, elles peuvent être comprises au sens le plus littéral ou à un niveau philosophique élevé. Leur puissance cognitive et sémantique réside dans l'usage de la métaphore qui, sous les apparences du réel, traduit des significations implicites. Les messages d'influence transmis et propagés dans ce système proviennent de combinaisons qui ne sont pas toujours explicites. Pour capter toutes ces significations et comprendre ces messages implicites, nous devons travailler avec des médiévistes afin de retrouver le sens de chaque entité graphique et d'exprimer celui des interdépendances de ces représentations les unes par rapport aux autres dans un contexte de lecture donné. Pour ce faire, il est nécessaire de savoir caractériser et interpréter les entités figurant sur l'enluminure et de modéliser le sens de leurs combinaisons. Les questions soulevées

dans cette partie sont :

- Comment caractériser formellement les entités d'une enluminure et leurs relations afin de capter numériquement leur sens ?
- Quel moyen formel peut-on fournir aux médiévistes pour qu'ils décrivent le sens implicite de l'articulation logique de ces éléments graphiques et symboliques ?
- Comment rendre explicable le sens caché d'une enluminure, selon son contexte de production et de réception dans une société donnée, à l'aide d'un algorithme ?

Ces questions liées à la digitalisation des connaissances, qu'elles soient graphiques ou associées à un savoir-faire humain, sont étudiées dans le domaine de recherche de l'ingénierie de connaissances (Knowledge Engineering en anglais). Dans ce domaine, un verrou récurrent est le traitement de l'hétérogénéité sémantique. Cette forme d'hétérogénéité traite de la vérité de chacun sur la perception d'une connaissance. Par exemple, l'opéra est-il un lieu, un genre musical ou une pâtisserie ? Cette hétérogénéité limite fortement l'interopérabilité qui est l'atteinte d'un objectif commun par un groupe de personnes ou de systèmes différents.

Dans notre contexte, l'interopérabilité se situe à plusieurs niveaux. Tout d'abord, entre les éléments qui figurent sur une enluminure : le sens associé à chaque symbole graphique doit être décrit formellement pour que le message porté par leurs combinaisons, tel que le souhaitaient l'enlumineur et son commanditaire, soit vrai. Ensuite, l'interopérabilité se situe entre les médiévistes qui lisent et interprètent les enluminures : le sens associé à chaque enluminure doit être vrai et partagé par la communauté d'historiens. Puis, elle est entre le message porté par l'enluminure et le receveur de ce message : il s'agit d'éviter toute ambiguïté d'interprétation, de compréhension et parfois d'action. Enfin, l'interopérabilité se trouve entre le sachant humain et la machine qui traduisent les connaissances contenues dans l'enluminure : sur ce dernier aspect, il est important que le système comprenne et raisonne sur le sens des éléments décrits pour construire et proposer une interprétation des messages implicites.

Nous faisons l'hypothèse qu'une fois cette interopérabilité réalisée dans tous les aspects décrits, nous pourrions utiliser les principes de fonctionnement des enluminures médiévales formalisées afin d'identifier des facteurs et des indicateurs de *qualité* de l'influence sociale qu'elles permettaient de véhiculer. À l'époque, comme aujourd'hui avec les réseaux sociaux numériques, les supports de communications visuels (enluminures au Moyen Âge, *selfie* ou egoportrait à notre époque) étaient construits pour modifier la perception d'une réalité afin de susciter une influence.

Dans la deuxième partie du document, nous étudierons la manière dont cette influence est construite dans les enluminures et ce qu'elles peuvent nous apprendre de celles des réseaux sociaux numériques. Pour ce faire, une analogie entre les enluminures médiévales et les réseaux sociaux numériques en tant que supports de communication est établie. Les questions traitées à ce niveau sont :

- Selon quels principes graphiques et symboliques les enluminures étaient-elles conçues ?
- Comment fonctionnait la transmission des messages d'influence *qualitative* à travers elles ?
- Quels sont les points de correspondance et de différence entre ces deux modèles (médiéval et moderne) de réseau social ?

- Dans quelles mesures les principes de fonctionnement du modèle de réseau social que constituaient les enluminures peuvent-elles aider à améliorer (qualitativement) certains aspects des réseaux sociaux numériques modernes ?

L'objectif est de voir théoriquement la mesure dans laquelle les facteurs de l'influence sociale dans les enluminures médiévales pourraient aider dans l'amélioration de la *qualité* de celle des utilisateurs sur les réseaux sociaux numériques actuels ou sur d'autres formes de ces plateformes avec de nouvelles organisations structurelles.

En plus d'être ambitieux, ces objectifs sont à la croisée de deux domaines : l'ingénierie numérique des connaissances et l'histoire médiévale. Bien que différents, ces deux domaines ont en commun le fait de travailler sur une représentation symbolique du monde et des humains.

1.2/ ORGANISATION DU MANUSCRIT

Afin d'atteindre l'ensemble des objectifs décrits dans la section précédente, nous avons choisi d'organiser ce document en 6 chapitres dont cette introduction.

Le chapitre 2 est un état de l'art sur l'exploration du patrimoine culturel par les technologies de l'information et de la communication (TIC). Ce chapitre présentera la notion d'enluminures médiévales et l'historique général de leur création. Par la suite, il décrira les principes de conception de ces enluminures et leurs utilisations à l'époque. Ces détails permettront de faire ressortir toute la subtilité, la beauté et la complexité conceptuelle de ces œuvres d'art médiévales. Une discussion sur les principaux traits caractéristiques communs entre les enluminures médiévales choisies et les réseaux sociaux numériques actuels complétera le chapitre. Les aboutissants majeurs de celui-ci sont la mise en lumière de la complexité sémantique de ces enluminures et l'identification de leurs principaux usages : la création, le maintien et la propagation de l'influence sociale de leurs commanditaires.

Le chapitre 3 est consacré à la description des connaissances contenues et exprimées dans les enluminures grâce à des modèles conceptuels. Ceux-ci doivent être adéquats pour l'expression du sens des enluminures et de celui des entités y figurant. Ce chapitre présente un ensemble de modèles de représentation de connaissances. En fonction des verrous identifiés pour atteindre nos objectifs, notre choix s'est porté sur un modèle de formalisation particulière de la connaissance : **les ontologies**. Les raisons de ce choix, à travers une présentation des généralités et des atouts du modèle dans la représentation des connaissances d'un environnement donné, sont expliquées. Par la suite, le *modèle ontologique* que nous proposons pour les enluminures choisies et la démarche utilisée pour sa construction sont détaillés. La conception de cette ontologie est un équilibre entre expressivité et décidabilité. L'expressivité facilite l'utilisation de l'ontologie comme référentiel homogène de termes dans un système de description et d'annotation d'enluminures. La décidabilité est la capacité de contraindre, par des axiomes, l'ontologie pour qu'un moteur d'inférence puisse vérifier les hypothèses formalisée au sein de l'ontologie par raisonnement. Le modèle contient les termes qui représentent non seulement les entités figurant sur les enluminures mais également les facteurs qui occasionnaient l'influence des commanditaires.

La notion d'influence sera évoquée dans le chapitre 4 composé de deux parties. La première est un état de l'art sur l'influence sociale et sa propagation dans les réseaux so-

ciaux. La seconde présente une analyse exploratoire sur la notion d'influence dans le réseau social médiéval que constituaient les enluminures choisies. À travers cette analyse, nous identifierons les facteurs, les indicateurs et le type de l'influence sociale véhiculée par ces enluminures.

Le chapitre 5 concerne l'implémentation informatique du système conçu. Ce système est composé d'un ensemble d'éléments techniques basé sur notre ontologie présentée formellement dans le chapitre 3. Il permet de créer une bibliothèque d'images des enluminures, qui peut être alimentée dynamiquement, et d'annoter ces peintures en utilisant un vocabulaire contrôlé constitué d'éléments symboliques et des liens sémantiques ou topologiques entre ceux-ci. Il est également associé à un algorithme de l'apprentissage profond (deep learning en anglais) déjà entraîné pour la reconnaissance d'éléments dans les images. Au cours de l'alimentation du système en enluminure et en connaissances, cet algorithme est entraîné à se spécialiser dans la reconnaissance des symboles graphiques utilisés dans ces images médiévales.

Le chapitre 6 présente une synthèse des résultats acquis et des tâches effectuées. Ce dernier chapitre contient également une discussion de ces résultats et présente quelques perspectives de futurs travaux.

NUMÉRISATION DU PATRIMOINE CULTUREL

2.1/ INTRODUCTION

Le patrimoine culturel désigne l'ensemble des collections matérielles ou immatérielles ayant une valeur culturelle, sociale, civilisationnelle ou scientifique pour une entité sociale précise qui peut être une famille, une communauté, une région (ou sous région) ou un pays [79, 87]. Quelques collections matérielles d'un patrimoine culturel sont les paysages architecturaux construits, les sites archéologiques et géologiques, certains aménagements de l'espace agricole ou forestier, les objets d'art et mobiliers, les documents écrits, les archives (dont les archives audiovisuelles), les objets du patrimoine industriel comme les outils, les instruments, les machines, etc. D'autres collections immatérielles sont les chants, les danses, les traditions gastronomiques, les coutumes, les mythes, les petits métiers, les jeux, les témoignages, les contes et légendes, les captations de techniques et de savoir-faire, etc [31]. En fonction des principaux types de collections culturelles prises en charge, le domaine du patrimoine culturel peut être subdivisé en sous-domaines dont quelques exemples sont décrits ci-après [79] :

- l'histoire de l'art et l'art moderne qui prennent en charge principalement les peintures, les sculptures, les objets religieux, les manuscrits, les archives ;
- l'archéologie qui gère des collections comme les momies, les objets d'art, les instruments, les ossements, les traces du bâti, les restes d'animaux ;
- l'ethnologie qui est l'étude comparative des groupes sociaux, de leurs structures sociales, de leurs pratiques et rituels, de leurs relations selon les catégories de pensée et de représentation [105] ;
- les sciences et technologies qui concernent les machines, les techniques, les outils, les armes, les conceptions, les découvertes ;
- l'immobilier concerne les monuments, les sites classés ou autres aménagements.

Ces collections constituent des preuves évidentes d'une société, d'une culture et d'un savoir-faire ayant existé dans un environnement déterminé et à une période donnée. De ce fait, le devoir de mémoire et la responsabilité incombent à tous de les sauvegarder en forme intacte ou améliorée pour les générations futures [87]. C'est pour cela et d'autres raisons politiques et d'influence géopolitique qu'il existe des institutions spéciales dédiées à la gestion de ces collections. Ces institutions sont appelées institutions de mémoire et

quelques exemples sont les musées, les archives, les bibliothèques, les sauvegardes de sites et de monuments, etc.

Les plus grandes de ces institutions, généralement nationales comme la Bibliothèque nationale de France ou la Bibliothèque royale de Belgique, adhèrent aux politiques de gestion d'autres institutions internationales comme le Conseil International de Musées (ICOM) ou le Conseil International des Archives (ICA) qui sont en charge de l'établissement des droits généraux et des politiques d'acquisition, de préservation, de conservation et de transmission des collections du patrimoine culturel et des statuts des institutions de mémoire [79]. Par exemple, ICOM¹ définit un musée comme une institution permanente à but non lucratif qui a le devoir d'être au service de la société et de son développement, d'être ouvert au public, d'acquérir, de conserver, de rechercher, de communiquer et d'exposer les collections du patrimoine culturel, à des fins d'étude, d'éducation et de divertissement [31, 79]. ICA² affirme que les archives conservent de très grandes quantités de documents originaux - principalement des écrits et des images dans leur ordre historique, tels que des documents administratifs, des lettres de personnalités, des collections de photographies et autres. Dans une certaine mesure, les bibliothèques peuvent également préserver le patrimoine culturel lorsqu'elles conservent des livres uniques [79].

Pour mener à bien leurs missions, ces institutions de mémoire peuvent davantage développer le domaine du patrimoine culturel en tirant profit des avancées des technologies de l'information et de la communication (TIC) pour mieux gérer la grande quantité de collections culturelles très hétérogènes, riches en informations et provenant de milieux, d'auteurs et d'époques différents, qu'elles ont à leur disposition.

Ce chapitre présente une description du domaine de de l'application des TIC dans la gestion, la conservation et le développement du patrimoine culturel. La première partie de ce chapitre présente un état de l'art de cette application à travers quelques outils et techniques y découlant. Nous nous intéressons particulièrement à l'application de ces technologies à des documents patrimoniaux médiévaux : les enluminures médiévales du duc Philippe le Bon. La seconde partie décrit ces documents à travers leur définition, leurs principes de conception et de fonctionnement et leurs usages. Ces derniers faisaient des enluminures à l'époque, des outils efficaces de communication et de propagation d'influence, à l'instar des réseaux sociaux de notre époque. La troisième partie du chapitre traite de ces réseaux sociaux et de leurs points communs avec les enluminures médiévales du duc.

2.2/ PATRIMOINE CULTUREL ET TIC

L'abondance et la richesse en information des collections culturelles gérées par les institutions de mémoires font du patrimoine culturel un domaine d'application par excellence des technologies de l'information et de la communication (TIC). Celles-ci sont considérées comme l'ensemble des techniques de l'informatique, du multimédia, de l'Internet et des télécommunications qui permettent aux utilisateurs de communiquer, d'accéder aux sources d'information, de stocker, de manipuler, de produire et de transmettre l'information sous différentes formes : le texte, le son, l'image, la vidéo [28]. Avec la popularisation de l'Internet et le développement du Web, la plupart de ces institutions possèdent leurs

1. <http://icom.museum/statutes.html#2>

2. <https://www.ica.org/en>

propres portails de gestion. Dans [80], Hyvonen classe ces portails en trois types majeurs :

- les portails d'information [56] sous forme de site Web. Ils représentent des vitrines virtuelles permettant aux utilisateurs de visualiser, parcourir les formats numériques (images ou vidéo) et rechercher des informations sur les collections culturelles gérées par les institutions. Ils sont conçus et réalisés par des ingénieurs en TIC à la demande de l'institution cliente. Des exemples de ces portails sont le site³ de la Bibliothèque nationale de France (BnF) et celui d'Europeana⁴, une plateforme en ligne qui donne accès à des collections numérisées des institutions culturelles de l'Union européenne ;
- les portails communautaires [45, 59] permettent de fournir et d'accéder à des informations qui parlent aux acteurs d'une communauté spécifique plutôt qu'au grand public. Ils peuvent également servir de vitrines Web de rencontre entre ces acteurs. Un exemple d'un tel portail pour le patrimoine culturel est ICONCLASS⁵ ;
- les portails généraux de recherche comme Google ou Yahoo.

En outre, d'autres portails existent pour des tâches spécifiques comme l'annotation et la description d'images représentant ces [83, 109], la reconnaissance automatique [89], la reconstruction de forme de collections culturelles physiques tels que les bâtiments et le patrimoine architectural [67, 124], l'intégration d'informations hétérogènes [101, 151], etc.

En général, le principe de fonctionnement de ces portails est basé sur la manipulation d'informations textuelles associées aux collections culturelles. Bien que cela simplifie la conception et le fonctionnement de ces portails, ce principe n'est pas toujours efficace pour mener à bien les missions des institutions propriétaires. Cette inefficacité s'explique par le manque de précision sur les informations contextuelles contenues dans les collections que les portails manipulent. En effet, la plupart des collections culturelles sont très riches en informations contextuelles et implicites dont l'explicitation aide à comprendre leur histoire, leurs significations sociales et symboliques dans des contextes et à des périodes données et les messages qu'elles sont censées transmettre. L'absence de ces informations limite la compréhension des significations de ces collections culturelles et celle des connaissances qu'elles contiennent, par les néophytes (les personnes qui ne sont pas spécialistes). Et cela va à l'encontre de l'importante mission de transmission de ces connaissances, conférée aux institutions de mémoire.

Pour aider à résoudre ce problème et faire en sorte que le domaine du patrimoine culturel continue de profiter pleinement des TIC, il faut des techniques et des outils adaptées qui permettent d'exprimer les connaissances contextuelles et implicites contenues dans les collections culturelles.

Nos travaux s'inscrivent dans ce cadre. Nous nous intéressons particulièrement à des documents patrimoniaux que sont les manuscrits contenant des **enluminures médiévales**. À ces dernières, nous souhaitons appliquer des **techniques de l'ingénierie de connaissances et de l'intelligence artificielle** pour représenter leurs connaissances contextuelles et implicites.

3. Site institutionnel de la BnF, <https://www.bnf.fr/fr>

4. <https://www.europeana.eu/portal/en>

5. Portail de ICONCLASS <http://www.iconclass.org/help/outline>

2.3/ ENLUMINURE MÉDIÉVALE

Une enluminure est une peinture fixe, réalisée à base d'or et d'autres matières précieuses, sur des parchemins (habituellement du cuir d'animal tanné) dans les manuscrits médiévaux [23, 8]. Le terme enluminure correspond aux images peintes en couleur, en or dans les livres et dans les cathédrales du Moyen Âge. Il provient du latin *illuminare*, qui veut dire illuminer. Les enluminures ont pour vocation d'*illuminer* le livre, c'est-à-dire matériellement de lui donner de la lumière et métaphoriquement d'éclairer le texte et le lecteur. Une enluminure est aussi appelée *miniature*, du latin *miniare* signifiant *écrire au minium* qui est un oxyde de plomb (pigment toxique), utilisé par l'enlumineur ; ou *frontispice* parce qu'elle servait à cet effet sur la couverture ou sur des pages à l'intérieur de livres [98, 73, 23].

Elles ont été développées au Moyen Âge (du 5ème au 15ème siècle) pour s'adresser aux érudits et aux élites de la société. Dans cette étude, nous avons retenu celles produites et diffusées sous l'autorité duc de Bourgogne⁶.

L'histoire de leur création et de leur utilisation par les ducs remonte au Moyen Âge tardif (ou troisième et dernière partie du Moyen Âge, du 10ème au 15ème siècle) et elle est liée à plusieurs contextes. Entre autres, nous pouvons citer la diversité sociale du duché⁷, son immensité et sa complexité territoriales, son positionnement géographique stratégique, la complexité de sa gouvernance et le besoin de propager une image contrôlée du pouvoir.

2.3.1/ CONTEXTE HISTORIQUE DE LA CRÉATION ET DE L'UTILISATION DES ENLUMINURES

Selon les travaux de Martine Clouzot, "la Bourgogne de la fin du Moyen Âge revêt à l'origine une signification territoriale et dynastique avec l'établissement à sa tête d'une maison princière issue des Capétiens⁸, les Valois⁹. En 1363, Philippe le Hardi, frère du futur roi Charles V et oncle du dauphin Charles, reçoit de son père, le roi de France Jean le Bon dont il est le quatrième fils, le duché de Bourgogne en apanage, en hommage à sa bravoure et à sa fidélité, et pour mieux se concilier avec ses sujets bourguignons. Le premier duc de Bourgogne (période de règne : 1363-1404) se trouve ainsi à la tête d'un complexe territorial duel. Au sud, la Bourgogne proprement dite, c'est-à-dire le duché, le comté de Bourgogne et le comté de Nevers, vit un peu à part. Au 15ème siècle, elle prend dans le vocabulaire administratif la terminologie de *pays de par-delà*, dont la capitale est Dijon. Et au Nord se trouvent les possessions dénommées *pays de par-déça* : Flandre, Artois, Brabant, Hainaut, Namurois, Hollande, Zélande" [73].

6. Bourgogne : est une ancienne région administrative française constituée de quatre départements : l'Yonne, la Côte-d'Or, la Nièvre et la Saône-et-Loire. Elle correspond à une partie de la province historique et culturelle située au centre-est de la France. Ses habitants sont appelés les Bourguignons. Depuis Janvier 2016, elle a fusionné avec une autre ancienne région (Franche-Comté) pour constituer la nouvelle région Bourgogne Franche-Comté.

7. Duché : (en latin : ducatus) désignait à son origine le ressort de commandement d'un duc (en latin : dux, ducis) ou chef militaire. Quand duc, qui était une fonction de commandement dans l'empire romain, devint un titre de noblesse, le mot duché désigna le territoire auquel ce titre était attaché [24]

8. Capétiens : forment une dynastie princière d'origine franque, issue des Robertiens, qui accède en 987 au trône du royaume de France [1].

9. Valois : la maison de Valois est la branche cadette de la dynastie capétienne qui régna sur le royaume de France de 1328 à 1589 [1].

En 1369, Philippe le Hardi acquiert par son mariage avec Marguerite de Flandre, la fille du comte de Flandre Louis de Mâle, le comté¹⁰ de Flandre. En plus, aux frontières du duché de Bourgogne, la Franche-Comté de Bourgogne, le comté de Nevers, la baronnie¹¹ de Donzy et la seigneurie de Salins appartiennent encore au patrimoine de la fille du comte de Flandre. Donc, le duché ne possédait pas une cohérence géographique entre pays de par-deçà et pays de par-delà [73, 99, 23].

Ces territoires bourguignons, en particulier les **pays de par-deçà**, forment un territoire central entre trois grandes puissances : le saint empire germanique et les royaumes de France et d'Angleterre. Les plus importantes voies de communication les traversant, les ducs avaient intérêt à ce qu'aucune de ces trois puissances ne réussît à avoir le contrôle d'un territoire d'une telle importance stratégique. La richesse et le prestige des régions urbanisées septentrionales, la prospérité économique et la grandeur politique de la Bourgogne de l'époque correspondent à une phase de recul de ces trois puissances voisines. La politique de l'Empire germanique a perdu de son efficacité, tandis que la France et l'Angleterre s'épuisent dans la Guerre de cent Ans¹². Et la Bourgogne, loin d'être menacée par la proximité géopolitique de ses trois voisins, s'étendit au contraire à leur détriment et tira avantage des conflits qui les opposèrent jusque vers le milieu du 15^{ème} siècle, période à laquelle les assises territoriales, diplomatiques et politiques de l'état bourguignon sont alors bien établies. L'ambition politique des ducs de Bourgogne a été dès le début de faire de la Bourgogne un état européen indépendant de toute sujétion féodale vis-à-vis de l'empire germanique, distinct du royaume de France, mais néanmoins allié de l'Angleterre au début. Ils menèrent une habile politique matrimoniale, familiale et de proximité qui leur permit de rassembler des territoires sous la bannière bourguignonne [73, 98, 23].

Pendant le règne de Philippe le Hardi, puis ceux de ses descendants, Jean sans Peur (période de règne : 1404-19), Philippe le Bon (période de règne : 1419-67) et Charles le Téméraire (période de règne : 1467-77), ces différentes territoires ont été acquis par mariages, comme le cas du comté de Flandre, par traités (héritages ou achats) ou par conquêtes et confiscations [99, 73].

Les besoins de communiquer avec les élites de ces territoires, de magnifier et d'idéaliser le pouvoir et la famille princière, ajoutés aux goûts du luxe et de la culture, ont entraîné un développement rapide de l'art du livre. Les métiers du livre connaissent ainsi un essor remarquable sous le mécénat des ducs, notamment de Philippe le Bon, un bibliophile accompli, qui contribue à leur diffusion sous leurs différentes formes, à savoir la copie, la traduction, la reliure, la transcription, l'enluminure, etc.

Dans le sillage de celles-ci, la famille ducale, les élites de la noblesse, les ecclésiastiques et la bourgeoisie urbaine ont passé des commandes de livres enluminés auprès d'enlumineurs de talents comme Jean Miélot, Simon Marmion, Jean le Tavernier, Rogier Van der Weyden pour ne citer que ceux-là, installés dans les grandes villes prospères telles que Bruges, Lille, Mons, Gand et Bruxelles. Autant d'enlumineurs qui ont été employés pour l'illustration de chroniques, d'épopées chevaleresques, de traités de chasse et d'environnement social [99]. Pour beaucoup, le manuscrit enluminé participe pleinement au *vivre noblement* et constitue l'un de ses symboles significatifs [99, 98]. De surcroît, leurs

10. Comté : un territoire qui est sous la gouvernance d'un comte (titre médiéval de noblesse).

11. Baronnie : est en premier lieu le titre du fief d'un baron [1].

12. Guerre des Cent ans : est un conflit entrecoupé de trêves plus ou moins longues, opposant de 1337 à 1453 la dynastie des Plantagenêt à celle des Valois, et à travers elles le royaume d'Angleterre et celui de France.

commanditaires y trouvèrent un moyen de communiquer, de mettre en scène leur niveau social et économique, leurs valeurs culturelles et religieuses, leur puissance politique et militaire et d'affirmer ainsi leurs influences [73, 99].

2.3.2/ CONCEPTION ET PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT

Les enluminures sont indissociables de l'histoire du livre dans la société médiévale. Ces peintures médiévales étaient faites pour et utilisées par les élites de la noblesse comme moyen de communication et de représentation de leurs environnements, de leurs valeurs culturelles et des événements de leur vie [73].

Pour ce faire, une enluminure est réalisée dans un contexte toujours savant, religieux ou profane et elle fait partie d'une chaîne de communication allant du commanditaire (dans notre cas, le duc de Bourgogne), l'auteur ou le copiste du livre et l'enlumineur jusqu'au destinataire (le duc, un noble de sa cour, un homme politique, un roi/une reine, un personnage important d'une cour européenne, etc.). Elle illustre des thématiques correspondant au commanditaire/destinataire, tel que son niveau socio-culturel, ses valeurs religieuses et elle vise à représenter une image idéale de lui-même, de sa famille, de sa société dans le passé, le présent, le futur (après la mort). Implicitement, elle sert à transmettre des idées, des relations idéalisées, des valeurs chevaleresques et religieuses. Explicitement, elle sert à représenter des scènes de la vie de cour comme les banquets, les noces, les bals, les tournois, des événements de la vie d'un héros tel le roi Arthur ou Alexandre le Grand, ou bien des scènes religieuses (la vie du Christ, de la Vierge, du roi David, les anges du Paradis, l'enfer, etc.). Dans notre cas d'étude, nous nous limitons aux enluminures qui illustrent des scènes profanes pour la simple raison que nous ne voulons pas nous focaliser sur une doctrine ou une religion particulière. L'enluminure de la figure 2.1 illustre une telle scène : le don d'un luxueux manuscrit enluminé au duc Philippe le Bon entouré de quelques chevaliers et de ses proches conseillers.

Les éléments qui constituent une enluminure, tels que les couleurs, les personnes, les objets qui y figurent et leurs dispositions dans la peinture sont soigneusement sélectionnés sous le contrôle du commanditaire ou par lui-même. Certains de ces constituants ou l'image entière est considérée comme un signe, parfois plus fort qu'une métaphore ou fonctionnant au moyen de métaphores. Ils sont choisis selon les événements et les thématiques à mettre en scène afin d'insérer dans la peinture des messages explicites [73, 8] ; grâce à la présence de certains éléments symboliques comme le collier de la Toison d'or¹³ par exemple, pour exprimer la chevalerie ; ou des messages implicites [73, 8] grâce à la combinaison de certains éléments ou à certains positionnements topologiques des éléments dans l'image comme le fait que le duc soit centré, ce qui représente sa domination et son autorité.

Une enluminure est donc le produit d'un travail d'équipe. Le chef d'atelier d'enluminures pouvait se déplacer à la cour ducale ou le duc pouvait aller dans son atelier pour discuter du programme d'enluminures d'un livre. Puis le chef enlumineur prépare le livre, peint les parties les plus importantes des enluminures et laisse les décors et les coloriages à ses artisans. Inversement, ceux-ci peuvent commencer le travail des simples décors et l'enlumineur termine le travail en remplissant les parties les plus symboliques

13. La Toison d'or est un ordre créé par Philippe le Bon fonde à Bruges en janvier 1430 pour prôner l'esprit chevaleresque et la défense de la religion chrétienne mais avant pour répondre à des motivations politiques [99].



FIGURE 2.1 – Une enluminure médiévale représentant la cérémonie de la présentation d'un luxueux livre enluminé au duc de Bourgogne, Philippe le Bon. *Bruxelles, Bibliothèque royale de Belgique, ms. 9243, folio 1 verso, Chronique de Hainaut par Jean Wauquelin, 1446*

et prestigieuses [73, 129]. L'objectif de tous ces soins est de réaliser une peinture qui, non seulement reflète les valeurs socio-culturelles du commanditaire mais aussi qui permet de créer, de renforcer et de véhiculer une influence sociale pour lui. De ce fait, ces peintures constituaient un moyen de représentation du réseau social du commanditaire. Dans l'enluminure de la figure 2.1, un exemple d'un tel réseau du duc est représenté par la présence de ses hauts conseillers placés derrière lui sur l'image, ses proches chevaliers à qui il fait face et parle, son fils aîné, son successeur placé juste à son côté. Ces personnages constituaient les membres d'un réseau social élitiste appelé l'ordre de la Toison d'or et représenté par le collier de la Toison d'or. Un collier que tous les membres de l'ordre doivent porter [99].

Dans ce processus de conception d'une enluminure, l'influence se fait en amont, dès la préparation des enluminures : le duc et l'atelier anticipent les scènes à représenter et les messages à diffuser. Puis la diffusion se poursuit dans la cour et grâce à ses nombreux déplacements dans les différentes résidences princières entre la Bourgogne et les Pays-Bas [73]. Des objets symboliques et des positionnements topologiques de certaines entités dans l'enluminure de la figure 2.1 témoignent de cette influence. Par exemples :

- l'allégeance au duc. Elle est représentée par : la position des conseillers qui se tiennent les bras croisés derrière le duc, la position agenouillée de l'enlumineur et le port du collier de la Toison d'or ;
- la puissance matérielle et le pouvoir militaire du duc. Ils sont identifiables par : la

position centrale du duc dans l'image, le fait qu'il porte une bourse qui est réservée aux hommes de la bourgeoisie à l'époque et le fait qu'il tienne le bâton de commandement réservé seulement au chef militaire ;

- le respect de la hiérarchie du rang social. Il est indiqué par la disposition hiérarchique des individus dans l'image : le duc au centre, les conseillers viennent directement après lui, son fils aîné, bien qu'influent par lignée princière et plus proche du duc, vient après eux, et ensuite les autres chevaliers de la Toison d'or, etc. La société médiévale étant très classée [98], cette hiérarchisation détermine implicitement l'ordre d'exercice de l'influence sociale d'une entité sur une autre.

À l'instar de ces indicateurs de l'influence sociale du duc, l'expression cognitive des contenus d'une enluminure n'est pas toujours explicite et elle varie selon des contextes tels que les événements et les thématiques mis en scènes, l'environnement d'exposition des peintures, le niveau social du public cible. Cependant, l'expression visuelle de ces contenus est conçue et peinte dans les enluminures qui servent avant tout de support de communication pour le duc et la cour ducale. Comme tel, nous considérons ces peintures médiévales comme un **modèle médiéval de réseau social** [154].

2.4/ RÉSEAU SOCIAL MÉDIÉVAL ET RÉSEAU SOCIAL NUMÉRIQUE

La notion de réseau social admet beaucoup de définitions dans la littérature. L'une des plus génériques et complètes que nous utiliserons dans nos travaux est celle de Wasserman et Faust : **un ensemble de relations qui entraînent des interactions sociales régulières et des partages de ressources entre différentes entités sociales (individus, organisations, entreprises, régions, pays, etc). Ces relations sont diverses et découlent entre autres de la connaissance, la collaboration, la collégialité, l'amitié** [25, 74]. Elles peuvent être des relations directes (une entité A est directement lié à une autre $B, A \rightarrow B$) ou indirectes ($A \rightarrow B \rightarrow \dots \rightarrow X$, donc $A \rightarrow X$) ; des relations symétriques ($A \rightarrow B$ implique $B \rightarrow A$) ou asymétrique ($A \rightarrow B$ n'implique pas $B \rightarrow A$) [154].

Cette définition est particulièrement intéressante pour nous parce qu'elle évoque les notions de communication, de partage de ressources et ne se focalise sur aucun type particulier de relation. En effet, indépendamment du type de relation, tout réseau social est entretenu et animé par le partage de ressources matérielles (argent, nourriture, équipements, armes, etc.) ou immatérielles (information, stratégies, décisions, humeur, activités, etc.). Et plus les interactions des membres, sur les ressources partagées, sont grandes dans le réseau, plus celui-ci devient dense, important, voire grand [13, 75].

Dans la vie courante, un réseau social est toujours créé et entretenu dans un environnement donné, il implique toujours un ensemble d'entités sociales et il est nourri par le partage de ressources. Conformément à ces principes, à partir des années 2000, de nouveaux type d'espaces fleurissent sur l'Internet dans le but de reproduire virtuellement un réseau social dans une application Web. Ces plateformes ont différentes appellations dont quelques unes sont les sites Web de réseau social [68], les réseaux sociaux en ligne [86, 143], les réseaux sociaux numériques [137], ou tout simplement réseaux sociaux par abus de langage des utilisateurs.

2.4.1/ RÉSEAUX SOCIAUX NUMÉRIQUES : DÉFINITIONS, CARACTÉRISTIQUES FONCTIONNELLES ET STRUCTURELLES

Différentes définitions ont été données aux réseaux sociaux numériques. La plupart de celles-ci s'appuie sur la définition de *Wasserman et Faust*, indiquée dans la section 2.4. Une définition déduite d'une combinaison de celles données dans des travaux comme [68, 74, 126, 111] est : un réseau social numérique est une application Web dans laquelle des entités sociales, à travers une personne physique ou un agent informatique (grâce au développement de l'intelligence artificielle), se crée un espace virtuel d'auto-valorisation, de partage et de consommation de contenus numériques. Cet espace est appelé *profil ou fil d'actualité* et il est représenté par un avatar. Ces entités sociales sont dénommées *utilisateurs du réseau social numérique*. Dans ce système informatique, chaque utilisateur se construit progressivement un réseau d'abonnés¹⁴ grâce aux interconnexions directes ou indirectes, symétriques ou asymétriques des uns aux espaces des autres.

Les objectifs du développement de cet espace, pour un utilisateur *A*, sont le partage de ressources, leur consommation par ses abonnés et la communication avec ceux-ci [68] ou avec le réseau de manière générale. À la différence d'un réseau social dans la vie réelle, les ressources partagées sur un média social sont numériques : des messages textuels, des images, des sons, des illustrations et des vidéos [61, 95]. Et en fonction du type de ressources mises en exergue pour communiquer et pour partager, une typologie des réseaux sociaux numériques peut être établie. Les différents types distingués sont [116, 68] :

- les réseaux sociaux généraux. Ce sont des réseaux sociaux sur lesquels la communication est faite par tout type de ressources numériques et ils ne sont orientés vers aucun secteur ou aucune thématique précise. Les exemples les plus connus et utilisés de ces réseaux sociaux sont Facebook¹⁵ et Twitter¹⁶ ;
- les réseaux sociaux spécialisés. Ils privilégient soit des thématiques ou des secteurs bien précis autour desquels les communications sont faites, soit des ressources bien déterminées pour ces communications. Il y a les :
 - réseaux sociaux professionnels. Ils ne privilégient aucun type particulier de ressources mais les thématiques abordées sur ces réseaux sociaux sont généralement en rapport avec l'emploi et la carrière professionnelle. Ils correspondent mieux pour la recherche d'opportunités d'emploi, de formation et pour la mise en relation avec des professionnels. Entre autres, des exemples connus sont LinkedIn¹⁷ et Viadeo¹⁸ ;
 - réseaux sociaux orientés images ou vidéos. Ce sont des réseaux sociaux sur lesquels les principales ressources utilisées pour la communication et le partage sont les photos comme sur Pinterest¹⁹, Flickr²⁰, les sons ou les vidéos

14. Les abonnés d'un utilisateur *A* dans un réseau social numérique sont les autres utilisateurs de la même plateforme qui sont directement connectés à son fil d'actualité et peuvent ainsi recevoir des notifications de ses publications.

15. Facebook : www.facebook.com

16. Twitter : www.twitter.com

17. LinkedIn : www.linkedin.com

18. Viadeo : www.viadeo.com

19. Pinterest : www.pinterest.fr

20. Flickr : <https://www.flickr.com/>

comme sur Youtube²¹, Instagram²², Pinterest ;

- les réseaux sociaux dédiés aux téléphones mobiles intelligents (ou smartphones en anglais). Ce sont des applications mobiles qui correspondent soit à la version des réseaux sociaux évoqués, adaptée à ces téléphones, soit à d'autres réseaux sociaux qui ne sont pas fonctionnels sur d'autres terminaux hormis ces téléphones et les tablettes. Comme exemples de ces réseaux, nous pouvons citer entre autres WhatsApp (qui utilise les textes, les photos, les sons et les vidéos pour la communication), Snapchat (qui privilégie les photos et les vidéos), Instagram, etc.

Cette classification n'est pas exhaustive. D'autres critères, tels que la visibilité et la portée des ressources partagées, la direction (symétrie ou asymétrie) des interconnexions, fournissent d'autres classifications mais celle-ci a l'avantage de nous indiquer le cadre dans lequel les enluminures médiévales du duc de Bourgogne peuvent être considérées comme un modèle médiéval de réseau social et d'identifier la catégorie dans laquelle ce modèle peut être mis.

Indépendamment de toute classification, il est important de comprendre que tout réseau social numérique est conçu pour les mêmes usages à savoir *le partage et la consommation de ressources, la communication entre utilisateurs et le réseautage* [14, 68, 86]. Ces usages passent par des actions en ligne qui, en tant que fonctionnalités de l'application Web, sont gages d'entretien et de développement du réseau social numérique. Ces actions sont : *les publications, les commentaires / mentions, les partages, les appréciations* [97, 84, 76].

Une publication consiste, pour un utilisateur *A*, à mettre sur son profil des ressources numériques à l'attention de ses abonnés et du réseau qui doivent les consommer en les appréciant, en les commentant et en les partageant.

Une appréciation, aussi appelée *like, favoris ou j'aime*, consiste pour l'utilisateur *A* à exprimer son émotion via des émoticônes²³ sur une publication dans le réseau. Celle-ci peut être la sienne ou celle d'un autre utilisateur. Une appréciation peut être positive ou négative. Elle est effectuée grâce un bouton dédié dans la plateforme.

Un commentaire désigne une expression faite sur une publication via un message textuel, relativement court avec la possibilité d'identifier (mentionner) son auteur ou d'autres utilisateurs, grâce au caractère @. C'est pourquoi certains documents désignent les commentaires par commentaires/mentions ou carrément mentions. Il est également possible de commenter allégoriquement avec une image ou une vidéo. Les commentaires/mentions permettent des interactions publiques, éventuellement pérennes, entre plusieurs utilisateurs. Ils sont opérables grâce à un champ de texte dédié dans la plateforme.

Le partage de publication consiste, pour un utilisateur *B*, à re-publier sur son profil ce que *A* a déjà publié, en y ajoutant son propre message ou non. La publication originale reste intacte dans la nouvelle. Il est également possible d'identifier d'autres utilisateurs dans un partage. Celui-ci s'effectue grâce à un bouton dédié dans la plateforme.

Ces actions en ligne et les usages évoqués ci-dessus constituent ce que nous appelons les **caractéristiques fonctionnelles** des réseaux sociaux numériques. Elles sont utilisées dans de nombreux travaux dans le cadre de l'analyse des réseaux so-

21. Youtube : <https://www.youtube.com/>

22. Instagram : <https://www.instagram.com>

23. Une émoticône est une (petite) figuration symbolique d'une émotion, d'un état d'esprit, d'une humeur ou d'une ambiance.

ciaux [76, 77, 85], pour définir des mesures indicatrices des caractéristiques structurales et d'autre phénomène tel que l'influence sociale (voir le chapitre 4) sur ces plateformes. En guise d'exemples de caractéristiques structurales des réseaux sociaux nous pouvons citer les indicateurs de communautés (virtuelles), les types de communautés, la centralité des noeuds d'un réseau, la densité du réseau, la modularité du réseau, etc [77, 85, 86, 148].

Au regard des caractéristiques fonctionnelles décrites ci-dessus, des correspondance peuvent être établies entre les réseaux sociaux numériques et les manuscrits enluminés faisant l'objet de nos travaux. Le but est d'apporter des éléments de confirmation du caractère réseau social des enluminures médiévales soulevé en hypothèse.

2.4.2/ CORRESPONDANCES ENTRE LES ENLUMINURES MÉDIÉVALES ET LES RÉSEAUX SOCIAUX NUMÉRIQUES

Sur un réseau social numérique, chaque utilisateur anime, de manière relativement régulière, son espace en y publiant des messages textuels, des photos, des vidéos ou autres médias sur lesquels ses abonnés interagissent et communiquent entre eux et avec lui. Ces publications peuvent être divertissantes, informatives, explicites ou allégoriques mais les objectifs recherchés par l'utilisateur sont la quête de la valorisation de ses idées, de ses choix, de ses services, de ses humeurs et la représentation d'un soi idéal [95]. Cette valorisation est attestée par les interactions de ses abonnés.

Ces interactions sont faites en public à travers les commentaires, les partages ou les appréciations ; ou en privé par les messages directs textuels ou les vocaux (introduits dans les réseaux sociaux numériques en 2016). La validation, l'estime et l'éventuelle adoption de ses choix ou de ses idées par les autres confèrent à l'utilisateur une meilleure estime de soi ou lui font se sentir valoriser. Elles lui permettent ainsi d'asseoir et d'accroître son influence sur son réseau d'abonnés. Les réseaux sociaux numériques sont donc des supports de valorisation de soi. Ils constituent ainsi des véhicules d'influences par excellence sur le Web.

Cependant, l'existence de supports d'auto représentation et d'auto-valorisation n'est pas réservée à l'air du Web seulement. Même avant l'Internet de tels supports étaient conçus. Au Moyen Âge, les manuscrits enluminés par exemple, étaient utilisés à des fins similaires. Ils permettaient à des élites de la société de se représenter dans leur environnement, de communiquer avec les membres de celui-ci et de propager leurs idées et leurs influences par le biais de peintures luxueuses que sont les enluminures médiévales [73, 33]. Pour notre cas d'étude, le duc Philippe le Bon exprimait ses goûts et sa volonté, il montrait sa générosité et diffusait ces valeurs socio-culturelles, économiques et politiques à travers la diffusion de ses enluminures. Mais à l'instar des usages faits des réseaux sociaux numériques modernes, l'objectif implicite qu'il recherche est de créer et diffuser des messages informatifs ou allégoriques afin de renforcer *son influence, sa légitimité et son autorité* au sein de ses réseaux élitistes plus ou moins fermés [73, 8].

Au regard de ces vertus, le manuscrit enluminé a des similarités avec des réseaux sociaux numériques, particulièrement ceux qui sont orientés images tels que Pinterest, Flickr, etc. Les deux modèles (médiéval et moderne) de représentation d'un réseau social ont des points de correspondance qui sont résumés dans la table 2.1. Ces points de correspondance découlent d'une transposition des caractéristiques fonctionnelles et des fonctionnalités des réseaux sociaux numériques sur nos enluminures médiévales. Nous

n'avons pas utilisé les caractéristiques structurelles dans cette transposition parce que l'organisation structurelle des entités sociales sur nos enluminures n'est pas propice pour cette opération. Néanmoins, une comparaison de l'organisation de ces entités dans les deux modèles sera faite dans le chapitre suivante (à la section 3.7.2), pour évaluer leurs similarités du point de vue structurel.

TABLE 2.1 – Points de correspondance entre le réseau social médiéval et le réseau social numérique.

Points de correspondance	réseau social numérique	Réseau social médiéval
Représentation des membres du réseau social d'un utilisateur	Abonnement au fil d'actualité	Présence sur des enluminures (dans le manuscrit)
Communication	Possibilité d'échange mutuel	Les objets symboliques présents dans l'image
Type de message véhiculé	Divertissant, informatif, métaphores textuelles et visuelles	Divertissant, informatif, métaphores visuelles
Type d'expression	Partage, commentaire, appréciation	Copie, emprunt, visualisation, confiscation, vol d'enluminures
Partage	Fonctionnalité de partage de publications	Don, emprunt, copie d'enluminures
Commentaire	Fonctionnalités d'expression par message textuel, émoticône, image ou vidéo	Exposition des enluminures dans des bibliothèques privées ou dans des stands lors des événements
Appréciation	Émotionnes utilisées à cette fin	Copie, emprunt, vol
Type d'influence véhiculée	Influence sociale, intellectuelle, savoir-faire	Autorité, légitimité, puissance matérielle et politique
Valeurs diffusées	Goûts, culture, expertise, abondance matérielle	Culture, puissance matérielle
Ressource d'animation et de maintien du réseau social	Messages, images, vidéos publiés	Enluminures peintes

Cette table de correspondance confirme l'hypothèse que les enluminures médiévales du duc constituent un modèle médiéval des réseaux sociaux numériques modernes. Néanmoins, il est important de savoir que ces derniers sont créés et se développent généralement dans un espace virtuel sur l'Internet tandis que le modèle de réseau social constitué par les enluminures médiévales fonctionne dans la vie réelle à travers une diffusion physique et des appréciations visuelles des peintures. Dans cette interconnexion sociale, l'enluminure en soit est une ressource d'animation et de maintien du réseau à l'instar d'une image postée sur le profil d'un utilisateur d'un réseau social numérique. En plus, dans le modèle médiéval, la communication est unidirectionnelle. Elle va toujours du commanditaire (dans notre cas, le duc) vers les cibles (les élites de sa société) et les expressions de ces dernières vers le premier ne sont pas mises en évidence dans le modèle. Ces communications du commanditaire vers les cibles et vice versa, sont implicites

et leur expression cognitive n'est compréhensible qu'avec les interprétations des spécialistes des enluminures. Pour ce faire, ceux-ci doivent décrire explicitement les contenus figurant sur les enluminures et les significations de leurs combinaisons. La formalisation de cette description explicite est l'un des objectifs de nos travaux.

2.5/ CONCLUSION

La présentation des enluminures médiévales du duc de Bourgogne, Philippe le Bon, et celle du contexte général de nos travaux, qui se situent au carrefour **de l'analyse de documents patrimoniaux et de l'ingénierie des connaissances**, ont été l'objet de ce chapitre. En premier lieu, les enluminures ont été définies et leurs principes de conception et d'utilisation a été décrits. À travers cette description, nous avons montré que ces images constituent un modèle de représentation et de transmission de connaissances. Elle permet également de comprendre que les enluminures constituaient un support de propagation d'influence. Ce support de communication, propre à l'époque médiévale, admet des points de similarités avec des réseaux sociaux numériques modernes au regard de leurs caractéristiques fonctionnelles et structurelles.

Bien que le réseau social constitué par les enluminures obéisse aux mêmes motivations que des réseaux sociaux numériques, il fait usage des entités symboliques reliées par des relations sémantiques et métaphoriques. Ces entités symboliques sont les objets, les individus, les décorations, les animaux réels et fantastiques qui figurent sur les enluminures. Le niveau d'opacité des significations de ces objets symboliques et de leurs relations n'est pas forcément présent dans les ressources d'animation d'un réseau social numérique. Cette opacité due au contexte changeant des enluminures rend difficile leur compréhension par des néophytes sans l'expertise des spécialistes de ces images. Afin de faciliter cette compréhension, ces spécialistes, aussi appelés les **sachants**, sont demandés à toutes les étapes de la chaîne de captation du sens de la peinture : de l'identification de son contenu, en termes d'entités symboliques, jusqu'à l'interprétation de leurs combinaisons. Ils doivent décrire ces entités, les relations qui les structurent et leurs significations. Toutes ces descriptions constituent un graphe hypermédia dont la définition formelle aiderait ces sachants dans leurs tâches.

Le chapitre aura permis de comprendre les principes de conception et de fonctionnement des enluminures médiévales du duc de Bourgogne. Il aura également permis de dégager des points de correspondance entre ces peintures médiévales et les réseaux sociaux numériques modernes. À travers ces éléments, il répond aux questions relatives à la conception, l'utilisation des enluminures et à la similarité de ces peintures médiévales avec les réseaux sociaux numériques modernes. En dehors de ces éléments de réponses, le chapitre soulève une autre question importante, celle relative à la caractérisation formelle des enluminures et l'explicitation de leurs entités afin de capter numériquement leurs sens. En d'autres termes, comment rendre explicite les sens cachés d'une enluminure, en fonction de ses contexte de production et de réception ?

Afin de répondre à cette question, nous proposons un cadre formel de représentation sémantique des connaissances associées à la fois aux éléments symboliques contenus dans les enluminures et aux facteurs de l'influence véhiculée par leurs combinaisons. L'approche proposée vise à résoudre le problème d'hétérogénéité sémantique associée à la description de la symbolique et des influences des enluminures, au regard de leur com-

position et des informations contextuelles. Nous pourrions ainsi développer un processus de digitalisation des enluminures mais aussi des mouvements cognitifs associés à ces images patrimoniales. Cette approche est basée sur la construction formelle du graphe hypermédia constitué par les descriptions faites par les sachants. Ce graphe représente le réseau social constitué par les enluminures médiévales, auquel nous avons donné la désignation **réseau social médiéval**. Toute cette approche formelle et la résolution de l'hétérogénéité sémantique du contenu d'une enluminure médiévale sont détaillées dans le chapitre 3.



APPROCHE ET MODÉLISATION

GRAPHE SÉMANTIQUE DES ENLUMINURES MÉDIÉVALES

3.1/ INTRODUCTION

Le fonctionnement de toute structure sociale et/ou économique (entreprise, organisation, université, famille...) repose en partie sur un ensemble de connaissances qui, si elles sont bien gérées, contribueraient à son développement. Une partie de ces connaissances, relativement bien identifiée et documentée, est appelée **la connaissance explicite**. Elle est complétée par une autre partie moins précise et contextuelle connue sous l'appellation de **la connaissance implicite ou tacite** [34, 12]. Dans le cas d'une entreprise par exemple, la partie explicite couvre entre autres les ressources matérielles, leurs spécifications techniques, les compétences métiers et la partie implicite couvre l'expérience individuelle, les habitudes et manières de travailler du personnel, etc.

Suite à des facteurs de mutation et de licenciement, des organisations se sont rendues compte vers les années 1980 que le manque de valorisation de leurs acquis, en termes de savoir-faire et de connaissances, ainsi que le caractère volatile des connaissances sont sources de pertes financières énormes [12, 30]. Ce constat a donné lieu à de nombreuses études regroupées aujourd'hui sous la dénomination de **gestion des connaissances** [112]. Cette dernière consiste à résoudre différents problèmes pouvant faciliter la production et l'exploitation des connaissances. Un des plus importants de ces problèmes est **l'hétérogénéité sémantique** des connaissances [19].

Ce chapitre décrit les fondamentaux de la gestion de connaissances à travers la présentation des modèles permettant de représenter celles-ci. L'accent est mis sur les modèles ontologiques et les langages de description associés, en raison d'un ensemble de motifs qui sont également présentés. Ensuite, ces modèles et langages sont utilisés pour faire une proposition de représentation du domaine de la connaissance traité dans ces travaux de recherche : les enluminures médiévales du duc de Bourgogne, la réseaux sociaux et les facteurs de l'influence véhiculée dans ou par les premières.

3.1.1/ GESTION DE CONNAISSANCES

La gestion de connaissances peut être définie comme **l'ensemble des initiatives, des méthodes et des techniques permettant de percevoir, d'identifier, d'analyser, d'organiser, de mémoriser, de valoriser et de partager les connaissances des membres d'une organi-**

sation ou le savoir créé par une entreprise en vue d'atteindre des objectifs fixés. Cette définition est une synthèse construite à partir d'autres trouvées dans [30, 51, 112]. La gestion de connaissances passe par un processus circulaire constituée des opérations illustrées par la figure 3.1 [102].

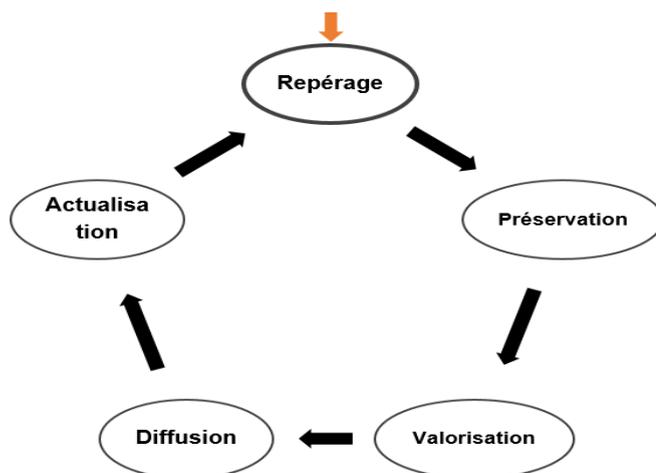


FIGURE 3.1 – Processus circulaire des opérations de la gestion des connaissances.
source : inspiré de [102]

- La première opération, intitulée *repérage*, regroupe les tâches d'analyse des entités telles que les ressources humaines, matérielles et techniques de l'organisation, les tâches de perception et d'identification des données, des informations et des connaissances (explicites et implicites) qui en découlent. La différence entre les notions de donnée, d'information et de connaissance est fournie dans la table 3.1.
- La seconde opération est appelée *préservation*. Elle consiste à épurer, à codifier, à structurer et à stocker les données, les informations et les connaissances repérées en fonction des objectifs fixés.
- La troisième opération est la *valorisation*. Elle regroupe l'ensemble des tâches qui consistent à combiner ces connaissances afin de permettre à l'organisation de mieux les exploiter. À travers cette opération, les données, les informations et les connaissances implicites deviennent explicites. Ce passage de l'état implicite à l'explicite est appelé l'*externalisation, l'explicitation ou la capitalisation de connaissances* [122, 102, 34]. L'une des opérations importantes qui contribuent à l'externalisation des connaissances est appelée *le raisonnement* (voir la table 3.1). L'externalisation permet d'ajouter une plus value au patrimoine de connaissances de l'organisation.
- La quatrième opération est la *diffusion*. Elle concerne le partage et la distribution des connaissances entre les acteurs de l'organisation ou avec d'autres utilisateurs. Les connaissances ainsi diffusées et exploitées créent au fil du temps du savoir, du savoir-faire et par conséquent entraînent des nouvelles connaissances implicites. Ce passage de la connaissance de l'état explicite à l'implicite est appelé l'*internalisation de connaissances* [122, 102, 34].
- La cinquième et dernière opération, intitulée *actualisation*, consiste à intégrer les connaissances explicites produites dans les processus métiers de l'organisation,

à veiller sur les nouvelles connaissances implicites dérivées et sur leur intégration dans le patrimoine de l'organisation. Cette tâche de veille entraîne une reprise du processus avec une nouvelle opération de repérage.

Toutes ces opérations sont faites à l'aide de techniques, de outils et de méthodes qui évoluent continuellement. Certains seront évoquées dans les sections suivantes mais au préalable nous définissons dans la table 3.1 certaines notions mentionnées dans les opérations décrites ci-dessus.

TABLE 3.1 – Définitions des notions de données, d'informations, de connaissances et de savoir.

Notion	Définition de la de la notion
Donnée	C'est une représentation d'un élément brut fourni sans aucun contexte [65, 35, 30, 106]. Exemple : 15 R12 P14. Il est impossible d'interpréter une donnée en soi parce qu'elle peut représenter n'importe quoi. Dans le cas de notre exemple, elle peut être une adresse, un matricule, etc.
Information	C'est un ensemble de données corrélées pour transmettre un message. La compréhension de ce dernier dépend de celle des relations existant entre les données qui composent l'information [65, 35, 30, 106]. Exemple : 15 R12 P14 est l'adresse de Alice à Bamako. Avec ces ajouts, notre donnée de l'exemple précédent est placée dans un contexte qui permet de lui attribuer un sens. Elle peut ainsi avoir la désignation <i>information</i> .
Connaissance	Elle désigne l'interprétation et l'appropriation que font les hommes des informations qui sont à leur disposition. Elle peut être formalisée pour être utilisable à des fins d'automatisation et de pérennisation. Elle doit être vérifiable et elle nourrit l'action [65, 35, 30, 106]. Par exemple, notre information donnée sur l'adresse d'Alice permettra de lui envoyer des colis, de se rendre chez elle, etc.
Raisonnement	De prime abord, le raisonnement définit l'ensemble des mécanismes permettant d'extraire des connaissances implicites, à partir de celles exprimées ouvertement. C'est la manipulation <i>formelle</i> des symboles représentant un ensemble de propositions considérées comme vraies, appelées faits ou prémisses, afin de produire de nouvelles propositions [16]. Cette définition est générique et elle correspond bien aux différents types de raisonnements : les calculs, le filtrage et l'inférence [46]. Nous détaillerons ces raisonnements dans la section 3.3, mais pour le moment gardons que les calculs désignent toute opération telle que l'addition, la soustraction, la division, appliquée à des données pour aboutir à d'autres ; le filtrage désigne les demandes d'informations particulières dans un ensemble d'informations : les requêtes sur les bases de données relationnelles en sont des exemples concrets ; et le raisonnement logique (ou l'inférence) concerne la déduction d'une résultante à partir de prémisses.
Savoir	C'est l'ensemble de connaissances ponctuelles, agrégées continuellement par un ou plusieurs individus afin de développer des compétences [65, 35]. Le savoir-faire désigne le savoir appliqué et ses résultats.

3.1.2/ INGÉNIERIE DES CONNAISSANCES

La gestion des connaissances est axée sur trois principales dimensions décrites comme suit [11, 34, 58, 122, 51, 118] :

- *Le management des connaissances.* Cette dimension, dont l'appellation tend vers la gestion de connaissances, regroupe des tâches qui impliquent directement le haut niveau hiérarchique de l'organisation [30, 34]. Il s'agit pour ses dirigeants d'encourager et d'appuyer le projet de gestion des connaissances, d'établir des stratégies et des politiques d'exploitations (accès, diffusion...) des connaissances en fonction des objectifs fixés, de se procurer et de mettre à disposition les ressources humaines et matérielles nécessaires pour faciliter tout cela.
- ***L'ingénierie des connaissances.*** C'est la dimension composée principalement des tâches d'identification, de collecte, de structuration, de création et de mise à disposition de la connaissance. À l'origine, cette dimension ne s'occupe pas de tout ce qui a trait au partage et à la distribution.
- *Le partage des connaissances.* Cette dimension prend en compte les tâches de partage et de distribution de la connaissance ; de même que les stratégies et les politiques associées à celles-ci, à travers le développement et l'utilisation des technologies et des outils de partage tels que le Web ou autres systèmes communautaires.

À l'origine, les frontières entre ces dimensions étaient facilement identifiables mais avec le développement continu des outils et des technologies utilisés dans la gestion des connaissances, ce n'est plus le cas. Par exemple, l'expansion de l'Internet, la généralisation du Web et l'apparition de communautés virtuelles facilitent l'intégration des tâches de la dimension *partage des connaissances* dans celle de *l'ingénierie*. Et la dimension *management des connaissances* est perpendiculaire aux deux autres.

Nos travaux touchent à ces trois dimensions. Concernant le management des connaissances, nous souhaitons offrir aux des médiévistes (les sachants) la possibilité de décrire un ensemble de connaissances implicites de manière formelle et visuelle. En ce qui concerne l'ingénierie des connaissances, nous proposons un modèle de représentation de ces connaissances médiévales. Ce modèle est étendu par des entités relatives au réseau social médiéval. Enfin, pour ce qui est du partage des connaissances, nous développons une plateforme Web sur laquelle plusieurs sachants peuvent collaborer sur l'annotation d'une même enluminure. Ainsi, ils peuvent partager leur savoir-faire et leurs références sur les connaissances du domaine. Néanmoins, ces travaux mettent plus en exergue les dimensions *ingénierie des connaissances* et *partage des connaissances*, à travers l'utilisation des **modèles de représentation des connaissances**.

3.2/ MODÈLES DE REPRÉSENTATION DE CONNAISSANCES

Les tâches de la dimension *ingénierie des connaissances* nécessitent d'avoir une forme d'existence des connaissances à gérer. Cette forme varie en fonction des objectifs fixés mais elle demeure à chaque tâche de la dimension. Par exemple, au niveau des tâches d'identification, les connaissances découlent des données, des calculs ou d'autres opérations et des processus métiers. En général, les données explicites sont relevées sous forme textuelle sur des documents et les connaissances implicites sont détenues par des individus. Ces dernières ne sont généralement pas rapportées bien qu'elles complètent et consolident les données explicites, d'où l'importance des entretiens avec les acteurs qui les détiennent. Au niveau des tâches de structuration et de création par exemple, les connaissances identifiées prendront une autre forme d'existence comme les schémas,

les dessins, les symboles, etc. Le passage des connaissances d'une forme d'existence à une autre est appelée la **représentation de connaissances**.

Elle est définie comme **une relation entre deux domaines où le premier tient lieu et place du second. Habituellement, le premier domaine appelé le *représentant* est plus concret et accessible facilement, dans une certaine mesure, que le second appelé le *représenté*** [12].

En général, le représentant est un **langage** (au sens large du terme) basé sur des symboles (caractères, schémas, figures...) qui ont des interprétations bien connues et qui conviennent mieux pour les objectifs fixés. Par exemple, le chiffre 7 en décimal et la suite 111 en binaire indique la même valeur numérique mais dans des référentiels différents. Au niveau du traitement du signal la suite binaire est préférée pour l'envoi de l'information 7.

Le passage du domaine représenté vers le représentant se fait selon de procédure réversible avec éventuellement quelques pertes d'informations plus ou moins importantes en fonction des objectifs. Cette procédure est appelée la **modélisation**. Elle consiste à créer une vue d'ensemble sur le domaine représenté en utilisant les symboles du langage du domaine représentant. La résultante de la modélisation est appelée un **modèle**.

En somme, la représentation de connaissances implique trois concepts : le domaine, le modèle et le langage. Une illustration des relations entre ces concepts est donnée dans la figure 3.2.

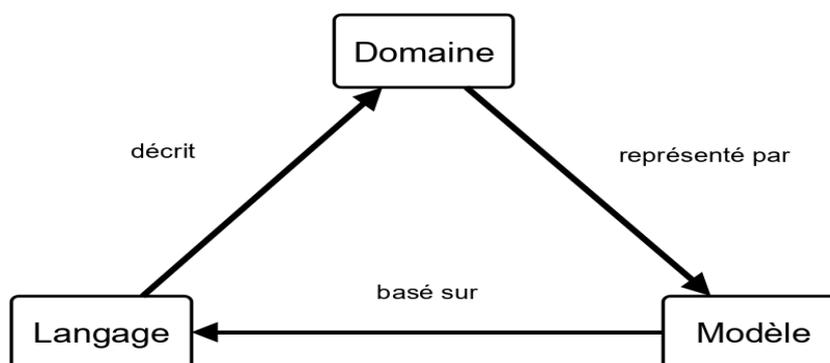


FIGURE 3.2 – Relations entre modèle de représentation, langage de représentation et domaine représenté

Le domaine désigne l'environnement (entreprise, organisation ou autre) à représenter. Il contient les données, les informations et les connaissances à décrire. Les indispensables de ces éléments sont appelés les **abstractions du domaine**.

Le langage définit l'ensemble des symboles (encore appelés lexiques ou caractères) utilisés pour décrire les connaissances du domaine. Plus ces symboles sont diversifiés et combinables, plus le langage est dit expressif, c'est-à-dire riche lexicalement. Dans un

langage, chaque symbole et toute combinaison valide de symboles doivent avoir une interprétation bien connue. Cela permet d'éviter les ambiguïtés dans la compréhension. Si le langage est directement adapté aux traitements automatiques, c'est-à-dire sans l'intermédiaire d'une autre transformation alors il est dit formel. Outre les langages formels, il existe des langages informels comme le langage naturel et des langages intermédiaires ou semi-formels.

Le modèle désigne une structuration logique des abstractions du domaine. Il doit refléter le plus fidèlement possible les réalités fonctionnelles, informationnelles et organisationnelles de l'environnement représenté. Il est basé sur un langage formel, informel ou semi-formel [117, 81].

L'ingénierie des connaissances a pour vocation de fournir une bonne organisation des connaissances et un bon système de traitement de celles-ci afin que les acteurs du domaine concerné puissent les exploiter de manière idoine pour leurs profits. Pour ce faire, ils doivent disposer de systèmes d'informations capables d'accéder au sens (profond) des informations qu'ils gèrent [39]. En fonction des traitements opérationnels envisagés dans le système final et de la richesse du champs lexical du langage de représentation, différents modèles de représentation de connaissances ont été créés. Entre autres, nous distinguons :

3.2.1/ RÉSEAU SÉMANTIQUE

Un réseau sémantique est un graphe orienté et étiqueté qui permet d'organiser les principales abstractions d'un domaine par deux types de relation : *est_un*, *est_inclus*. Dans ce graphe, les noeuds représentent les abstractions sous forme de concepts et un arc désigne une relation entre deux noeuds [60]. Les modèles de cette catégorie sont appropriés pour organiser les concepts explicites, fortement liés avec des relations simples et claires. Ils sont adéquats pour faire des taxonomies dont un exemple connu est WordNet¹ [18, 107]. La figure 3.3 montre un exemple de représentation d'une partie d'un espace de travail, avec le réseau sémantique. Les rectangles représentent les concepts et les flèches sont les relations.

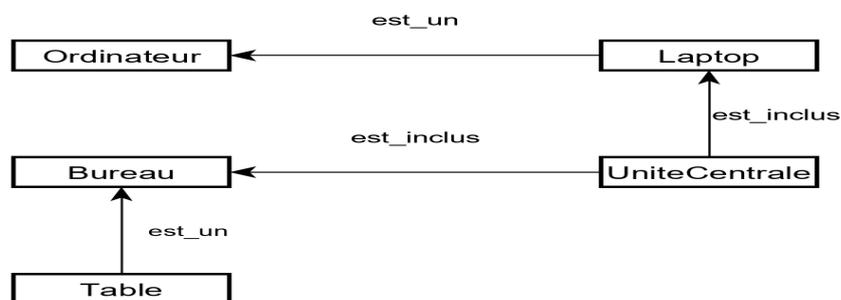


FIGURE 3.3 – Représentation partielle d'un espace de travail avec un réseau sémantique

1. WordNet est une base de données lexicale électronique qui contient des noms, des verbes, les adjectifs et des adverbes en anglais, dans laquelle le sens des mots est représenté d'une manière différente de celle des dictionnaires traditionnels. Elle est conçue sur des théories de représentation de connaissances mentales qui montrent que les gens enregistrent dans leur mémoire, les mots et les concepts qui sont associés de façon hiérarchique [18, 107]. <https://wordnet.princeton.edu/>

L'origine de ce modèle remonte aux années 1969. Elle est attribuée à Quillian et al qui ont "...voulu programmer l'aspect associatif de la mémoire humaine, et reproduire les mécanismes qui nous permettent de comprendre les langues naturelles" [5, 60].

Bien que le réseau sémantique soit un modèle facile à utiliser, il présente des limites évidentes. La pauvreté du champs lexical du langage sur lequel il est basé fait que le modèle lui-même est assez pauvre en relations. Or, ces dernières sont nombreuses et diverses dans la pratique.

3.2.2/ GRAPHE CONCEPTUEL

Le graphe conceptuel est un modèle de représentation de connaissances créé en 1984 par Sowa [10]. Il est fondé sur une logique qui le rend facile pour la compréhension humaine et adéquat pour le traitement automatique [60]. C'est un graphe biparti et orienté, composé de deux types de noeuds : les noeuds conceptuels et les noeuds relationnels. Les premiers représentent les concepts du domaine et les seconds sont les relations qui les structurent. Tout arc allant d'un noeud conceptuel (C) vers un noeud relationnel (R) est complété par d'autres arcs qui vont de (R) vers d'autres concepts, pour exprimer une relation entre ces noeuds conceptuels et relationnels comme dans un langage naturel : d'où sa facilité pour la compréhension humaine. Il est beaucoup utilisé comme interface graphique pour la **logique du premier ordre** (voir la section 3.3.3). Par conséquent, il peut être présenté sous une forme linéaire permettant au besoin de faire des traitements automatiques [29]. La figure 3.4 montre une représentation, à l'aide de graphe conceptuel, de la phrase suivante : *l'ordinateur, composé d'unité centrale et de périphériques, est posé sur la table dans le bureau.* Les noeuds conceptuels sont rectangulaires et les noeuds relationnels sont circulaires.

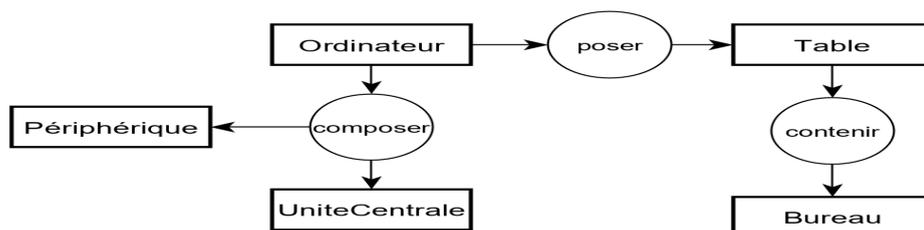


FIGURE 3.4 – Exemple de représentation avec le graphe conceptuel

3.2.3/ MODÈLES STRUCTURELS (OU FRAME OU SCHÉMA)

Contrairement aux modèles présentés ci-dessus, qui représentent les connaissances sous forme propositionnelle, les frames (ou schémas) sont des modèles structurels, qui regroupent les connaissances d'une situation, d'un événement ou d'un objet dans des paquets accessibles en tant qu'unités [60].

L'idée d'empaqueter des connaissances peut être attribuée à Minsky qui, en 1975 a pro-

posé le premier formalisme informatique qui l'utilise. En tant que précurseur, Minsky définit un frame comme une structure de données représentant une situation stéréotypée [7].

Un frame est donc une structure dynamique qui caractérise un objet ou un phénomène dans un environnement donné. Le modèle doit contenir des informations générales valides pour toutes les situations possibles et des informations spécifiques. Certaines informations concernent son utilisation et ses propriétés caractéristiques, d'autres portent sur ce qui est attendu dans le fonctionnement normal de l'objet ou le phénomène décrit ou encore sur ce qu'il faut faire si ces attentes ne sont pas comblées [7]. Plus concrètement, un frame est composé d'un ensemble de propriétés qui décrivent les abstractions du domaine ou de la situation représentée. Ces propriétés contiennent des facettes qui représentent les valeurs possibles qu'elles peuvent prendre. Ces facettes sont de deux formes : déclaratives et procédurales. Les premières associent des valeurs aux attributs, alors que les secondes décrivent les procédures appelées réflexes. Ces dernières sont activées lors des accès aux valeurs des attributs [60]. Pour leur organisation, une relation hiérarchique structure les paquets. À cette relation de spécialisation, s'ajoute la relation d'instanciation qui relie un élément particulier à sa catégorie d'appartenance. Dans sa forme classique, un frame représente un concept du domaine décrit. Les différentes relations entre les frames sont appelées slots [16].

Des exemples concrets de modèles de la catégorie des frames sont UML (Unifying Model Language) [41, 54] ou Merise avec le MCD (Modèle Conceptuel de Données) [43, 54]. La figure 3.5 montre un exemple de représentation, en utilisant le modèle UML, de la situation suivante : *l'ordinateur, composé de d'unité centrale et de périphériques, est posé sur la table dans le bureau.*

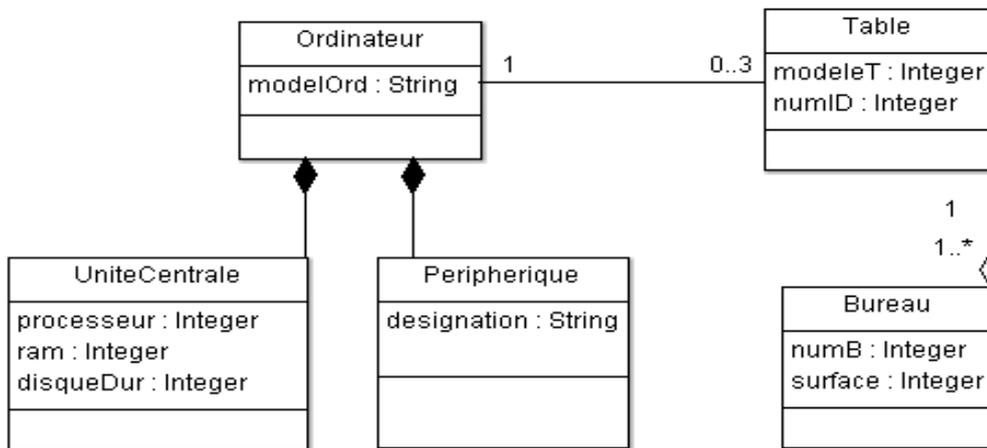


FIGURE 3.5 – Une exemple de représentation avec un modèle de type frame (UML).

À l'instar des réseaux sémantiques et des graphes conceptuels, les frames sont des modèles semi-formels. Ils se basent sur d'autres modèles appelés méta-modèles, construits en amont, pour représenter les connaissances d'un environnement.

3.2.4/ MODÈLES LOGIQUES

Le manque de formalisme dans les modèles précédents et le besoin de modèle formel, notamment dans les **systèmes à base de connaissances**, SBC (voir la section 3.3), ont motivé la création d'un système de modélisation basé sur un langage formel. Un premier

exemple de tels modèles est le **KL-One** qui a été créé vers 1985 par Brachman et al [15]. C'est un modèle à mi-chemin entre les schémas (frames) et le réseau sémantique, dans la mesure où il utilise les notions de concept, de relation et la même logique de structuration. L'idée est de décrire les concepts du domaines et leurs relations sous forme déclarative dans une partie de la logique du premier ordre (First Order Logic, **FOL**). Cette partie est appelée la logique de description (Description Logic, **DL** en Anglais). Dans ce langage formel, les concepts sont représentés par des prédicats unaires et les relations (aussi appelées rôles) par des prédicats binaires [15, 16]. KL-One a suscité beaucoup d'engouements grâce à l'apport de formalisme de son langage de base (les DL), à la richesse lexicale de celui-ci et à l'**inférence** qu'il permet dans les systèmes à base de connaissances. Il a subi beaucoup d'évolutions et a abouti aux modèles utilisés dans le cadre de nos travaux : les ontologies, que nous détaillerons dans la section 3.3.

3.3/ ONTOLOGIES

L'utilisation des ontologies dans la représentation des connaissances et dans la réalisation de systèmes de gestion des connaissances n'est pas une pratique inédite. Par conséquent de nombreux travaux détaillent les généralités des ontologies [21, 44, 126], les démarches de construction [26, 46, 60] d'une bonne ontologie et ses applications [46, 126]. Étant donné que nous ne proposons pas de nouvelle méthodologie de construction, ni de nouveau type d'ontologie, nos passages sur ces fondamentaux sont brefs. L'idée est de présenter aux lecteurs les principaux concepts.

L'origine du terme ontologie remonte à la métaphysique d'Aristote qui le définit comme la science de l'existant : *what exists is what which can be represented* [21], traduisible en français par "*ce qui existe est ce qui est représentable*".

Le terme est apparu en informatique vers les années 1980, principalement en ingénierie des connaissances et en **Intelligence Artificielle (IA)**, dans l'idée de rendre la réalisation des **systèmes à base de connaissances** plus rapide et efficiente grâce à la réutilisation de composantes génériques [46].

Systèmes à base de connaissances, SBC. Un SBC est un système qui s'appuie sur un ensemble de connaissances pour résoudre des problèmes bien précis dans un domaine [64]. Sa mise en oeuvre nécessite des formalismes de représentation de ces connaissances et un mécanisme de raisonnement appliqué à celles-ci. Il est orienté problème et IL est spécialisé pour une expertise et une pratique données. Les connaissances qui sont le support principal de tels systèmes sont classées en deux catégories (ou Box en Anglais) : les connaissances terminologiques ou conceptuelles et les connaissances factuelles. Dans un SBC, les premières constituent ce qui est appelé : la boîte terminologique (Terminological Box, T-Box) et les secondes - la boîte assertionnelle (Assertionnal Box, A-Box) [64, 40].

La T-Box inclut l'ensemble des concepts réels ou imaginaires qui sont importants et qui régissent le fonctionnement du domaine. En considérant l'environnement des enluminures médiévales, quelques concepts de la T-Box sont *les personnes, les activités, les évènements, les animaux*, etc. Ces concepts sont caractérisés par des propriétés descriptives (ou attributs) et sont corrélés par des relations. Par exemple, quelques propriétés génériques du concept `Personne` sont *le nom, le prénom, la date de naissance, les surnoms...* Dans le même environnement, quelques relations entre les concepts cités sont : *des*

personnes (participant) à des évènements (composés) d'activités. Participer et composer représentent les relations.

Les concepts de la T-Box admettent des objets qui ont une existence réelle ou imaginaire dans le domaine et qui ont des valeurs pour les différentes propriétés caractéristiques. Ces objets composent la A-Box et ils respectent les relations existantes entre les concepts de la T-Box. Par exemple, un objet appartenant au concept *Personne* peut être *person1* caractérisé par prénom "Charles", surnom "Le Téméraire", date de naissance "01 Janvier 1439", etc..

Des mécanismes de raisonnement tels que le chaînage avant ou la déduction, le chaînage arrière ou l'induction [12, 16], sont appliqués aux T-Box et A-Box pour permettre au SBC de faire de l'inférence et de fournir des explications à des problèmes pour la résolution desquels il est réalisé. À travers ses résultats en sortie, un SBC peut interagir avec d'autres programmes ou systèmes. La figure 3.6 illustre une architecture générique d'un SBC.

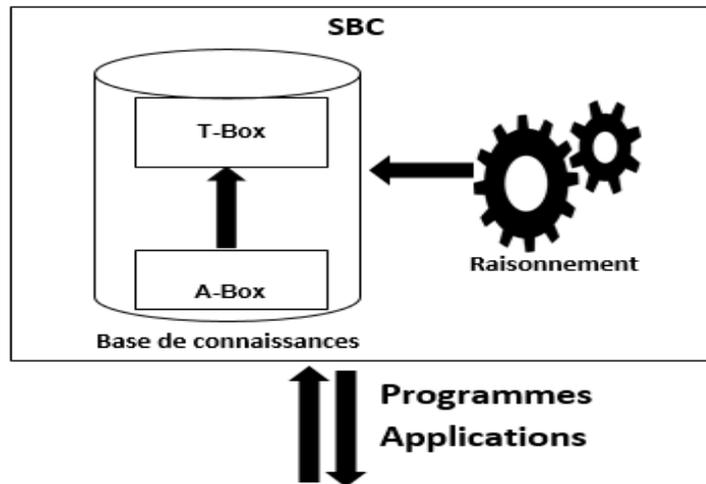


FIGURE 3.6 – Architecture générique d'un SBC. (Inspiré de [144])

Intelligence Artificielle, IA. L'IA est définie comme une étude du comportement intelligent effectué par des systèmes informatiques [12]. La représentation des connaissances et le raisonnement sont des pièces maîtresses d'une telle étude. Elles sont au coeur de l'exploitation des connaissances par un agent informatique (système logiciel ou autre) dans la décision de ses actions [12]. L'avènement de l'IA remonte aux années 1950 et découle d'une hypothèse émise, par Alan Turing et al, à la suite des travaux sur la logique mathématique. Cette hypothèse affirme qu'il est possible d'automatiser des raisonnements de l'humain à l'aide d'algorithmes fondés sur un ensemble de règles logiques appliquées à des structures symboliques [40]. À cause de la complexité et la diversité des contours de ces raisonnements, les systèmes formels de l'époque ont rapidement montré leurs limites. Ainsi, la nécessité de restreindre le raisonnement à un champ d'application bien délimité et de le reposer sur des connaissances bien décrites grâce à des symboles est apparue très tôt en IA [40]. Cette première **approche symbolique de l'IA** a donné naissance aux systèmes à bases de connaissances [12]. Elle est utilisée dans l'explication des phénomènes et des problèmes, l'annotation de documents, la description et l'indexation d'information, les systèmes experts, les systèmes de diagnostic de

pannes, etc [138].

En parallèle au développement de l'approche symbolique, une autre approche de l'IA a vu le jour. Elle est appelée **approche connexionniste** et elle s'inspire du fonctionnement du cortex cérébral de l'humain. L'entité de base est une représentation appelée le *neurone formel* et proposée par McCulloch et Pitts en 1943 [40]. Il s'agit d'une modélisation du fonctionnement rudimentaire des neurones cérébraux, dans laquelle l'accumulation des activités synaptiques est assurée par une simple sommation pondérée. L'interconnexion d'un ensemble de telles entités fournit un système connexionniste neuromimétique, appelé aussi réseau neuronal [40]. La principale force de l'approche connexionniste réside dans la capacité qu'a le réseau d'apprendre à partir d'exemples. Cette approche est appliquée dans : la lecture optique de textes, le diagnostic de pannes, le contrôle qualité, le réglage de procédés industriels, les estimations boursières, la prévision du temps en météorologie, etc [138].

Nos travaux se situent au carrefour de l'approche symbolique et de l'approche connexionniste de l'IA. Dans un premier temps, nous décrivons les connaissances de notre domaine d'intérêt avec un modèle logique dans une perspective d'annotation des enluminures afin de mettre en exergue leur signification. Ensuite, un processus de reconnaissance d'objets basé sur des mécanismes de l'approche connexionniste est développé dans notre système final (voir le chapitre 5).

3.3.1/ DÉFINITIONS ET COMPOSANTES DES ONTOLOGIES

Le terme ontologie admet beaucoup de définitions dans la littérature, parce qu'elle est applicable à de nombreuses disciplines telles que la philosophie, les sciences de l'information, la linguistique, l'ingénierie des connaissances, l'intelligence artificielle, etc.

Dans ce contexte de l'IA, Neeches et al proposent l'une des premières définitions de l'ontologie en 1991 : une ontologie définit les termes et les relations de base du vocabulaire d'un domaine ainsi que les règles qui indiquent comment combiner ceux-ci de façon à pouvoir étendre le vocabulaire [19]. Au vu de l'objectif fondamental de l'IA, qui est l'étude du comportement intelligent des systèmes informatiques, cette définition correspond au souhait de collecter et d'organiser le plus de connaissances possibles dans le domaine. Cette collecte ne se fait pas sans redondance ou sans ambiguïté dans les termes. Ces incorrections doivent être traitées au moyen d'expertise métier et de consensus.

C'est ainsi que Gruber la définit en 1995 comme un consensus sur une conceptualisation partagée et éventuellement partielle [26].

La communauté scientifique informatique est d'accord sur les termes de cette définition d'une ontologie. *Consensus* exprime un accord entre les utilisateurs sur la signification des éléments hétérogènes du domaine représenté. *Conceptualisation partagée* signifie que les concepts utilisés pour représenter les connaissances du domaine sont compréhensibles par l'ensemble des utilisateurs de l'ontologie. *Éventuellement partielle* stipule qu'une ontologie ne représente qu'une partie du domaine, parce que la représentation de celui-ci dans son intégralité peut souvent engendrer plus de difficulté dans le partage et dans la communication entre les utilisateurs que de facilité. Il s'agit donc de représenter une partie sur laquelle les acteurs adoptent un consensus.

L'idée de faire comprendre le sens des symboles de la conceptualisation, aux systèmes informatiques, a considérablement fait évoluer la définition de l'ontologie en y introduisant

la notion de formalisation. C'est ainsi que Studer et al considèrent une ontologie comme : **une spécification explicite et formelle d'une conceptualisation partagée** [37].

Cette définition, complémentaire avec la précédente, est l'une des plus adoptées dans la communauté des utilisateurs des ontologies. Sa compréhension requiert une explication de ses expressions principales. *Spécification explicite* désigne la mise en exergue des concepts utilisés et des contraintes liées à leurs utilisations. *Spécification formelle* exprime le fait que l'ontologie doit être lisible par une machine, ce qui exclut l'utilisation du langage naturel et privilégie celle des langages formels. *Conceptualisation* exprime que le modèle final représente l'artefact d'une partie du domaine d'intérêt, par l'identification et la caractérisation de ses concepts clés. *Partagée* stipule que l'ontologie n'est pas la propriété d'un individu mais représente un consensus accepté par la communauté des utilisateurs.

Bien que ce soit cette dernière définition que nous considérerons dans nos travaux, nous comprenons une ontologie comme un ensemble d'objets reconnus et organisés dans un domaine. À ce titre, construire une ontologie pour un domaine revient à décider de la manière d'être et d'exister de ses objets. Ceux-ci sont appelés les **termes de l'ontologie** et ils se présentent sous quatre types fondamentaux qui sont :

1. *les classes*. Aussi appelées concepts de l'ontologie, elles correspondent aux abstractions pertinentes du domaine, retenues en fonction des objectifs et des applications envisagés pour l'ontologie. Ces abstractions ont une existence propre ou imaginaire dans ledit domaine et elles peuvent être tangibles ou non. En restant fidèle à notre domaine d'intérêt, les enluminures du duc de Bourgogne, quelques exemples de classe sont `Personne`, `Vêtement`, `Statut Social`, etc. Par convention, le nom d'une classe commence par une lettre majuscule ;
2. *les relations*. Elles traduisent les associations pertinentes existant entre les classes du domaine. Il existe différents types de relations à savoir :
 - *la généralisation/spécialisation*. Elle désigne la relation d'héritage entre deux classes. La classe héritée est appelée super-classe et la classe héritière est la sous-classe ;
 - *les relations sémantiques*. Elles sont les relations d'équivalence, de synonymie, de méronymie comme `inclus dans`, `partie de`, `composé de...`, d'antonymie et la complémentarité ;
 - *la relation d'instance*. Chaque classe est composée d'un ensemble d'objets plus concrets appelés instances. La relation d'instance indique l'appartenance de ces objets à leur classe ;
 - *a relation d'association générale*. Elle désigne tout autre relation associant deux classes, d'où l'appellation relation associative.

Chaque relation part d'une classe appelée *domaine de la relation* (domain en anglais) et arrive à une classe ou une valeur appelée *la portée de la relation* (range en anglais).

Dans notre domaine d'intérêt, quelques exemples de relations sont : `est_une` (`Duc est_une Personne`) pour désigner l'héritage entre la classe `Duc` qui est son domaine et la classe `Personne` qui est sa portée, `dessinerPar` (`Livre dessiner par Enlumineur`) est une relation associative entre la classe `Livre` et la classe `Enlumineur`. Plus d'exemples de relations sémantiques sont donnés dans notre modèle (voir la section 3.5) ;

3. *les instances*. Elles constituent la définition extensionnelle de l'ontologie. Ce sont les objets qui expriment les connaissances statiques, factuelles du domaine d'intérêt. Chaque objet appartient à une classe. Des exemples d'instance de la classe `Personne` dans notre domaine sont `Philippe le Bon`, `Charles le Téméraire`, `Nicolas Rollin`;
4. *les axiomes*. Ils désignent les propositions jugées valides sur les abstractions du domaine représenté par l'ontologie. Certains de ces axiomes, appelées règles, sont définies à partir d'autres. C'est à travers les règles que le mécanisme de raisonnement logique appelé **l'inférence** est opéré [46]. D'autres types de raisonnement existent tels que le filtrage et les calculs. Dans nos travaux, nous utiliserons l'inférence et le filtrage.

Une description plus détaillée de ces composantes peut être trouvées dans [21, 44, 126]. Il est important de savoir que toute ontologie ne contient pas exhaustivement chacune de ces composantes. Celles-ci permettent de définir, en fonction de différents critères, le type de l'ontologie qu'elles constituent.

3.3.2/ TYPOLOGIE DES ONTOLOGIES

Un critère de classification est la nature de l'environnement à représenter par l'ontologie et donc la nature des composantes. Suivant ce critère, il existe les ontologies de haut niveau, les ontologies de domaine, les ontologies de tâches et les ontologies d'applications [36, 44].

- *Les ontologies de haut niveau (ou Top Level ontologies en anglais)*. Elles expriment des concepts indépendants de tout environnement quelconque. Elles décrivent des phénomènes et des situations très généraux comme l'espace, le temps, la matière, les objets, les événements, les actions, etc. Les concepts de ces ontologies ne dépendent pas d'un problème ou d'un domaine particulier et doivent être partagés par de grandes communautés d'utilisateurs. Des exemples de telles ontologies sont `EVENT`, `TIME`, `GEO`, etc (voir la table 3.7).
- *Les ontologies de domaine (domain ontologies)*. Elles représentent l'artefact d'un domaine générique en décrivant ses concepts et ses relations générales. Les ontologies qui entrent dans cette catégorie sont les plus nombreuses, celle que nous construirons dans nos travaux ne fait pas l'exception. Très souvent, ces ontologies réutilisent celles de haut niveau en spécialisant leurs termes. Un exemple d'une telle ontologie est celle qui décrit un environnement universitaire composé de : professeurs, cours, bâtiments, étudiants, etc.
- *Les ontologies de tâches (tasks ontologies)*. Elles fournissent un vocabulaire de termes décrivant les tâches ou les activités principales d'un environnement. Ces ontologies spécialisent également des termes génériques de certaines ontologies de haut niveau. Un exemple d'ontologie de tâches est celle qui représente les activités de notre environnement universitaire. Ces activités sont entre autres la gestion du patrimoine matériel, des étudiants, des emplois du temps, etc.
- *Les ontologies d'applications (applications ontologies)*. C'est le type d'ontologie le plus spécifique. Ces ontologies contiennent des concepts dépendants des domaines et des tâches pris en compte dans une application particulière. Toujours dans l'environnement universitaire, une ontologie d'application est celle décrivant le processus d'inscription et de réinscription des étudiants.

Un autre critère de classification d'une ontologie est son niveau d'expressivité qui définit la facilité et l'exactitude avec lesquelles les termes de l'ontologie permettent de représenter les détails du domaine d'intérêt. Le niveau d'expressivité d'un modèle concerne et dépend des symboles du langage utilisé dans sa construction. En fonction de ce critère, les ontologies sont classées en deux grandes catégories : les ontologies légères et les ontologies complètes [42].

Les ontologies légères désignent les vocabulaires terminologiques, les taxonomies et les thésaurus. Un vocabulaire terminologique est un ensemble de termes spécifiques à une science, à un art ou à un domaine. Une taxonomie désigne un ensemble de termes normalisés et organisés par une structuration hiérarchique. Un thésaurus est une taxonomie augmentée des relations associatives [46]. Des exemples d'ontologies légères sont WordNet (voir la section 3.2.1), AGROVOC² [119]. Les ontologies de cette catégorie sont composées de classes, de relations de généralisation/spécialisation, de celles méronymiques et d'autres associatives. Elles sont généralement utilisées pour des besoins de partage du même vocabulaire et de facilitation de communication.

Les ontologies complètes sont plus expressives et utilisent pour ce faire tous les types de composantes évoquées dans la section 3.3.1.

Cependant, plus l'expressivité est grande dans une ontologie, plus elle devient lourde en terme de temps de traitement et elle peut ainsi devenir indécidable. La décidabilité est la possibilité d'aboutir à un résultat, après un calcul quelconque, en un temps fini. L'indécidabilité est l'impossibilité d'avoir ce résultat en un temps fini.

L'idéal serait ainsi de trouver un compromis entre l'expressivité de l'ontologie et sa décidabilité. Cette dernière ne dépend pas seulement des composantes de l'ontologie mais aussi du langage sur lequel elle est basée. Dans nos travaux, ce langage est une partie de la logique du premier ordre ; appelée **les logiques de description**.

3.3.3/ LES LOGIQUES DE DESCRIPTION

Aussi appelées logiques descriptives, les logiques de description (Description Logics en anglais, DL) sont une famille des langages logiques qui permet de représenter, de manière descriptive, formelle, structurée et décidable, l'artefact d'un domaine d'intérêt [57, 144]. Ce langage est *descriptif* parce qu'il représente les connaissances sous forme de propositions logiques jugées valides dans le domaine. Il est dit *formel* et *structuré* car chacune des propositions admet une interprétation claire et précise qui permet d'éviter toute ambiguïté sémantique. En outre, les propositions logiques sont combinables les unes aux autres afin d'assurer une bonne organisation des connaissances. Le modèle résultant est adéquat pour la compréhension humaine mais aussi pour les traitements automatiques en un temps fini.

Le nom *logiques de description* se rapporte d'une part, à la description des entités du domaine et de l'autre, à la sémantique basée sur la logique des *prédicats* (ou logique du premier ordre, LPO) [57]. Celle-ci utilise des prédicats (aussi appelés propositions avec variables) contrairement à la logique des propositions (LP) qui est basé sur des constantes [145].

La LPO dans son ensemble est très expressive. Elle permet de représenter presque

2. C'est un thésaurus développé pour le domaine agricole. Accessible au <http://aims.fao.org/fr/standards/agrovoc>, sa première version a été créée en janvier 1980 et il est en constante évolution

tout ce que l'imagination peut concevoir mais dans les traitements automatiques sa complexité³ augmente très rapidement et elle devient indécidable à un moment [144]. Ce qui est inadéquate dans un système informatique.

Pour surmonter ce problème causé par d'indécidabilité de la LPO, recours est fait aux logiques de description (DL) qui restent suffisamment expressives pour une représentation satisfaisante. Les DL font le compromis entre l'expressivité et la décidabilité du modèle final. À ce titre, elles sont considérées comme un fragment décidable de la LPO [96]. Ce fragment est composé de plusieurs variantes et admet également beaucoup de systèmes implémentés tels que TERMINAL, OntoEdit, Protégé 2000, qui sont des éditeurs d'ontologies.

TERMINAL extrait les termes de l'ontologie à construire à partir d'un corpus textuel grâce à un outil d'ingénierie linguistique dénommé LEXTER.

OntoEdit permet d'organiser les concepts avec les différents types de relations évoquées dans la section 3.3.1. Il admet un serveur pour une construction collaborative des ontologies, des outils de formalisation d'axiomes et de vérification de la cohérence dans l'organisation des concepts.

Protégé privilégie la réutilisation d'ontologies déjà existantes. C'est un éditeur très modulaire et il admet par conséquent beaucoup de bibliothèques (plug-ins) pour la visualisation graphique et textuelle, pour l'exploration, pour la formulation des règles d'inférences et pour l'interrogation avec SPARQL. À l'instar d'OntoEdit, Protégé implémente les principes des logiques de description dans une interface graphique conviviale afin de faciliter la construction d'ontologie. Par contre, il est gratuit. En outre, l'un des grands avantages de Protégé est sa capacité de générer le code de l'ontologie construite, dans des langages tels que OWL, XML/RDF. La section 3.3.5 donne plus de détails sur ces langages. C'est en raison de ces vertus que nous avons choisi d'utiliser Protégé comme éditeur dans la construction de notre ontologie.

Les principes des DL pour la représentation des connaissances, sont basés sur trois éléments fondamentaux :

- *les concepts ou les prédicats d'arité un*. Aussi appelés prédicats unaires, ce sont des prédicats qui ne prennent qu'une seule variable, d'où l'arité un. Ils correspondent aux classes dans une ontologie ;
- *les rôles ou prédicats d'arité deux*. Aussi appelés prédicats binaires, ce sont les prédicats à deux variables et ils correspondent aux relations dans une ontologie ;
- *les individus*. Ils sont les constantes ou les faits reconnus dans le domaine. Ils correspondent aux instances dans une ontologie.

Dans notre domaine d'intérêt constitué principalement par des enluminures du duc de Bourgogne, des exemples de représentation en DL sont dans la table 3.2.

Comme tout langage, les DL s'appuient sur des symboles et des caractères appelés les *constructeurs* [144], sur une syntaxe et sur une sémantique. Les constructeurs constituent l'alphabet du langage. La syntaxe indique la manière correcte de combiner les symboles afin de construire *des formules*. Celles-ci sont des combinaisons valides de constructeurs. Et la sémantique associe une interprétation à chaque constructeur et à chaque formule. Concrètement, il s'agit de trouver dans le domaine représenté un mo-

3. La complexité définit le temps que met un agent informatique (une machine réelle ou abstraite, une méthode, un modèle...) pour trouver une solution à un problème posé.

TABLE 3.2 – Exemples de représentation en logiques de description.

Concept	Rôle	Individu
Personne, ObjetTangible, Evenement, Animal...	tenir : (Personne, ObjetTangible), participer : (Personne, Evenement)	Personne(Philippe, Charles, Wauquelin), ObjetTangible(Bâton, Livre, Arme), Animal(Chien, Licorne)

dèle qui satisfait⁴ les constructeurs [96]. La table 3.3 décrit ces constructeurs avec leur syntaxe et leur sémantique.

TABLE 3.3 – Constructeurs des logiques de description, leur syntaxe et leur sémantique.
source : [144]

Sigle	Appellation	Syntaxe	Sémantique
AL	Concept	C	C^I
AL	Top	\top	Δ^I
AL	Bottom	\perp	Φ
AL	Conjonction de concepts	$C_1 \sqcap C_2$	$C_1^I \cap C_2^I$
C	Négation de concept	$\neg C$	$\Delta^I \setminus C^I$
U	Disjonction de concepts	$C_1 \sqcup C_2$	$C_1^I \cup C_2^I$
AL	Rôle (relation ou formule)	r	r^I
AL	Quantificateur universel	$\forall r.C$	$d_1 \in \Delta^I \forall d_2 \in \Delta^I. (r^I(d_1, d_2) \rightarrow d_2 \in C^I)$
E	Quantificateur existentiel typé	$\exists r.C$	$d_1 \in \Delta^I \exists d_2 \in \Delta^I. (r^I(d_1, d_2) \cap d_2 \in C^I)$
Q	Restriction de cardinalité sur des concepts	$(\geq n r), (\leq n r)$	$d_1 \in \Delta^I d_2 (r^I(d_1, d_2), d_2 \in C^I) \geq n (\leq n)$
O	Instances d'un concept	$C\{c_1, c_2, \dots, c_i\}$	$d \in \Delta^I d = c_i^I, \text{ pour tout } c_i$
H	Hiérarchie de rôles	$C_1 \subseteq C_2 (r_1 \subseteq r_2)$	$C_1^I \subseteq C_2^I (r_1^I \subseteq r_2^I)$
I	Inversion de relation	$r^{-1}. \top$	$(d_1, d_2) \in \Delta^I \times \Delta^I r^I(d_2, d_1)$
R	Conjonction de rôles	$r_1 \sqcap r_2$	$r_1^I \cap r_2^I$
B	Rôle filé (un rôle appliqué à une instance)	$\exists r\{c\}$	$d \in \Delta^I r^I(d, c^I)$
N	Restriction de cardinalité sur des relations	$(\geq n r.C), (\leq n r.C)$	$d_1 \in \Delta^I d_2 (r^I(d_1, d_2)) \geq n (\leq n)$
R+	Transitivité de rôles	r^+	Plus petite relation transitive contenant r^I

Les concepts, les rôles et les individus peuvent être combinés avec des opérateurs (ou connecteurs) pour construire des formules logiques spéciales appelées **axiomes**. En DL, un axiome est une combinaison de constructeurs qui permet de créer d'autres concepts et/ou de contraindre leur définition. Tout axiome s'appuie sur des concepts, des rôles et des individus déjà définis. En outre, les axiomes permettent l'organisation des connaissances grâce à la définition des relations hiérarchiques et d'équivalence entre

4. La satisfiabilité désigne la possibilité de trouver, au moins, un fait qui vérifie une formule logique (un concept, une relation ou un axiome).

des concepts ou des rôles. La table 3.4 décrit les axiomes de base des DL avec leur syntaxe et leur sémantique.

TABLE 3.4 – Axiomes de base des logiques de descriptions.
source : [144]

Syntaxe	Appellation	Sémantique
$C \subseteq D$	Hiérarchie entre concepts (C est un sous-concept de D)	$\forall x, C(x) \rightarrow D(x)$
$C \equiv D$	Équivalence de concepts	$\forall x, C(x) \rightarrow D(x) \wedge D(x) \rightarrow C(x)$
$r \subseteq s$	Hiérarchie entre relations (r est une sous-relation de s)	$\forall x, y, r(x, y) \rightarrow s(x, y)$
$r \subseteq s$	Équivalence de relations (r est une sous-relation de s)	$\forall x, y, r(x, y) \rightarrow s(x, y) \wedge s(x, y) \rightarrow r(x, y)$
$C(a)$	Assertion (instance) d'un concept	$\exists a a \in C^I$
$r(a, b)$	Assertion de rôle	$\exists a, b r^I(a, b)$

Pour le cas particulier des DL, une interprétation I est définie comme suit [96] :

$$I = (\Delta^I, \cdot^I)$$

Δ^I est le domaine (un ensemble non vide) d'interprétation et \cdot^I est la fonction d'interprétation qui, pour chaque :

- Concept (classe) $C \rightarrow$ Sous-ensemble C^I de Δ^I ;
- Rôle (relation ou formule) $r \rightarrow$ relation binaire r^I sur $\Delta^I \times \Delta^I$;
- Individu (instance) $a \rightarrow a^I \in \Delta^I$.

C^I est l'ensemble des individus du concept C dans l'interprétation I . Ainsi, écrire $x \in C^I$ est équivalent à $C(x)$. De même, $(x, y) \in r^I$ est équivalent à $r(x, y)$. La sémantique associée à chaque constructeur des DL est donnée dans la table 3.3. Et quelques exemples d'axiomes tirés des connaissances de notre domaine d'intérêt sont présentés dans la table 3.5.

TABLE 3.5 – Exemples d'axiomes extraits de nos enluminures et représentés en logiques de description

Axiome en langage naturel	Axiome en DL
Duc, Chevalier, Enlumineur sont des personnes	$Personne \subseteq \top, Duc \subseteq Personne, Chevalier \subseteq Personne, Enlumineur \subseteq Personne.$
Le Duc est entouré par des chevaliers et des conseillers	$Duc \subseteq entourer.Chevalier \sqcap entourer.Consseiller$
L'enlumineur tient le livre	$Enlumineur \subseteq tenir.Livre$
L'enlumineur est agenouillé devant le Duc	$Enlumineur \subseteq agenouiller.(etreDevant.Duc)$
Un enlumineur est une personne qui a peint au moins un livre	$Enlumineur \equiv Personne \sqcap peintre._{\geq}Livres$
Un félon est une personne habillé en vert	$Felon \equiv Personne \sqcap habiller.(vert.Habit)$

En fonction des constructeurs utilisés, différentes variantes des DL existent. Le nom de chacune est composé d'une combinaison des sigles des constructeurs qu'elle utilise. La

figure 3.7 présente ces variantes par ordre croissant de leur niveau d'expressivité. Pour plus de détails sur ces variantes, le lecteur peut consulter [144, 96, 57].



FIGURE 3.7 – Variantes des logiques de description.

Le niveau d'expressivité atteint par le modèle que nous proposons dans nos travaux est équivalent celui de la variante SHOIN(D) constituée des constructeurs S, H, O, I, N, et D. S correspond aux constructeurs ALC et R+. D représente les données.

3.3.4/ CHOIX DES ONTOLOGIES POUR REPRÉSENTER LES ENLUMINURES MÉDIÉVALES

Les usages faites d'une ontologie dépendent de son type, donc de l'environnement représenté. Par exemple, une ontologie de haut niveau n'a pas, a priori, les mêmes qu'une ontologie d'application. Une explication simple de ce fait réside dans le niveau de détail des concepts qui composent ces ontologies. Cependant, il existent des usages communs à toute ontologie de domaine. Ils sont décrits ci-après :

- *la représentation de connaissances d'un domaine.* L'ontologie recense les éléments existants d'un domaine et les définit par leurs propriétés essentielles. Cette spécification est une utilité en soi. Elle est la raison de l'adoption massive des ontologies comme modèle de représentation de connaissances dans la réalisation de SBC [46, 48] ;
- *la réutilisation, le partage et la communication.* Les ontologies permettent de réduire leur temps de conception en offrant la capacité de réutiliser de manière ad hoc des morceaux d'ontologies existantes [46]. Cette caractéristique est reconnue dans de nombreux travaux [21, 46, 48] comme l'une des raisons de la popularité des ontologies dans la mise en place des bases de connaissances. Cet attrait s'est développé avec le développement, au début des années 2000, du **Web sémantique** et du **Web de données ouvertes (ou Linked Open Data, LOD)** qui sont les principaux projets pourvoyeurs d'ontologies et de normalisation de technologies recommandées dans leur construction. Quelques exemples de ces technologies sont les langages RDF, RDFS, OWL, SPARQL, SWRL (voir la section 3.3.5 pour plus de détails). Ces normalisations facilitent le partage et la réutilisation d'ontologies sur le plan technique mais aussi dans la communication entre les acteurs qui, désormais, auront à leur disposition un référentiel des termes utilisés ;
- *l'interopérabilité et l'intégration.* Une forme spéciale de la communication est l'interopérabilité. Elle permet à des agents logiciels ou humains d'échanger des objets, de les réutiliser ou de spécifier d'autres objets. En tant que référentiel terminologique d'un domaine, une ontologie peut ainsi être utilisée pour homogénéiser

la représentation de la sémantique des objets d'un autre domaine, dans le cadre d'une interopérabilité sémantique [44]. En outre, l'interopérabilité permet de combiner différents jeux de données issus et utilisés dans des contextes différents. Ce processus est appelé *l'intégration ou la fusion de données*. Il est au coeur du Web des données ouvertes (LOD) [72] ;

- *le raisonnement*. Grâce à la formalisation des logiques de description, une ontologie facilite grandement le raisonnement logique, aussi appelé l'inférence, dans les SBC ou autres systèmes d'informations dans lesquels elle est utilisée [46, 36] ;
- *l'annotation, l'indexation et la recherche d'information*. Avec les avancées du Web en général, à travers les réseaux sociaux par exemple, et du Web sémantique en particulier, la manière de rechercher l'information a évolué. Le graphe sémantique, généré par une recherche sur des moteurs comme Google ou Bing, fournit un ensemble d'informations connexes au sujet spécifique recherché. Ce phénomène est basé sur une description du contenu des documents ou des pages Web en y spécifiant des mots clés appelés indexes [52]. Ceux-ci seront utilisés pour faciliter la recherche desdits documents. Ce processus de description du contenu des documents est appelé *l'annotation*. L'utilisation d'une ontologie, en tant que référentiel de termes, est une tendance dans l'annotation d'images sur les réseaux sociaux numériques ou dans la numérisation des collections patrimoniales. L'un de nos objectifs dans ces travaux de thèse s'inscrit dans ce dernier cas.

Tous ces usages constituent des motifs favorisant le choix des ontologies comme modèle de représentation. Ces motifs sont renforcés dans ces travaux de thèse par nos propres besoins sur le plan informatique et sur celui de l'analyse des documents patrimoniaux. Ces besoins sont les suivants :

- *la réduction de l'hétérogénéité sémantique des concepts de notre domaine d'intérêt*. Ce domaine est constitué des terminologies des enluminures médiévales, des réseaux sociaux et de l'influence sociale ;
- *l'extensibilité du modèle*. A priori, le modèle représente les enluminures du duc, Philippe le Bon. Ce besoin vise à pouvoir représenter d'autres enluminures, voire d'autres images dans le modèle final ;
- *la nécessité de disposer d'un modèle formel*. Il s'agit d'avoir un modèle expressif et décidable permettant de formaliser le savoir-faire des médiévistes sur les enluminures. Cette formalisation doit être propice à la compréhension humaine et aux traitements automatiques.

Au regard de leurs vertus, les ontologies sont des modèles adéquats pour satisfaire ces besoins : d'où leur choix dans ces travaux de thèse. Pour atteindre la plénitude de ces vertus, la construction de ces modèles logiques suit une démarche rigoureuse.

3.3.5/ CONSTRUCTION D'UNE ONTOLOGIE ET TECHNOLOGIES UTILISÉES

Une ontologie formelle a inévitablement une nature interdisciplinaire. Elle est basée sur la logique, la philosophie, la cognition et la linguistique [27]. De ce fait, sa construction passe forcément par des aspects impliquant ces disciplines.

- L'aspect linguistique concerne le choix de la nomenclature des objets pertinents du domaine d'intérêt.

- Les aspects philosophiques et conceptuels se rapportent aux relations structurelles et conceptuelles entre les classes du domaine. Les relations structurelles désignent toutes celles méronymiques et autres sémantiques (synonymie, antonymie, etc.). *Père est_un Parent, France est_une_partie de l'Europe* sont des exemples de relation retrouvés à ce niveau. Les relations conceptuelles désignent les associatives qui complètent l'organisation de l'artefact du domaine. Le résultat de cette étape est appelé *la conceptualisation*.
- L'aspect logique est relatif à la formalisation des connaissances du domaine d'étude. Il s'agit d'utiliser les prédicats pour la description des termes. *La formalisation* est le nom de cette étape.

Le respect de ce dernier aspect aboutit à une ontologie formelle qui est toujours construite en commençant par l'analyse des réalités pratiques du domaine d'intérêt [27, 48]. Cette analyse a pour but de comprendre et d'identifier les situations concrètes et pratiques dans le domaine. Elle produit les *signifiés*, c'est à dire les situations significatives du domaine. Celles-ci sont ensuite examinées dans l'étape suivante pour recenser les concepts, les différents types de relation existant entre eux et les contraintes liées à leurs utilisations. Faite en accord avec les experts du domaine, cette analyse permet de décider des concepts et des rôles à retenir, et ceux à exclure conformément aux besoins. Les *signifiés normés* sont les résultantes de cette étape ; ce sont les termes retenus.

Au vu des besoins exprimés et des contextes considérés, d'un côté, si tous les concepts et les rôles présents dans l'ontologie ont au moins une instance dans les situations d'applications identifiées et de l'autre, si toutes les situations concrètes et pratiques sont représentées dans le modèle final produit alors celui-ci est dit valide. Cette vérification bidirectionnelle appelée *l'engagement ontologique* aboutit aux *concepts formels*. Ceux-ci sont ensuite décrits dans un langage (formel) de représentation choisi. Enfin, les axiomes et d'autres contraintes logiques sont ajoutés. Cette démarche est résumée dans la figure 3.8.

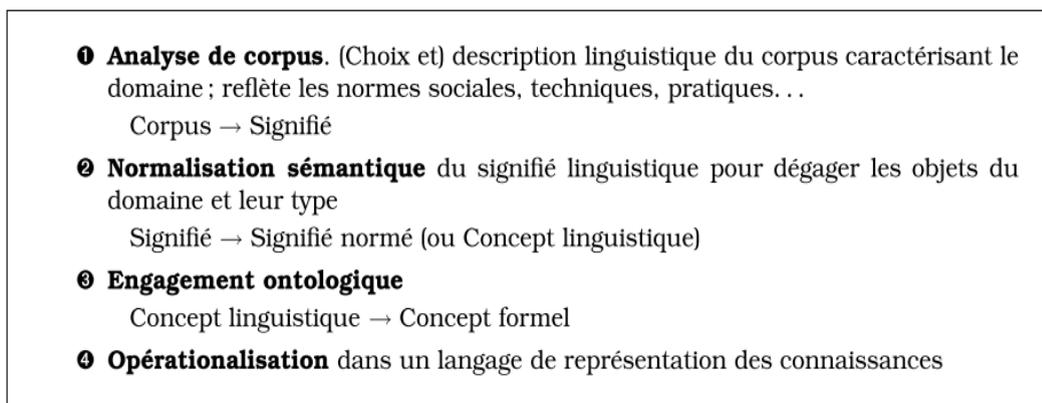


FIGURE 3.8 – Phases principales de la construction d'ontologie (*Source : extrait de [46]*)

L'efficacité de cette démarche est assurée par quelques bons principes qui sont [26] :

- *la clarté*. Elle stipule que la définition d'un concept doit laisser entendre le sens voulu de manière aussi objective que possible et indépendamment du contexte. Cette définition doit être la plus complète possible en respectant les conditions de nécessité et suffisance du domaine d'intérêt. Pour éviter toute ambiguïté, le concept défini peut également être documenté en langage naturel. Par exemple, le concept

Jaguar dans une ontologie peut être équivoque vu qu'il admet beaucoup de significations : voiture, animal, marque de vêtement. Ces genres de concepts doivent être définis et argumentés clairement ;

- *la cohérence*. Une ontologie doit inclure toutes les inférences qui correspondent logiquement à la définition de ses composantes. Ainsi, aucune assertion inférée de l'ontologie ne doit entrer en contradiction avec la définition d'un quelconque terme. Par exemple, une règle définissant qu'un enlumineur est une personne qui dessine au moins une enluminure est représentée en DL par $Enlumineur \equiv Personne \sqcap \exists \text{dessiner}.Enluminure$. Cette règle doit faire ressortir toutes les instances d'enlumineur dans une ontologie complète. Par contre, elle ne doit pas permettre d'avoir un individu du concept Duc à moins que cet individu soit en même temps un enlumineur ;
- *l'extensibilité*. Les éventuelles extensions de l'ontologie doivent être anticipées. C'est-à-dire, on doit pouvoir ajouter de nouveaux concepts ou relations sans altérer la structure de base de l'ontologie. Une illustration simple de l'importance de la gestion de l'extensibilité peut être faite analogiquement avec l'exemple de l'installation du réseau électrique d'un bâtiment. En cas d'agrandissement de ce dernier, en ajoutant un nouvel étage par exemple, la nouvelle partie doit pouvoir être électrifiée sans changer l'architecture de base du réseau électrique. Une ontologie doit être développée avec la même vision ;
- *la déformation d'encodage minimale*. L'ontologie doit être conçue indépendamment de tout langage d'implémentation. Le but est de permettre le partage des connaissances entre différentes applications utilisant des langages de représentation différents ;
- *l'engagement ontologique minimal*. Il consiste à confronter l'ontologie conçue aux réalités pratiques du domaine. Les termes de l'ontologie doivent refléter le plus complètement possible les situations de ces réalités. Par exemple, à la fin de la conception, notre engagement ontologique consistera à confronter notre ontologie au vocabulaire de termes fourni par les médiévistes.

Dans nos travaux, cette démarche est combinée avec celle proposée par Noy et al [44]. Cette dernière est plus focalisée sur les besoins et les attentes d'utilisation qu'il faut identifier en amont de la construction de l'ontologie. La démarche de Noy et al passe principalement par les étapes suivantes [150] :

- *la spécification de la portée de l'ontologie*. Elle consiste à déterminer les applications de l'ontologie et les connaissances qu'elle doit couvrir. Ces connaissances sont recensées et extraites à travers une série de questions, appelées **questions de compétences**, auxquelles l'ontologie finale doit répondre. Les questions de compétences pour notre ontologie sont indiquées dans la table 3.6 ;
- *l'énumération des termes*. À cette étape, les termes de l'artefact du domaine doivent être énumérés en vu de les spécifier conformément aux besoins et aux objectifs d'application déterminés dans l'étape précédente ;
- *la réutilisation d'ontologies existantes*. En fonction des applications identifiées pour l'ontologie, cette étape recommande de rechercher des ontologies déjà construites afin de les réutiliser, à travers leurs termes qui correspondent à ceux de l'ontologie à construire. Cette réutilisation a un double avantage à savoir : l'utilisation des termes déjà reconnus, discutés et validés par la communauté au lieu de réinventer la roue et l'intégration des connaissances représentées dans d'autres ontologies ;

- *les définitions des termes.* Les termes qui ne figurent pas dans les ontologies réutilisées doivent être spécifiés à cette étape. Les classes, leurs relations et les règles d'inférences doivent être reliées aux portions d'ontologies réutilisées pour former une modèle final cohérent et valide.
- *l'instanciation de l'ontologie.* Aussi appelée le peuplement de l'ontologie, il s'agit à cette étape de remplir le modèle construit avec des données réelles de l'environnement représenté. Ces instances permettent de tester la cohérence et la validité de l'ontologie finale.

Dans ces étapes de construction d'une ontologie, recours est fait à des technologies et des langages dont certains sont des recommandations du Word Wide Web Consortium (3WC)⁵. Ces technologies sont, pour les plus reconnues, des langages qui permettent une représentation adaptée à la compréhension humaine et aux traitements automatiques des connaissances. Dans nos travaux, nous utilisons principalement :

- **RDF** - Resources Description Framework traduisible en français par Structure de Description de Ressources. C'est un langage utilisé pour décrire les ressources d'un environnement avec des graphes qui respectent une forme particulière : les triplets (Sujet, Prédicat, Objet) où *sujet* désigne un concept, *prédicat* - une relation et *objet* - un concept ou une instance [91, 90]. À l'origine, RDF a été créé avec l'esprit de fédérer des ressources hétérogènes et multi-sources [90]. Nous entendons par ressources, les termes de l'artefact du domaine représenté. La figure 3.9 est une représentation RDF de la connaissance *l'enlumineur peint des enluminures commandées par les élites. L'enlumineur et les élites sont des personnes qui ont des caractéristiques (nom, prénom, date de naissance...)*.

Les triplets RDF sont reliés les uns aux autres grâce à un processus d'intégration appelé *réification* afin de constituer des jeux de données (Dataset) consistants qui peuvent être stockés dans des bases de données dédiées appelées *triplestores*. Les graphes (ou triplets) RDF sont à la base des projets de Web sémantique [91] et du Web des données (LOD - Linked Open Data). Un exemple d'application très utilisé de tel projet est *DBpédia*⁶.

Par le biais de ses constructeurs qui sont très restreints, le RDF permet de structurer le graphe en indiquant si un terme est concept (classe) ou une relation associative. Le constructeur utilisé à cet effet est `rdf:type`. Pour étendre RDF et pouvoir exprimer les relations sémantiques, recours est fait au RDFS.

- **RDFS** - RDF-Schema ou Schéma RDF. C'est une extension de RDF qui offre la possibilité de construire des relations hiérarchiques entre les sujets d'un graphe RDF et de préciser le domaine et la portée d'une relation associative. Ces ajouts sont faits grâce aux constructeurs `rdfs:subClassOf`, `rdfs:subPropertyOf` pour la hiérarchie, `rdfs:domain`, `rdfs:range` pour l'orientation d'une relation associative [93]. En réalité, dans la figure 3.9, la relation (*est_un*) est une interprétation de la hiérarchie.

À travers les constructeurs de RDFS, un premier niveau d'inférence est exploitable pour la découverte de nouvelles connaissances. Cependant, RDFS reste limité

5. 3WC est un organisme international de standardisation à but non lucratif, fondé en octobre 1994, chargé de promouvoir la compatibilité des technologies du World Wide Web telles que HTML5, HTML, XHTML, XML, etc.

6. DBpédia est un projet universitaire et communautaire d'exploration et d'extraction automatiques de données dérivées de Wikipédia

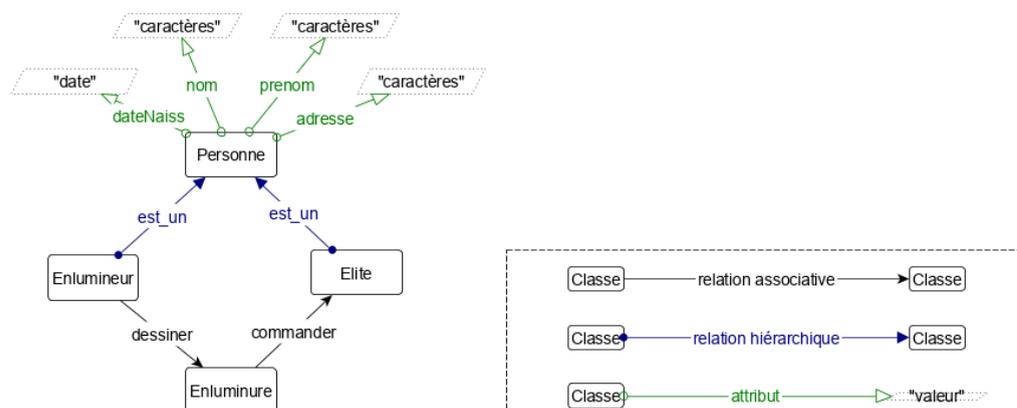


FIGURE 3.9 – Une représentation RDF.

dans sa capacité de raisonnement parce qu'il ne permet pas d'exprimer certaines relations sémantiques : d'où le besoin du langage OWL.

- **OWL** - Web Ontology Language ou Langage pour les Ontologies du Web. Sa seconde édition OWL2 est une recommandation du 3WC pour la construction des ontologies valides. Il admet différentes variantes qui sont OWL lite, OWL-DL et OWL complet (Full OWL) [94]. Elles se diffèrent par leur niveau d'expressivité. Celui de OWL lite est assez faible et cela fait de cette variante la plus convenable pour la construction des terminologies. OWL-DL est la variante la plus utilisée. Son niveau d'expressivité assure la décidabilité de l'ontologie résultante. La variante OWL complet est très expressive mais elle n'est pas décidable.

OWL utilise et complète les constructeurs de RDFS afin d'exprimer les relations sémantiques comme l'équivalence des termes (classe, relation, instance), la symétrie, la complémentarité, transitivité entre relations, etc. De par ces extensions, OWL étend également les capacités de raisonnement logique du RDFS.

- **SWRL** - Semantic Web Rules Language ou Langage de Règles pour le Web Sémantique. Il est utilisé pour construire des règles d'inférence plus élaborées que RDFS et OWL-DL ne permettent pas dans la limite de leurs compromis entre l'expressivité et la décidabilité [69]. La capacité d'inférence du modèle final est ainsi plus grande. Dans nos travaux, des exemples de règles SWRL sont présentés dans la table 3.10.
- **SPARQL**. Il désigne le nom récursif Protocole SPARQL et Langage de Requête RDF (SPARQL Protocol and RDF Query Language, en anglais). À l'instar de SQL (Structured Query Language) pour les bases de données relationnelles, SPARQL est le langage utilisé pour la manipulation (ajout, modification, suppression) et l'interrogation de graphes RDF stockés dans un triplestore [91, 92]. Les opérations d'interrogation sont assurées par le raisonnement par filtrage.

La normalisation de ces technologies et langages, l'abondance de leurs documentations et les vertus des ontologies (la section 3.3.4) confèrent à ces dernières une panoplie de domaines d'applications dont quelques exemples sont connexes à nos travaux.

3.4/ DOMAINES UTILISANT DES ONTOLOGIES ET CONNEXES À NOS TRAVAUX

La description des connaissances en utilisant les ontologies est appliquée dans beaucoup de disciplines telles que la médecine, l'ingénierie, la cognition, la recherche d'informations, la gestion des collections patrimoniales sur Internet, etc. Au delà de la place prépondérante des ontologies dans l'IA symbolique et dans les SBC, le Web est entrain de se transformer progressivement en Web de données. Plus cette transformation se développera, plus l'utilisation des ontologies augmentera pour une description convenable de ces données. Nous présentons dans cette section quelques cas d'application des ontologies dans des domaines auxquels nos travaux ont trait : les réseaux sociaux, le patrimoine culturel, les images et documents médiévaux, l'influence sociale.

3.4.1/ DANS LES RÉSEAUX SOCIAUX NUMÉRIQUES

Pour la représentation des réseaux sociaux de manière générale, une ontologie célèbre a été construite en 2007 par Brickley et Al [66]. C'est l'ontologie FOAF (pour Friend Of A Friend, en anglais). Elle décrit les entités d'un réseau social, les espaces numériques (les comptes) de ces entités, les supports (documents, images, etc.) de leurs interactions, les propriétés caractéristiques de tous ces concepts, etc. Pour plus de détails sur les spécifications de FOAF, recours peut être fait à la référence [66]. Bien que restreint aux réseaux sociaux numériques avec la présence des termes spécifiquement propres à cet environnement virtuel, l'ontologie FOAF peut être considérée comme un référentiel quand il faut décrire un réseau social (dans la vie réelle ou en ligne). FOAF met l'accent sur les personnes, les entités sociales de manière générale, leurs projets et leurs accointances sociales. C'est le graphe de connaissances des réseaux sociaux [66, 120].

À ce titre, l'ontologie FOAF est utilisée par beaucoup d'auteurs pour s'attaquer à des défis de la recherche existant dans les réseaux sociaux numériques. Parmi ces défis, nous pouvons citer la confiance dans les systèmes de recommandation [63, 120], la sécurité et la confidentialité dans les sites Web communautaires [55], etc. Dans ces travaux, des modifications sont faites dans FOAF en y ajoutant des termes propres aux cas d'utilisation et en attribuant des degrés de confiance aux relations existant entre les entités du réseau.

À l'instar de ces travaux, nous réutilisons FOAF dans notre ontologie pour consolider, du point de vue de la conception structurelle, la similitude entre les enluminures choisies et les réseaux sociaux numériques. Pour ce faire, nous faisons une comparaison entre la structure de FOAF et celle de l'ontologie que nous avons proposée pour ces enluminures (la section 3.5).

3.4.2/ DANS LE PATRIMOINE CULTUREL

Pour la description des images médiévales et des documents patrimoniaux culturels de manière générale, CIDOC-CRM (Cultural Images and Documents Object Oriented Conceptual Reference Model) est une autre ontologie célèbre. Elle offre un schéma général de description des collections culturelles et patrimoniales tels que les sculptures, les peintures, les archives, leurs matériels de conception, leurs propriétaires, etc. Le site

Web⁷ dédié à CIDOC-CRM [47] révèle que cette ontologie contient 90 concepts et plus de 140 relations, tous organisés de manière hiérarchique. Le modèle fournit un niveau de détail assez élevé pour permettre aux professionnels des institutions de mémoire d'effectuer facilement leurs tâches de classification et de description des collections patrimoniales qu'ils gèrent. En plus, CIDOC-CRM contribue énormément à la numérisation du patrimoine culturel. C'est une ontologie de domaine qui est très générale parce qu'elle est constituée de concepts de haut niveau du domaine. À ce titre, c'est l'une des ontologies les plus utilisées quand le besoin est de décrire les collections culturelles. Celles-ci étant reliées à des événements historiques, la notion d'évènement est un concept central de CIDOC-CRM. Elle y est représentée par l'entité `E5`, `Event`. De la même manière, l'ontologie que nous proposons pour la description des enluminures médiévales du duc de Bourgogne est aussi axée sur la notion d'évènement. Cette ontologie représente un graphe des connaissances contenues dans ces documents patrimoniaux spécifiques. À ce titre, elle contribue également à la numérisation du patrimoine culturel à l'instar de l'ontologie CIDOC-CRM.

Nombreux sont les travaux sur les images anciennes qui utilisent CIDOC-CRM afin d'étendre leurs ontologies de domaines grâce à l'intégration [62, 70] ou pour concevoir des représentations de leurs données de sorte qu'elles soient traitables automatiquement par des machines [100]. ArCo⁸ (Architecture of Knowledge) est un exemple de ces travaux. C'est une ontologie qui décrit différents types de collections patrimoniales Italiennes et leurs sites de sauvegarde. Ces collections et sites sont gérés actuellement par le SIGEC (System of the Italian Central Institute for Cataloguing and Documentation). Arco décrit les événements culturels à travers :

- les personnes et institutions qui y participent ;
- les objets culturels résultants et ceux qui les représentent ;
- les localisations de ces objets (où est ce qu'ils sont maintenant, où est ce qu'ils étaient, où est ce qu'ils ont été conçus, à quelle date ?) ;
- et les propriétés descriptives de ces objets (taille, poids, couleur, etc.).

Au regard de leurs objectifs globaux, que sont la numérisation du patrimoine culturel et l'extraction d'informations spécifiques sur des collections culturelles, Arco et notre ontologie (la section 3.5) sont très similaires. Cependant, elles diffèrent par la nature des collections qu'elles décrivent. Au delà de cette différence entre les environnements représentés, notre ontologie se distingue de CIDOC-CRM et Arco par la représentation des concepts relatifs à l'influence sociale. Et à notre connaissance, notre ontologie est la première à proposer une modélisation de l'influence sociale des ou dans les enluminures commandées par le duc de Bourgogne, Philippe Le Bon.

Dans le cadre de la représentation et de la description, les données du patrimoine culturel sont considérées comme syntaxiquement très hétérogènes, très connexes, plurilingues et sémantiquement très riches vu qu'elles sont produites ou gérées par différentes sites (les musées, archives, digues archéologiques, etc.) [110]. De ces faits, l'utilisation des technologies du Web sémantique (section 3.3.5) pour la représentation, la gestion et la distribution de ces données est une pratique courante et avantageuse dans l'ingénierie des connaissances [39, 110].

C'est ainsi que nous utilisons ces technologies dans nos travaux pour la conception et

7. CIDOC-CRM : <http://www.cidoc-crm.org/get-last-official-release>

8. ArCo : <http://wit.istc.cnr.it/arco/index.php?lang=en>

des exploitations d'une l'ontologie que nous proposons pour les enluminures médiévales du duc de Bourgogne.

3.5/ MEDIEVENL : ONTOLOGIE SUR LES ENLUMINURES MÉDIÉVALES

Dans la quête de la désambiguïsation des contenus des enluminures médiévales du duc et de leurs interprétations (voir la section 1.1 du chapitre 1 pour plus de détails sur cet objectif), nous proposons une ontologie pour leur représentation et leur descriptions sémantique.

Nous avons dénommé ce graphe de représentation l'**ontologie MedievEnl**, en référence à l'époque médiévale et aux enluminures elles-mêmes. Dans cette section, nous présentons la portée de l'ontologie *MedievEnl*, ses applications, les questions de compétences qui ont guidé et orienté le choix de ses termes, sans oublier le détail de ses spécifications.

3.5.1/ PORTÉE, OBJECTIFS ATTENDUS DE *MedievEnl*, SES APPLICATIONS

Trois attentes principales ont motivé le choix des termes dans *MedievEnl*. Elles sont les suivantes :

- la représentation des contenus des enluminures médiévales, de leur sémantique et des interprétations associées à ces entités ;
- l'identification des traits de similitude entre le modèle de réseau social médiéval, que les enluminures médiévales constituaient, et les réseaux sociaux numériques modernes ;
- la caractérisation des facteurs de l'influence sociale qualitative.

Au terme de nos travaux, la satisfaction de la première attente permettra de réduire l'hétérogénéité sémantique des contenus des enluminures du duc de Bourgogne parce que nous fournirons une base de connaissances consensuelles sur ces peintures médiévales. Ainsi, leur compréhension et leurs interprétations seront plus accessibles aux néophytes parce que les sachants pourront exprimer leur savoir-faire sur les enluminures à travers l'ontologie créée et un système. Dans ce dernier, tout utilisateur pourra décrire les connaissances pouvant découler de ces peintures.

La satisfaction de la seconde attente offrirait des éléments de comparaison entre *MedievEnl*, le graphe de connaissances représentant les enluminures choisies, et l'ontologie FOAF qui est celui des réseaux sociaux numériques. Le but de cette comparaison est d'indiquer des points communs sur le plan structurel entre les deux modèles de réseau social. Ces points communs conforteront ceux fonctionnels indiqués dans la table 2.1 du chapitre 2.

La création et la propagation de l'influence sociale sont des phénomènes existant dans toute forme de réseau social. De ce fait, la satisfaction de la troisième attente permettra de comprendre les indicateurs qualitatifs de l'influence exercée à travers les enluminures. Ainsi, nous explorerons la manière dont ils sont applicables aux réseaux sociaux numériques modernes.

Dans le souci de répondre à ces attentes, nous avons choisi un ensemble d'enluminures médiévales suivant les critères ci-après :

- la présence du duc Philippe le Bon dans la peinture, celle d'importants membres de son gouvernement ou d'objets attestant son pouvoir et son autorité. Ces entités sont connues grâce à l'expertise des spécialistes de ces images médiévales ;
- l'aspect profane des enluminures est aussi un important critère de sélection. En effet, ces enluminures décrivent et représentent de nombreuses scènes et thématiques. Ces scènes vont de la liturgie aux banquet en passant par la chasse, les jeux, etc. Et les thématiques sont d'ordre religieux, culturels, historiques, politiques, etc. Afin de ne pas nous focaliser sur une doctrine particulière, nous avons décidé de rester neutre et choisir seulement les enluminures profanes.

Nous avons ainsi choisi une vingtaine d'enluminures que nous avons lues et analysées pour extraire et relever les termes contenus dans chacune. Ces *signifiés*, en guise de vocabulaire, sont stockés dans une sorte de dictionnaire de données. Cette première étape a été effectuée avec le concours très important des spécialistes des enluminures.

Pour déterminer dans ce vocabulaire le type adéquat pour un terme, c'est à dire spécifier celui-ci comme un concept, une relation ou une instance afin de savoir les axiomes à construire, nous avons défini la portée de l'ontologie et ses principales applications en formulant des questions de compétences auxquelles *MedievEnl* doit permettre de répondre à la fin de la conception. Ces questions, indiquées dans la table 3.6, doivent également être en rapport avec les trois attentes évoquées plus haut.

Chacun des termes relevés dans le vocabulaire établi doit être en rapport avec au moins l'une de ces questions qui délimitent la portée de l'ontologie finale et définissent la manière d'organiser son contenu.

3.5.2/ SPÉCIFICATIONS DE *MedievEnl*

Le contenu de l'ontologie *MedievEnl* est décrit par des classes et des instances organisées par des relations conceptuelles et sémantiques. Certains des termes et l'ontologie elle-même sont décrits par des méta-termes. Ceux-ci sont des propriétés tels que l'auteur de l'ontologie, sa date de création, des commentaires sur des classes ou des relations, leur libellé, etc. Ces méta-termes sont importants dans la fusion des connaissances parce qu'ils permettent d'avoir plus d'informations sur les termes. Chacun de ces derniers contribue à la satisfaction d'au moins une de nos trois attentes. La satisfaction conceptuelle de certaines de ces attentes, c'est à dire la présence des connaissances relatives à celles-ci au niveau conceptuel, requiert la réutilisation d'ontologies existantes. Il est important de comprendre que cette réutilisation est une bonne pratique dans la démarche de construction d'une bonne ontologie [44]. Nous appelons par *ontologies externes* celles réutilisées dans *MedievEnl*.

3.5.2.1/ ONTOLOGIES EXTERNES UTILISÉES

La table 3.7 présente les ontologies déjà développées auxquelles nous recourons dans la construction de la nôtre. Pour les réutiliser, nous appelons leurs termes correspondant en définition et en sémantique à ceux de *MedievEnl*. Ces appels sont effectués à travers le préfixe de l'ontologie réutilisée.

TABLE 3.6 – Questions de compétences qui ont orienté le choix des termes dans l'ontologie *MedievEnl*

Quelles sont les caractéristiques du duc ?	Qui sont les chevaliers ?
Qui sont les seigneurs ?	Qu'est ce qui caractérise les seigneurs ?
Quelles relations le duc avait-il avec les seigneurs ?	Dans quelles institutions les seigneurs ont-ils travaillé ?
Qui est subordonné au duc ?	Quels objets représentent l'influence sociale ?
Qui est fidèle au duc ?	Quels sont les territoires gouvernés par une personne ?
Quelles sont les activités dans un événement ?	Quels objets représentent quel groupe ?
Quelles sont les caractéristiques d'un traître ?	Qui sont les personnes qui occupaient une fonction donnée ?
Qui sont proches du duc ?	Qui sont les enlumineurs ?
Quels sont les ateliers d'enluminures ?	Quels sont les animaux représentés dans une illumination ?
Quelles enluminures sont faites par quel enlumineur ou atelier ?	Qui sont les membres d'un groupe spécifique ?

Les termes de ces ontologies externes, réutilisés dans la nôtre, ne sont pas suffisants pour la description effective des entités qui figurent sur les enluminures médiévales du duc. Pour combler ce manque, il devient indispensable de trouver de nouvelles représentations pour les entités qui n'en ont pas dans les ontologies externes. Nous les appelons les termes propres à l'ontologie *MedievEnl*.

3.5.2.2/ TERMES PROPRES À *MedievEnl*

Les spécifications des classes parmi les termes propres à *MedievEnl* sont décrites dans les tables 3.8 et 3.9. L'ontologie finale est publiée et accessible sur Internet à l'adresse <http://MedievEnl.ontology.checksem.fr/>. Cette mise en ligne donne un aperçu plus clair des classes de l'ontologie *MedievEnl* et de leurs organisations avec les différents types de relations.

La figure 3.10¹⁰ est une vue de l'ontologie *MedievEnl* avec quelques relations telles

10. Les termes de l'image sont en anglais parce que le modèle a été développé et publié dans cette langue. Nous avons pris cette décision pour donner plus de visibilité à notre ontologie publiée.

TABLE 3.7 – Ontologies externes utilisées dans *MedievEnl*

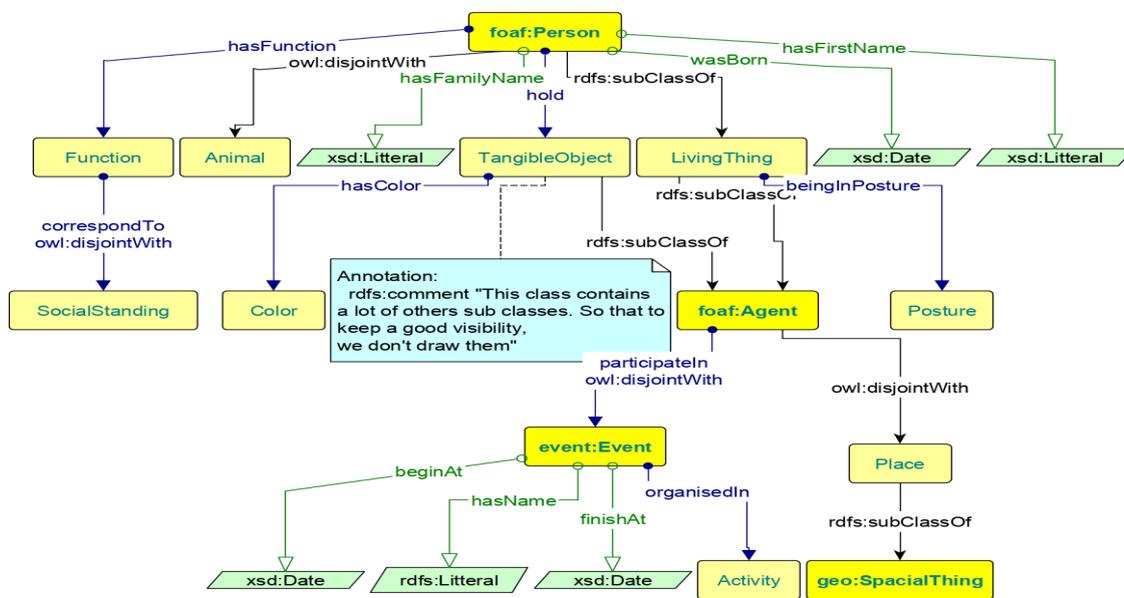
Préfixe	Description	Namespace
FOAF	FOAF est une ontologie qui représente les relations entre des personnes, les projets sur lesquels elles travaillent, les documents qu'elles produisent, leurs comptes et identifiants sur Internet, etc. Pour faire simple, elle contient des termes qui décrivent les contenus des réseaux sociaux numériques.	http://xmlns.com/foaf/0.1#
EVENT	C'est ontologie représentant la notion d'évènement définie comme un ensemble d'activités ou de phénomènes qui se passent dans un lieu, à une période et auxquels participent des acteurs connus.	http://purl.org/NET/c4dm/event.owl#
TIME	Liée à EVENT, l'ontologie TIME décrit la notion de temps et ses composantes telles que l'intervalle, le durée, la période, etc.	http://www.w3.org/2006/time#
GEO	Cette ontologie décrit le positionnement géographique d'une entité. Elle est utilisée dans <i>MedievEnl</i> à travers l'ontologie EVENT.	http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#

que (Human, Function) : hasFunction - pour dire qu'une personne occupe une fonction (job, position), (TangibleObject, Color) : hasColor - pour indiquer qu'un objet tangible a une couleur, (LivingThing, Posture) : beingInPosture - pour signifier qu'un être humain est dans une posture, (Human, TangibleObject) : holds - pour montrer qu'une personne tient un objet tangible, etc.

Dans cette figure 3.10, les rectangles jaunes désignent des classes et les losanges verts sont des types de valeurs que peuvent prendre les instances des classes. Celles-ci et les types de données sont organisés et reliés par des relations associatives et sémantiques qui sont indiquées par les différentes flèches présentes dans la figure. Pour une bonne visualisation de cette dernière, nous n'avons pas inclus tous les termes de *MedievEnl*.

Les relations sémantiques et associatives qui lient les classes de *MedievEnl* sont rangées dans des catégories de relations que nous avons nommées les *méta-relations*. Elles sont les suivantes :

- *catégorie être*. Chaque relation de cette catégorie définit l'appartenance ou la représentation d'un terme par un autre. Des exemples sont : un humain (est_un) Agent, un humain (est_dans) une posture, un objet (représente) un humain ou un groupe, une fonction (correspond) à une classe sociale;
- *catégorie avoir*. Ces relations montrent la possession de quelque chose par quelqu'un ou la disposition de quelque chose par rapport à un autre. Exemples : un

FIGURE 3.10 – Vue des classes supérieures de l'ontologie *MedievEnl*

évènement (a lieu) dans une localité, un agent (est en face de, derrière, à côté de) une personne;

- *catégorie agir*. Cette catégorie concerne les relations qui indiquent une action/une participation de quelqu'un ou de quelque chose dans/sur un autre. Exemples : un agent (participe) à un évènement, un enlumineur (offre) une enluminure.

Nous avons effectué cette catégorisation des relations entre les classes de notre ontologie pour faciliter son exploitation dans l'annotation des enluminures avec le système que nous développons. Lors de cette opération, les utilisateurs peuvent ajouter des relations qui manquent dans *MedievEnl*. Une nouvelle relation créée peut facilement être étiquetée comme appartenant à l'une des trois catégories. Ainsi, l'ontologie peut être étendue pour couvrir le maximum de connaissances relatives aux enluminures et même à d'autres types d'images. Cette facilité d'extension est problématique dans une certaine mesure mais des précautions sont prises dans le système final, comme nous le verrons dans le chapitre 5.

Une bonne organisation des classes de l'ontologie est une condition importante et nécessaire pour la satisfaction de nos trois attentes et nos questions de compétences mais elle n'est pas suffisante pour faire certains raisonnements.

TABLE 3.8 – Termes propres à *MedievEnl*

Classe (en français)	Description du classe	Classe (en anglais) ⁹
EtreVivant	Représente les êtres vivants (animaux ou humains) présents sur une enluminure. Cette classe permet de faire participer ses deux sous classes dans certaines relations. Elle est disjointe de la classe <code>ObjetTangible</code> .	LivingBeing
Humain	Représente les personnes figurant sur l'enluminure. Elle est disjointe de la classe <code>Animal</code> . Equivalente de <code>foaf:Person</code> , elle admet quelques sous classes comme <code>LeDuc</code> , <code>Chevalier</code> , <code>Seigneurs</code> , qui représentent des personnes très importantes dans le domaine d'intérêt. Quelques exemples d'instances sont : <code>PHILIPPE_LE_BON</code> , <code>CHARLES_LE_TEMERAIRE</code> , <code>NICOLAS_ROLLIN</code> , etc.	Human
LeDuc	Cette sous classe de <code>Humain</code> représente le duc. Elle est une classe définie, c'est à dire, déduite à partir des caractéristiques décrites dans des règles d'inférences.	Duke
Chevalier	Cette une sous classe de <code>Humain</code> qui représente les chevaliers. C'est aussi une classe définie.	Knight
Seigneur	C'est la sous classe de <code>Humain</code> qui représente les seigneurs présents sur l'enluminure.	Lord
Animal	Des animaux sont présents sur certaines enluminures. Cette classe les représente dans l'ontologie.	Animal
AnimalFantastique	Les animaux fantastiques sont des animaux imaginaires qui n'existent pas dans la réalité. Ils sont faits pour symboliser certaines personnes, leurs valeurs morales ou autres. Un exemple d'instance est <code>LICORNE</code>	FantasticAnimal
AnimalReel	Cette sous classe de <code>Animal</code> représente les animaux réels. Exemple : <code>CHIEN</code> , <code>FAUCON</code>	RealAnimal
ObjetTangible	Représente tout autre objet, tangible dans la réalité et différent d'un être humain, présent sur l'enluminure. Cette classe admet beaucoup de sous classes comme <code>Vêtements</code> , <code>Armes</code> , etc.	TangibleObject
Vetement	Cette classe représente les vêtements que portent les personnes. Ils permettent de préciser la description d'une personne et son important dans la distinction de certaine personnalité, le duc par exemple.	Clothes
Arme	Elle représente les armes comme épée, dague ou autres que portent certaines personnes. Exemple : <code>EPEE</code> , <code>BATON_DE_COMMANDEMENT</code> , etc.	Weapon
Livre	Cette classe représente le manuscrit qui contient des enluminures.	Book
CollierToisonDor	C'est un objet de prestige qui représentait l'ordre de la toison d'or mais aussi la proximité avec le duc Philippe le Bon.	Golden_Fleece-Necklace
Fonction	Cette classe représente les tâches qui constituent du travail pour les personnes. Ces tâches régissent des métiers que nous avons appelés fonctions. Dans une société très hiérarchisée, la fonction qu'occupait une personne en disait beaucoup sur son rang social, sa puissance et son influence. Elle est donc un indicateur important de l'influence sociale d'une personne. Il y avait des fonctions réservées aux personnes privilégiées de la société et d'autres pour les non privilégiées. La distinction entre les classes <code>Personne</code> et <code>Fonction</code> est faite pour rendre flexible la description vu qu'une personne peut changer de fonction.	Function
HauteFonction	Cette sous classe représente les fonctions réservées aux privilégiées et réservées aux hauts rangs de la société. Exemple : <code>CHANCELERIE</code> , <code>CHEVALERIE</code> , <code>DUCCALE</code> , etc.	HighFunction

TABLE 3.9 – Termes propres à *MedievEnl* (suite...)

Identifiant (en Français)	Description du terme	Identifiant (en Anglais)
FonctionLibérale	Cette sous classe représente les fonctions réservées aux non privilégiées. Les personnes figurant sur l'enluminure occupent toutes des hautes fonctions. C'est pour cela que nous n'avons pas jugé nécessaire de faire de sous classe pour celle-ci. Exemple : COMMERCE, ARTISANAT, etc.	LiberalFunction
RangSocial	Cette classe représente les statuts sociaux de l'époque : les privilégiés que sont les nobles (ou seigneurs) et les hommes d'église (le clergé) et les non-privilégiés que sont les paysans, les artisans et les paysans.	SocialStanding
Classe_Privilegiee	C'est la classe qui représente le statut social des nobles.	Privileged_SocialStanding
Seigneurie	C'est la classe qui représente les seigneurs. Exemple : EMPEREUR, ROI, DUC, PRINCE, COMTE, VICOMTE, BARON.	Lordship
Clerge	Cette classe représente le statut des hommes d'église.	Clerc
Classe_NonPrivilegiee	C'est le statut social des personnes qui ne faisaient pas partie des privilégiées.	NotPrivileged_SocialStanding
Posture	Tout être humain figurant sur une enluminure est placé dans une posture donnée. C'est pour indiquer l'influence du duc, s'il est présent dans ladite enluminure. Nous avons subdivisé ces postures en 3 sous classe : soumission, autorité, normale. Avec d'autres caractéristiques, elles permettent de savoir qui est fidèle au duc ou non.	Posture
Posture_DeSoumission	Cette classe représente les postures de soumission qui indiquent le respect qu'un individu a vis-à-vis du duc. Exemple : BRAS_CROISES, TETE_BAISSEE	ObedientPosture
Posture_DeDomination	Cette classe représente les postures de domination qui indiquent l'autorité qu'un individu. Exemple : ETRE_DE_PROFILE, CENTRE	Posture_OfAuthority
PostureNormale	Cette classe représente les autres postures différentes des deux autres.	NormalPosture
Activite	Elle représente les activités qui composent un évènement. Il y'a les activités professionnelles et les activités de distraction.	Activity
Activite_Professionnelle	Les activités professionnelles. Exemple : COMMANDEMENT_MILITAIRE, REUNION_POLITIQUE, etc	Professional_Activity
Activite_DeDivertissement	Les activités de distraction. Exemple : BAIN, CHASSE, etc.	Advertissment_Activity
Couleur	Cette classe représente les couleurs présentes dans l'enluminure. Exemple : NOIR, VERT, ROUGE, BLEU, etc	Color
OrdreToisonDor	C'est la classe qui représente la toison d'or, un groupe de chevalier, créé par le duc pour rassembler ses proches et les nobles notables de son duché.	Golden_FleeceOrder

3.6/ RAISONNEMENT DANS *MedievEnl*

L'expressivité d'une ontologie décidable est de nature limitée à cause de la restriction des constructeurs de son langage de conception : OWL-DL. Celui-ci permet d'exprimer la hiérarchie entre les termes de l'ontologie grâce aux instructions¹¹ `rdfs:subClassOf`, `rdfs:subPropertyOf`. Ces dernières indiquent respectivement la hiérarchie des classes et celle des relations associatives. OWL-DL permet également de définir des contraintes de description des termes, c'est à dire d'ajouter des relations sémantiques et des axiomes à l'ontologie afin d'y introduire plus de clarté et de cohérence. Entre autres contraintes de description, nous distinguons l'équivalence - exprimée en OWL-DL par les instructions `owl:equivalentClass`, `owl:equivalentProperty`, `owl:sameAs` définissant respectivement l'équivalence de classes, celle de relations associatives et celle d'instances. Nous pouvons également citer la disjonction de classes avec `owl:disjointClass`, la complémentarité, la symétrie et la transitivité de relations définies respectivement par `owl:inverseOf`, `owl:SymetricPorperty` et `owl:transitiveProperty`.

Avec ces contraintes de description ajoutées grâce à OWL-DL, il est possible de faire des inférences hiérarchiques, d'autres par classification et celles sémantiques telles que la synonymie, la complémentarité, etc. Par exemple, à travers la description suivante : `Person rdfs:type HumanBeing`, `Philippe le Bon owl:individualValue Person`, il est possible de conclure que `Philippe le Bon owl:individualValue rdfs:type HumanBeing` signifiant que Philippe le Bon est un humain.

Cependant, OWL-DL ne permet pas de combiner plusieurs termes pour décrire des nouveaux, comme dans cet exemple : le Duc est une personne qui tient le bâton de commandement ou qui est habillé tout en noir.

Pour pousser cette limite d'OWL-DL, recours est fait au SWRL. Langage de construction de règles d'inférences (aussi appelées règles SWRL), il est basé sur la logique du premier ordre (LPO). Les règles SWRL sont similaires aux clauses de Horn que LPO permet de formuler [92, 69]. Celles formulées dans l'ontologie *MedievEnl* sont relatives à certaines de nos questions de compétences que les relations hiérarchiques et associatives seules ne permettent pas de répondre. Ces règles d'inférence sont présentées dans la table 3.10¹².

Les lignes qui commencent avec # sont des commentaires. Chacun de ces derniers indique une de nos questions de compétence à laquelle les règles écrites avant la nouvelle ligne de commentaire devraient permettre de répondre avec l'aide des outils de raisonnements comme les moteurs d'inférences. Par exemple, les règles numéro 1 et 2 dans la table 3.10 permettent de répondre à la question sur les caractéristiques du duc (tableau 3.6). Le symbole (^) désigne le ET logique et les expressions (?x, ?y, etc.) sont des variables.

Idéalement, la construction des règles SWRL correctes et efficaces complètent la formation de l'ontologie qui, par la suite, doit être évaluée pour juger de sa validité [26, 22].

11. Les instructions auxquelles nous faisons référence sont celles d'un langage informatique. Elles sont des ordres donnés à une machine pour effectuer des tâches précises.

12. Les règles SWRL sont en anglais parce que l'ontologie *MedievEnl* l'est aussi.

TABLE 3.10 – Règles SWRL contenues dans *MedievEnl*

```

#Quelles sont les caractéristiques du duc dans une enluminure ?
1.Person(?x) ^ PostureOfAuthority(?p) ^ beingInPosture(?x,?p) ^ Color(?c) ^
swrlb:upperCase(?c,"BLACK") ^ HeadClothes(?h) ^ ChestClothes(?ch) ^
hasColor(?h,?c) ^ hasColor(?ch,?c) -> Duke(?x)

2.Person(?x) ^ TangibleObject(COMMAND_STICK) ^ holds(?x,COMMAND_STICK)
-> Duke(?x)

#Qui sont soumis au Duc dans l'enluminure ?
3.Person(?x) ^ Person(?y) ^ differentFrom(?x,?y) ^ PostureOfRespect(?p) ^
beingInPosture(?x,?p) ^ beingBySideOf(?x,?y) -> beingObedientTo(?x,?y)

4.Person(?x) ^ Person(?y) ^ differentFrom(?x,?y) ^ PostureOfRespect(?p) ^
beingInPosture(?x,?p) ^ beingBehind(?x,?y) -> beingObedientTo(?x,?y)

5.Person(?x) ^ Person(?y) ^ differentFrom(?x,?y) ^ beingObedientTo(?x,?y)
-> beingFaithfulTo(?x,?y)

#Quelles sont les caractéristiques d'un félon dans les enluminures ?
6.Person(?x) ^ ChestClothes(?y) ^ Color( GREEN) ^ hasColor(?y,GREEN) ^
wears(?x,?y) -> Felon(?x)

#Quels sont les caractéristiques d'un chevalier ?
7.Person(?x) ^ Weapon(?w) ^ holds(?x,?w) -> Knight(?x)

#Qu'est ce qui caractérise les seigneurs dans les enluminures ?
8.Person(?x) ^ Lordship(?ss1) ^ hasSocialClass(?x,?ss1) -> Lord(?x).

#Quelle est l'ordre hiérarchique de l'influence sociale entre les personnes ?
9.Person(?x) ^ Person(?y) ^ differentFrom(?x,?y) ^ SocialStanding(?ss1) ^
SocialStanding(?ss2) ^ hasSocialClass(?x,?ss1) ^ hasSocialClass(?y,?ss2) ^
isVassalOf(?ss1,?ss2) -> isMoreInfluentThan(?y,?x).

```

3.7/ ÉVALUATION DE *MedievEnl*

L'évaluation d'une ontologie consiste, d'un côté, à vérifier si le modèle final respecte les standards syntaxiques et sémantiques du langage de modélisation utilisé, et de l'autre, à savoir s'il satisfait les attentes des utilisateurs et les questions de compétences. La première phase est la vérification et la seconde est la validation [22, 44].

3.7.1/ VÉRIFICATION DE *MedievEnl*

La formalisation de notre ontologie est assurée par l'usage des logiques de description, plus précisément leur variante SHOIN(D). Le niveau d'expressivité de celle-ci est le même que celui de *MedievEnl*. Dans cette première phase de l'évaluation, il s'agit de vérifier si le contenu de notre modèle respecte les règles syntaxiques et sémantiques de SHOIN(D).

L'outil d'édition d'ontologie que nous avons utilisé, notamment Protégé 2000, permet de respecter les règles syntaxiques de SHOIN(D). Quant au respect de sa sémantique, il est assuré par les principes de fonctionnement même de Protégé. Nous rappelons que ce dernier implémente graphiquement les principes de fonctionnement des DL, donc ceux de SHOIN(D). En plus des vérifications syntaxiques et sémantiques, Protégé fournit un ensemble de raisonneurs qui aident à vérifier si nos règles SWRL (voir la table 3.4) fonctionnent correctement. Ces raisonneurs permettent de simuler nos règles SWRL, de faire des inférences logiques et d'indiquer si l'ontologie produite est consistante ou pas. Quelques exemples de ces raisonneurs sont ELK, Pellet, FaCt++, Hermit, etc. La figure 3.11 montre une visualisation des classes de notre ontologie, organisées hiérarchiquement dans Protégé.

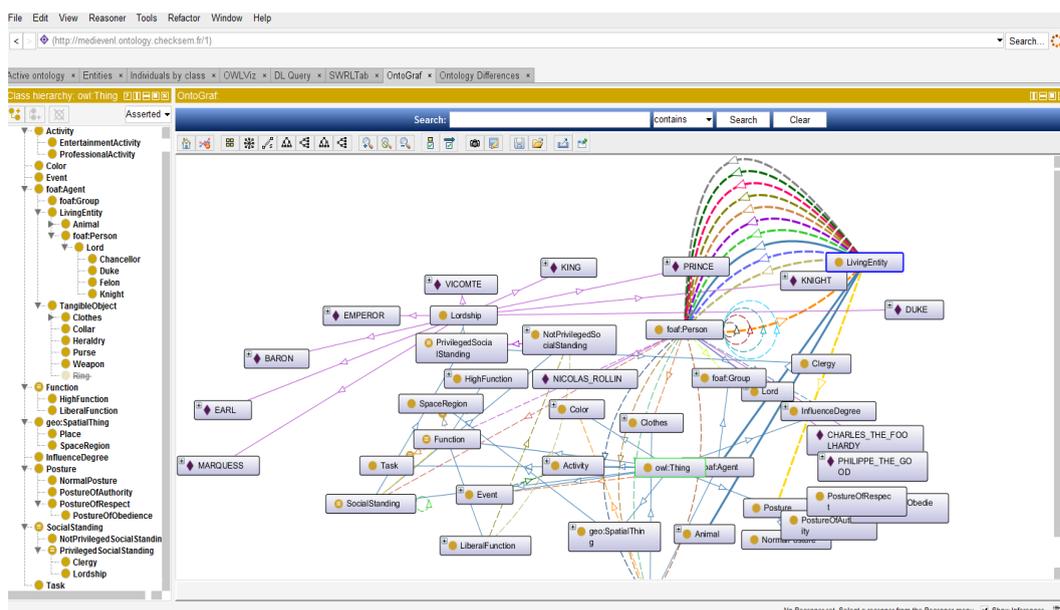


FIGURE 3.11 – Vue des classes et des relations de *MedievEnl* dans Protégé 2000

Au delà de la vérification, le modèle devrait permettre de répondre aux attentes des utilisateurs finaux pour être valide.

3.7.2/ VALIDATION DE *MedievEnl*

À cette étape de l'évaluation, il s'agit de s'assurer que dans son exploitation, l'ontologie répond aux besoins pour lesquels elle a été construite. Nous rappelons que *MedievEnl* servirait, en tant que référentiel de termes (ou indexes), dans l'annotation des enluminures que nous étudions. Elle doit également contenir des termes faisant ressortir le *caractère réseau social* de ces enluminures et d'autres relatives aux facteurs indicateurs de la qualité de l'influence sociale véhiculée dans ce réseau.

Le premier besoin concerne la description des enluminures afin de mettre en lumière leurs contenus et leurs significations. Pendant que les termes de l'ontologie et leurs organisations assure ce besoin, les règles SWRL le renforcent. Ces règles sont nécessaires pour la déduction des connaissances implicites à partir des celles explicitement décrites. Par exemples les règles numéro 3, 4 et 5 dans la table 3.10 indiquent les personnes soumises au duc. La quatrième stipule que si ?y est une per-

sonne ($\text{Person}(?y)$) qui est dans une posture de soumission $?z$ sur l'enluminure ($\text{ObediencePosture}(?z) \wedge \text{beingInPosture}(?y, ?z)$) et qui se tient derrière le duc $?x$ ($\text{Duke}(?x) \wedge \text{beingBehind}(?y, ?x)$) alors cette personne $?y$ est soumise au duc. À l'instar de ces règles, les autres facilitent l'interprétation des enluminures à travers des procédures automatiques et les raisonneurs. En permettant ainsi de numériser la sémantique des entités contenues dans ces images médiévales, notre ontologie contribue à la numérisation du patrimoine culturel de Bourgogne dans la mesure où les enluminures du duc et ce dernier lui-même sont des éléments importants dans ce patrimoine.

En ce qui concerne la correspondance avec les réseaux sociaux numériques, des concepts fondamentaux de FOAF comme `foaf:Person`, `foaf:Agent`, `foaf:Group` sont contenus dans l'ontologie *MedievEnl*, des relations sociales et d'acointance telles que `foaf:knows`, `beingObedientTo`, `isVassalOf` entre les personnes figurant sur les enluminures y sont également présentes. Ces faits montrent une certaine correspondance entre les deux graphes (*MedievEnl*, FOAF) qui représentent respectivement les deux modèles de réseau social (médiéval et moderne). En plus des points de correspondance fonctionnelle indiqués dans la table 2.1, ceux structurels dans les deux ontologies témoignent aussi de la similarité entre les enluminures médiévales du duc et les réseaux sociaux modernes.

Les facteurs de l'influence véhiculée, à travers les enluminures médiévales, étaient politiques, autoritaires et matériels [73]. Dans une société très classée, dans laquelle la hiérarchie sociale est strictement respectée, ces facteurs renforçaient la qualité et l'impact de l'influence sociale de toute entité qui les détenait. La représentation de cette influence dans notre ontologie passe par les classes `SocialStanding`, `Function`, `Posture`, et `foaf:Person`, les relations topologiques des personnes dans la peinture et celles de soumission telles que `beingObedientTo`, `isVassalOf`.

3.8/ CONCLUSION

Les modèles sémantique ont beaucoup d'atouts pour la description sémantique des connaissances d'un domaine. Cela justifie leurs utilisations massives dans les systèmes à base de connaissances depuis les années 1980, dans le Web sémantique et le Web des données ouverts plus récemment. Dans ce chapitre, l'accent a été mis sur un modèle sémantique particulier, les ontologies. Dans un premier temps, leurs utilités et les raisons de leur choix comme modèle de représentation de connaissances des enluminures ont été présentées. Ensuite, nous avons décrit la démarche utilisée pour la construction de l'ontologie proposée. En référence au domaine d'étude, nous avons nommé ce modèle ontologique *MedievEnl*. Par la suite, nous avons détaillé celui-ci à travers la spécification de ses entités.

À travers l'ontologie *MedievEnl*, ce chapitre apporte des éléments de réponse à la question concernant la caractérisation formelle des enluminures médiévales. En effet, ce modèle contribue à la réduction de l'hétérogénéité sémantique des contenus des enluminures. À travers la spécification de l'ontologie *MedievEnl*, nous avons montré qu'elle contient beaucoup de termes (classes et relations) ayant les mêmes sémantiques que des termes du graphe représentant les réseaux sociaux numériques. Ce graphe n'est autre que l'ontologie FOAF. Ces correspondances structurelles et sémantiques entre *MedievEnl* et FOAF renforcent celles fonctionnelles indiquées dans le chapitre 2, afin de

confirmer l'hypothèse de la similarité entre les enluminures du duc et les réseaux sociaux numériques modernes.

En tant que modèle de réseau social, il serait intéressant de savoir comment les principes de propagation de l'influence à travers les enluminures médiévales peuvent-ils contribuer à améliorer des mécanisme de création et de diffusion du même phénomène dans les réseaux sociaux numériques modernes ? Les éléments de réponse se rapportant à cette question font l'objet du chapitre suivant.

INFLUENCE QUALITATIVE ET ENLUMINURES MÉDIÉVALES

4.1/ INTRODUCTION

La promotion d'idées, de produits, de services et l'auto-valorisation sont des pratiques courantes dans tout environnement social. Différents outils, moyens et techniques ont été, sont et seront toujours mis en place pour ce faire. L'un des plus propices outils pour cette pratique est le réseau social, au sens général du terme. Il permet à chacun de partager des ressources (idées, informations, produits...) avec les autres. Bien que le Web et les réseaux sociaux numériques soient les plus célèbres depuis environ deux décennies, des moyens de diffusion de l'information ont toujours existé et furent utilisés par l'humain pour se valoriser et pour promouvoir ses idées et actions. Les services de média traditionnels tels que les journaux papiers, la télévision et les postes radios en sont des exemples concrets, mais ils ne sont les seuls. Au Moyen Âge, les enluminures constituaient un autre moyen de diffusion d'information. Elles se révélaient être un outil remarquable de véhicule de connaissances et de propagations d'influences pour les élites de l'époque [73, 129].

La notion d'influence (sociale) est un sujet omniprésent dans l'analyse des réseaux sociaux [71, 125, 141] et dans leurs différentes utilisations telles que la lutte contre la propagation des catastrophes naturelles [140], les campagnes électorales [121, 142], le marketing viral et/ou digital [97, 114], etc. Nonobstant cette omniprésence du sujet, il n'y a pas de consensus sur la définition de l'influence sociale, sur ses caractéristiques et surtout sur la qualité de celle véhiculée dans les réseaux sociaux numériques.

Dans ce chapitre, nous présenterons quelques définitions de ce phénomène social et examinerons ses caractéristiques dans les réseaux sociaux numériques. Par la suite, nous évoquerons des approches utilisées pour son évaluation dans ces plateformes. Enfin, nous proposerons quelques pistes pouvant contribuer à l'amélioration de la qualité de l'influence sociale dans des réseaux sociaux numériques actuels ou dans ceux d'une nouvelle génération avec une conception différente. Ces propositions seront faites sur la base des principes de propagation du phénomène à travers les enluminures médiévales.

4.2/ INFLUENCE ET SES CARACTÉRISTIQUES

Les travaux de recherches portant sur l'influence sociale sont nombreux et variés. Quelques axes d'étude fréquemment explorés par ces travaux sont la mesure quantitative de l'influence [137, 95, 84, 84, 88, 136], l'influence sociale et la corrélation dans réseaux sociaux [71], la profondeur de l'influence sociale et sa durée [84, 3, 32], la propagation de l'influence sociale et sa maximisation [152, 53, 78, 104, 153, 125], l'effet de l'influence sociale en ligne sur les activités de la vie réelle (hors ligne) [143]. Malgré le manque de standard, en termes de définition et d'indicateurs universels sur la notion, chaque auteur se base sur ou propose une définition de l'influence sociale pour présenter ses travaux avec une démarche raisonnable afin de mieux se faire comprendre.

4.2.1/ DÉFINITIONS DE L'INFLUENCE

De manière générale, l'influence désigne "une action, généralement continue, qu'exerce quelqu'un ou quelque chose sur quelque chose ou sur quelqu'un"¹. Elle est exercée par manipulation de l'émotion ou de l'intérêt d'un ensemble d'entités. Mucchieli stipule que *influencer* signifie : faire surgir, par des manipulations contextuelles, un sens qui s'impose aux interlocuteurs et qui les amène à agir en conformité avec l'influenceur [82]. Cette définition est particulièrement intéressante, parce qu'elle fait ressortir la notion de manipulation qui consiste à orienter des sujets, souvent à leur insu, vers une action ou une directive. Elle évoque également l'aspect contextuel de la notion. Cet aspect rend la notion ambiguë et la présente sous plusieurs dimensions parmi lesquelles nous distinguons la dimension économique et financière, la dimension culturelle, la dimension géopolitique, la dimension politique et la dimension des compétences. À chacune de ces dimensions nous pouvons associer une l'influence que nous définissons comme suit :

- L'influence culturelle définit la prévalence des normes, des coutumes et des comportements prônés par une culture dans une société.
- L'influence géopolitique est l'importance politique et décisionnelle accordée à un pays, une institution ou une organisation internationale, grâce à ses attributs économiques, financiers et militaires, dans une zone géographique déterminée.
- L'influence économique et financière désigne la pression que peut exercer une entité grâce à ses dispositions matérielles et financières, ou à son intelligence économique.
- L'influence politique désigne les privilèges accordés à une entité grâce à des attributs politiques.
- L'influence des compétences pour une entité définit l'influence qu'elle acquiert grâce à son savoir, son savoir-faire et son expertise dans un ensemble de thématiques données.

Ces dimensions de l'influence, bien que différentes, ont des points communs que sont la pression exercée et l'effet suscité. Elles se diffèrent par les sources qui occasionnent l'effet produit. À travers celui-ci, toute forme d'influence devient un phénomène fondamental et une plus value dans toute communication qui, quelle que soit sa nature (la propagande, la vente, la persuasion, la publicité, la séduction...), vise à partager le sens profond de quelque chose. L'influence facilite ce partage parce qu'elle opère une inflexion

1. Larousse : <https://www.linternaute.fr/dictionnaire/fr/definition/influence/>

chez les sujets influencés qui auraient pu penser ou agir autrement s'ils n'étaient pas sous l'emprise de l'effet produit [82]. Dans ce sens, l'influence contribue à la création ou au renforcement du capital social de toute entité sociale. Cette plus value sociale créée conduit à une dimension générique de l'influence. Cette dimension générique est dénommée *l'influence sociale*. Celle-ci est générique dans le sens où les influences culturelles, économiques, politiques et autres participent à son accroissement au sein d'un environnement. Et en tant que phénomène pluridimensionnel, l'influence sociale admet plusieurs définitions qui varient légèrement en fonction du domaine d'application.

4.2.2/ INFLUENCE SOCIALE

La psychologie définit l'influence sociale comme **une pression d'un groupe ou de la société, en général, sur l'individu. Elle a pour conséquence de modifier, de modeler progressivement les comportements et les attitudes dans la direction des patterns qui prévalent dans une culture donnée** [146]. En sociologie, elle est définie comme **l'influence exercée par un individu ou un groupe sur chacun de ses membres afin d'imposer des normes dominantes en matière d'attitude et de comportement** [2].

Le comportement désigne les idées, les actions et la manière de les exprimer a priori en publique. C'est un facteur important à considérer pour évoluer sereinement dans une société, dans le cas où il correspond aux patterns comportementaux mis en place par le groupe dominant. Dans le cas contraire, il est un motif fréquent de déviance et de rejet social. En ce qui concerne l'attitude, elle désigne la conviction individuelle vis-à-vis des comportements qui prévalent dans un groupe [3, 82]. Elle définit le fort intérieur de l'individu. Contrairement au comportement, l'attitude est sincère et correspond réellement à la personnalité de l'individu. A posteriori, le comportement adopté et répété régulièrement a tendance à devenir une attitude.

Dans l'inflexion créée par l'influence sociale, l'individu est sans cesse pris entre deux raisonnements différents et souvent conflictuels que sont :

- le désir d'être similaire et de se conformer aux normes établies afin d'être acceptable et d'éviter le rejet social ;
- et le désir de garder sa spécificité, son originalité, donc dans une certaine mesure de se démarquer des autres individus.

Ces conséquences contradictoires font de l'influence sociale, la cause principale de certains phénomènes sociaux tels que l'autorité, la persuasion, l'imitation, le charisme ou même la résistance [82]. Cette causalité fait qu'elle se manifeste de différentes manières et change en fonction du contexte.

4.3/ CONTEXTUALISATION ET TYPOLOGIE DE L'INFLUENCE

L'une des difficultés majeures de l'analyse de l'influence sociale réside dans son aspect contextuel [3, 146]. Celui-ci rend la notion complexe et ambiguë mais en même temps, il facilite l'identification des facteurs qui occasionne l'influence et sa propagation. Cette contextualisation indique également les cibles et la portée d'une d'influence.

4.3.1/ CONTEXTE DE L'INFLUENCE

L'influence sociale est contextuelle par le fait qu'elle est dépendante d'un environnement dans lequel toute entité influente est censée avoir une certaine capacité par rapport à des thématiques et à des domaines de compétences. Observons l'exemple suivant qui permet de se faire une idée sur la question :

Nous admettons tous que Bill Gate est une personne très écoutée et respectée dans le domaine des technologies de l'information et de la communication (TIC) et dans le milieu des affaires. Il est qualifié d'expert en informatique et il est un riche homme d'affaire dans les TIC et dans la philanthropie. Ainsi, tout ce qu'il dira sur ces sujets sera tamisé, attirera l'attention des acteurs de ces domaines et fera le tour du monde très rapidement. Mais est-ce pour ces raisons que la même attention et le même crédit lui seront accordés quand il évoquera une tactique de jeu pour une équipe de football ? Les acteurs de ce sport accorderont-ils autant d'importance à ses propos sur les TIC que les acteurs de ce domaine ?

Bill Gate n'étant pas connu comme dynamique, populaire ou compétent dans le football, même si l'environnement sportif utilise massivement des outils des TIC (caméras, capteurs de rythme cardiaque, podomètre, goal line technology ou vérificateur de but marqué...) actuellement, la réponse positive à aucune de ces deux questions n'est évidente.

Cet exemple nous montre qu'en amont, les facteurs qui suscitent une dimension donnée de l'influence ne suffisent pas toujours à occasionner une autre. Par exemple, les vertus et la prévalence d'une culture, qui occasionneraient l'influence culturelle, ne prévaudraient pas forcément dans un environnement géopolitique fonctionnant suivant d'autres règles et privilégiant d'autres facteurs différents de la culture (seulement).

De la même manière en aval, les sujets d'une influence peuvent aussi être des facteurs de différenciation, donc de contextualisation. Dans ce sens, *un adolescent sans repère solide, qui n'a de considération que pour la musique ou le football est facilement influençable par les actions et les propos d'un Justin Bieber (célèbre musicien Américain) ou Neymar Jr (célèbre joueur Brésilien de football) entre autres. Par contre, un jeune bachelier qui ambitionne de devenir politicien aura tendance à se laisser affecter par les actions et les dits d'un Barack Obama, d'une Madame Merkel par exemples.* Il faut comprendre que le mot *affecter* peut aller dans le sens positif comme dans le sens négatif. Dans le premier cas, il produit une tendance à adopter ou à reproduire les idées et les actions prônées. Dans le dernier, il occasionne une résistance aux et un rejet des idées et actions promues.

Au regard de son qualificatif contextuel, l'influence sociale d'une entité doit adéquatement être déterminée dans une zone et dans des domaines de compétence délimités. C'est un phénomène local. Cependant, l'entité influente peut avoir de l'influence dans différents domaines de compétence ou dans différentes zones, donc elle peut plusieurs influences locales. L'agrégation de ses influences locales lui confère une influence qualifiée de globale [137].

Sur un tout autre plan, l'aspect contextuel de l'influence réside dans ses principales caractéristiques et vertus dans une société réelle. Elles sont résumées ci-après :

- l'incarnation des valeurs sociales [136]. Les membres qui incarnent et symbolisent les valeurs de la société suscitent facilement de l'engouement chez les autres qui,

- par conséquent, s'identifient à eux et sont disposés à les suivre ;
- les compétences [136]. Dans leurs domaines professionnels et éventuellement d'autres domaines, ces membres dégagent de la crédibilité grâce à leur savoir et savoir-faire ;
 - le positionnement social stratégique [136]. Ces membres sont connectés à beaucoup d'autres membres respectables et respectés dans leur communauté ou dans d'autres communautés. Ils ont de la notoriété.

Les individus ayant ces vertus sont considérés comme influents dans ladite société. Or, ces caractéristiques inhérentes à l'influence sociale s'inscrivent chacune dans un contexte. Donc, elles sont témoins de son aspect contextuel. Par exemple, les valeurs sociales varient d'une société à une autre, les compétences changent selon l'environnement et le domaine. Quand ceux-ci changent, ces vertus ne seront pas appréciées de la même manière. Par conséquent, l'influence sociale qu'elles engendrent changera de forme ou de degré. Elle se manifestera différemment. De ce fait, plusieurs formes de l'influence sociale sont distinguées.

4.3.2/ TYPOLOGIE DE L'INFLUENCE

Les deux principaux types connus de l'influence sociale sont l'**influence sociale informationnelle et celle normative** [2].

Le premier type est l'**influence qui permet d'accepter l'information obtenue de quelqu'un d'autre (individu ou groupe) comme preuve de la réalité** [2]. Il se produit quand le sujet influencé n'est pas en mesure d'évaluer la réalité d'une chose par lui-même, soit par incapacité intellectuelle ou matérielle d'appréhender tous ses contours et sa profondeur, soit par manque de temps de le faire. Dans ce cas, le sujet accorde du crédit à l'information provenant d'une autre entité de confiance.

Et le second type est l'**influence visant à se conformer aux attentes positives de quelqu'un d'autre (individu ou groupe)** [2]. C'est le type d'influence produit, généralement, à l'adhésion dans un nouveau groupe. Le sujet accepte cette influence afin d'entrer ou de rester dans les normes mises en place par ledit groupe. Des normes qui, a priori, régissent le bon fonctionnement de l'entité influente. A posteriori, ces normes peuvent être bousculées et transgressées par des sous-groupes. Cela résulte d'une sanction (un blâme ou un rejet) des membres de ces sous-groupes, d'une modification ou d'une suppression des normes initialement établies au profit d'autres initiées par les membres déviants.

Au-delà de ces types, les différents phénomènes sociaux couverts par l'influence sociale et les facteurs socio-culturels, économiques et politiques, qui l'engendrent, permettent de la décrire sous différentes formes. Celles-ci se distinguent par **la profondeur, les lieux et la durée de manifestation** de l'influence sociale dont la visée principale est de faire adopter une idée ou un comportement.

D'une part, cette adoption peut être apparente comme c'est généralement le cas quand elle est faite sous certaines contraintes telles que la peur du rejet, le souci de l'abandon par le groupe influent. Dans ce cas, elle est faite sans conviction, elle est manifestée publiquement et uniquement dans le comportement du sujet influencé [3]. Tant que ces contraintes demeurent alors cette influence demeurera.

De l'autre, quand le sujet influencé comprend les raisons de l'adoption et quand il est convaincu de son importance dans la résolution de ses problèmes alors l'influence peut

être plus profonde, même sans aucune contrainte. Dans ce cas, l'influence est manifestée aussi bien en publique qu'en privée. Elle est sentie non seulement dans le comportement mais aussi dans l'attitude du sujet influencé. Par conséquent, elle dure plus longtemps [3].

En fonction de ces trois paramètres, les formes de l'influence sociale sont les suivantes :

- le conformisme. Il désigne le fait que sous la pression, l'individu se soumet et adopte les normes de comportement privilégiées par le groupe dominant. Cela ne se fait pas toujours dans la conscience [146]. C'est l'influence qui se produit quand un individu adopte le comportement pour le gain d'une récompense particulière et non par conviction [3]. En conformant, le sujet influencé espère une réaction favorable du groupe influent ou une approbation sociale spécifique. Les satisfactions découlant de la conformité sont le gain et l'acceptation sociale obtenus ;
- la comparaison sociale ou l'identification. Elle désigne le fait qu'un individu se compare à autrui lorsqu'il est séduit par les opinions ou les actions de ce dernier et qu'il n'est pas sûr de la validité des siennes ou qu'il les juge insuffisantes. Chaque homme essaie ainsi de situer ses propres capacités par rapport à celles des autres [146]. Cette comparaison renvoie le comparant à s'ajuster et à s'identifier au comparé pris comme modèle. Elle est faite pour diverses raisons telles que rehausser l'estime de soi, apprendre de nouvelles choses, améliorer ses compétences, etc. Elle entraîne l'adoption des comportements et actions, prônés par le comparé, avec plus ou moins de conviction sur leur pertinence [3]. Du point de vue du sujet, le plus important ici n'est pas réellement la pertinence mais plutôt l'efficacité des idées et des actions du comparé. Le sujet croit que ces actions et idées constituent la solution à des problèmes auxquels il est confronté. Il souhaite ainsi se mettre à la place du comparé, pouvoir faire tout ce que celui-ci fait et ressentir le semblant prestige qu'il a. Ce prestige peut être qualifié d'apparent parce que c'est ce que le modèle fait croire mais la réalité peut s'avérer être autre chose. Généralement, cette identification est unidirectionnelle, elle va du sujet vers son modèle [3].
- la normalisation. Elle est le respect des normes communes élaborées par un groupe pour garantir son bon fonctionnement [146]. Les membres du groupe doivent accepter les règles de conduites et les comportements partagés. Ainsi, tout individu qui souhaite faire partir de ce groupe adhère, a priori, à ces normes au moins publiquement sans forcément y adhérer individuellement. C'est une sorte de conformisme profonde parce que celle-ci est une adoption consciente et volontaire du pattern mis en place [146].
- l'intériorisation ou internalisation. C'est la forme d'influence produite quand les idées et les actions promues sont adoptées par l'individu influencé sans contrainte de rejet ou d'abandon. Il a la conviction que ces actions et ces idées sont pertinentes, qu'elles conviennent à ses valeurs. Le sujet influencé comprend suffisamment ces idées et ces actions, il les a analysé et est convaincu de la grande contribution qu'apportera leur adoption à la résolution d'un problème de son environnement individuel ou social [3]. L'acceptation est ainsi publique et privée (individuelle). La satisfaction qui découle de cette forme d'influence est le sentiment de contribuer à la résolution de problèmes posés dans la vie individuelle ou dans la société [3].
- l'innovation. Très généralement, l'influence sociale fonctionne dans le sens d'un groupe relativement puissant (matériellement, intellectuellement...) ou majoritaire vers un groupe moins puissant ou minoritaire, voire vers l'individu. Cependant, elle peut être exercée dans le sens inverse parfois. Une minorité de personnes, voire

un individu influence une majorité grâce à de nouvelles idées, de nouveaux comportements et attitudes. Pour ce faire, les idées et les actions traditionnellement adoptées par la majorité sont bousculées progressivement par celles de la minorité. Cette forme d'influence sociale est appelée l'innovation [3]. De son initiation à son acceptation, la minorité en question passe souvent par le statut de déviant, c'est à dire de résistant à l'influence du groupe majoritaire et de résilient aux actions et aux idées traditionnelles adoptées dans celui-ci. En outre, cette minorité doit :

- être cohérente et consistante dans ses nouvelles propositions d'idées et d'actions ;
- avoir confiance en elle ;
- avoir le soutien progressif d'une partie, voire de l'intégralité de la majorité.

Certains moyens de pression tels que le chantage, le pouvoir financier, le pouvoir d'intimidation peuvent, à court terme, contribuer fortement à la propagation d'une telle influence. Cependant, pour qu'elle soit profonde, totale (publique aussi bien que privée) et pérenne, la confiance en l'individu influenceur, la crédibilité des actions promues, leurs utilités et leur compréhension relativement facile sont des facteurs qui doivent être à l'avant garde de sa propagation. Ces facteurs sont des garants de la qualité de l'influence véhiculée.

L'innovation est la forme d'influence qui explique la diffusion en masse de certains appareils électroniques comme les téléphones intelligents, les tablettes, des jeux vidéo et de certaines tendances de la mode. C'est également la forme d'influence la plus fréquente sur les réseaux sociaux numériques, dans la mesure où une publication jaillit toujours d'un premier utilisateur vers un ensemble d'autres qui éventuellement la propageront et l'adopteront. Sur ces plateformes, la propagation précède l'adoption parce que les appréciations ("*j'aime*"), les commentaires et les partages des utilisateurs sont souvent faits sans une réelle conviction sur la pertinence du contenu des publications.

Ces réseaux sociaux, grâce aux services de réseautage social et de partage de contenu digital qu'ils offrent, ont donné naissance à une nouvelle forme de promotion d'idées, d'actions et de services. La propension de ces plateformes poussent à s'intéresser et à réfléchir à une autre forme de représentation de l'influence sociale plus adaptée aux réalités de cet environnement virtuel et numérique.

4.4/ INFLUENCE SOCIALE DANS LES RÉSEAUX SOCIAUX NUMÉRIQUES

Sur les réseaux sociaux numériques, les idées et les incitations à l'action se propagent comme une épidémie [71]. Les utilisateurs s'abonnent les uns aux espaces des autres, ils font des publications, aiment, commentent et partagent d'autres publications. Ils entretiennent dans ces plateformes des interactions souvent très actives à travers les commentaires et les partages. Certains utilisateurs sont plus réguliers et dynamiques dans l'usage. Ils font fréquemment des nouvelles publications, ils commentent et partagent leurs propres publications et celles d'autres utilisateurs. Leurs publications captent facilement l'attention des abonnés et créent ainsi de l'engouement chez ces derniers. Elles créent ce que nous appelons une *euphorie virtuelle dans ces plateformes*. D'autres utilisateurs sont moins réguliers dans l'usage mais ils parviennent tout de même à susciter de l'engouement chez leurs abonnés.

Ces utilisateurs très ou moyennement dynamiques ont une certaine capacité à faire agir les autres, à les inciter à produire ou reproduire une action, une idée, etc. Ils font vibrer les réseaux sociaux numériques et sont reconnus comme ayant une certaine influence, autorité et réputation dans ces plateformes. En raison de ces vertus, ils sont appelés influenceurs [103, 84, 95], leaders d'opinion [136, 111, 115], utilisateurs alpha [88], etc.

L'analyse de l'influence dans les médias sociaux est un champ de recherche très actif et attrayant ces dernières années tant du côté des universitaires que des industriels et des entrepreneurs. Chacun tente de donner une signification à la notion, de trouver un moyen de l'évaluer, de savoir ce qu'elle représente pour un utilisateur dans la vie sociale en ligne et hors ligne.

Par exemple, Cha et al définissent l'influence d'un utilisateur dans un réseau social numérique comme son potentiel à amener les autres à s'engager dans un acte [84]. Cette définition peut être complétée par celle-ci : c'est **l'habilité à causer de l'effet, à modifier les comportements et à générer des résultats mesurables en ligne (sur l'Internet)** [114, 95]. Ces deux définitions sont similaires et se joignent à celles indiquées dans la section 4.2.1. Toutefois, la seconde se distingue des autres par la mise en avant de l'environnement numérique. Dans nos travaux, nous considérons l'influence dans les médias sociaux comme **la capacité d'un utilisateur à causer de l'effet sur d'autres, à modifier leurs comportements en les amenant à s'engager dans un acte par le biais d'actions mesurables en ligne.**

"Mesurable en ligne" signifie que l'environnement concerné est l'intérieur de ces médias sociaux. Seules les activités effectuées dans ces plateformes virtuelles sont prises en compte. L'influence sociale d'un utilisateur est ainsi déterminée par l'engouement que suscitent les actions qui traduisent ses activités dans la plateforme. Pour un utilisateur, ces actions en ligne sont ses publications, les commentaires, les partages, les appréciations qu'elles reçoivent dans la plateforme. Dans la suite du document, nous appellerons cette influence : **l'influence numérique de l'utilisateur.**

L'expansion du Web 2.0², grâce aux services de partage de contenu digital et de réseautage social qu'offrent les réseaux sociaux, a fait naître un engouement particulier chez les universitaires et les entreprises à s'intéresser à l'influence numérique et à son analyse.

4.4.1/ ANALYSE DE L'INFLUENCE NUMÉRIQUE

L'analyse de l'influence numérique vise à appréhender ces contours de la notion. Les intérêts sont nombreux. Par exemple, elle permet à une entreprise de nourrir ses réseaux avec des partenaires influents identifiés grâce aux nombreuses approches élaborées par les universitaires et autres chercheurs. Ladite entreprise peut ainsi motiver ces d'influenceurs identifiés à oeuvrer pour ses profits, à travers les promotions qu'ils feront de ses produits et ses services sur les réseaux sociaux numériques.

En outre, ces plateformes font partie de notre quotidien pour diverses raisons telles que la communication, le partage et la consommation d'information, le travail collaboratif, etc. Au regard de leur nombre exponentiellement croissant au quotidien sur certaines pla-

2. Le Web 2.0 est le Web orienté vers les réseaux sociaux numériques. Concrètement, il s'agit d'incorporer dans les applications Web des fonctionnalités d'échanges sociaux comme des commentaires, des appréciations ou des partages et éventuellement de réseautage. Il a révolutionné l'e-commerce grâce au marketing digital et viral.

teformes, l'affichage des publications par ordre chronologique n'est pas toujours la plus adaptée [111]. Par exemple, sur une plateforme d'e-commerce, il serait plus approprié pour une consommation large et efficace d'afficher les publications par ordre d'influence numérique de leur auteur [111]. Ce principe est l'essence même du marketing viral et digital [128, 97]. Pour ce faire, il faut évaluer cette influence qui a plusieurs dimensions.

L'évaluation de l'influence numérique consiste à la donner une appréciation quantitative et qualitative. L'évaluation quantitative désigne l'estimation d'un score pour l'influence numérique d'un utilisateur d'une plateforme. De manière générale, elle est difficile parce que la notion d'influence ne se prête pas facilement à une quantification [88]. L'évaluation qualitative l'est encore plus, à cause du manque de standards clairs pour la notion de qualité et de son ambiguïté [6]. Une autre cause de ces difficultés réside dans le fait qu'en plus de l'aspect très contextuel de l'influence sociale, ses composants essentiels tels que le choix d'une personne, l'expression et l'interprétation émotionnelle de ses sentiments ne sont pas reproductibles de manière efficace dans des systèmes informatiques [84, 88]. Il est donc important de comprendre que l'influence sociale numérique d'un utilisateur n'est pas forcément révélatrice de celle qu'il a dans la vie réelle [141]. De ce fait, pour l'évaluation de la première, il faut identifier et définir des indicateurs qui la déterminent.

4.4.2/ INDICATEURS DÉTERMINANTS DANS L'ÉVALUATION DE L'INFLUENCE NUMÉRIQUE

De nombreux travaux ont identifiés des indicateurs pour mesurer quantitativement l'influence numérique d'un utilisateur. Dans les premières années de ces plateformes, le nombre d'abonnés d'un utilisateur sur le réseau définissait son score d'influence numérique mais cette mesure a été rapidement révolue [103, 95, 88, 143, 113, 134]. En réalité, la grande popularité définit l'audience numérique qui peut ne pas prêter d'attention à ce que l'utilisateur publie. Ce qui contredit la signification même de l'influence numérique. Néanmoins, l'audience reste un indicateur important quand elle est combinée avec d'autres.

Ensuite, les actions témoins de l'attention reçue par une publication ont été considérées. Ces actions sont principalement le partage d'une publication (appelé par le même nom sur Facebook ou LinkedIn, par retweet sur Twitter, etc.), les commentaires/mentions et les appréciations. Ces indicateurs sont mis en avant dans des travaux comme [103, 95, 84].

Dans les réseaux sociaux dont les relations sont asymétriques comme Twitter, le ratio abonnés/amis est aussi considéré. Pour un utilisateur A , ce ratio signifie la proportion entre le nombre d'utilisateurs qui le suivent (ils sont dénommés ses abonnés ou followers en anglais) et le nombre de ceux suivis par A (ils sont appelés ses amis, suivis ou followed en anglais). Cependant, ce ratio seul peut entraîner une erreur d'interprétation dans ce genre de plateforme. Par exemple, les robots-suiveurs peuvent l'accroître inutilement. Ce sont des agents informatiques sur la plateforme qui suivent instantanément un autre membre qui les suit sans porter d'attentions à ses éventuelles publications. C'est la raison pour laquelle, cet indicateur doit être conjugué avec d'autres qui attestent l'attention des abonnés, en occurrence les commentaires et les partages.

Solis et al considèrent l'influence comme une représentation du capital social d'un utilisateur [114]. Ce capital définit son attractivité, sa créativité, sa crédibilité et son originalité. Récursivement, il est un cumul de facteurs socio-culturels, économiques ou politiques qui contribuent à l'amélioration de la capacité d'influencer. Pour développer l'influence numé-

rique, tout utilisateur doit tenir compte de certains piliers lors de ses publications sur un réseau social numérique. Ces piliers sont gages de l'attention de ses abonnés [114]. Ils sont décrits ci-après :

- *la portée* [114]. Elle est définie comme l'enthousiasme avec lequel les membres du réseau accueillent une publication. La portée est mesurée par le nombre d'appréciation (*j'aime*), de commentaires. Ce nombre peut être relativement élevé avec une audience assez grande sur le réseau ;
- *la pertinence* [114]. Elle désigne la clarté, la concision et la précision du message qui est passé dans une publication, ainsi que le degré d'affinité que celle-ci suscite chez les membres. La pertinence aide à atteindre une large portée parce qu'elle peut être la source de l'intérêt que les membres du réseau accordent à l'utilisateur, via ses publications. Cet intérêt se manifeste par un nombre élevé de commentaire et de partage des publications ;
- *la résonance* [114]. Elle indique la durée sur laquelle une publication peut rester le centre d'attention des membres du réseau. La résonance est fortifiée par les deux piliers précédents.

La prise en compte de ces trois piliers dans ses publications permet à un utilisateur d'accroître les taux des indicateurs utilisés dans l'évaluation quantitative de son influence numérique. Ces indicateurs sont récapitulés dans la table 4.1.

4.4.3/ ÉVALUATION QUANTITATIVE DE L'INFLUENCE NUMÉRIQUE

L'évaluation quantitative de l'influence numérique d'un utilisateur fournit un score calculé et basé des indicateurs de la table 4.1. Les travaux scientifiques qui ont traité la question sont nombreux. Par conséquent, les approches proposées pour le calcul de ce score sont diverses et variées.

Par exemple, Cha et al proposent une approche qui utilise le nombre d'abonnés, le ratio de commentaire et le ratio de retweet [84]. L'hypothèse qui motive le choix de ces indicateurs est que l'influence sociale se diffuse par des personnes ordinaires qui sont disponibles pour adopter les actions et les idées promues. L'audience représente ces personnes, leur disponibilité est déterminée par les mentions et les retweets. Suivant les indicateurs exploités, les utilisateurs influents sont catégorisés en trois types : les influents par nombre d'abonnés, les influents par mention/commentaire et les influents par retweet. Les résultats de cette étude mettent en exergue l'aspect contextuel de l'influence en montrant que son score varie en fonction des sujets et du temps. Ils indiquent également que :

- les services de média tels que les journaux, les TV et les radios ont plus d'influence par retweet et non par mention. Cela est justifié par le fait qu'ils produisent des publications pertinentes par leur contenu ;
- les célébrités comme les artistes, les acteurs, les footballeurs sont les plus influentes par mentions (commentaires) et non par retweet. Cela est dû au poids de leur nom. Par contre, toutes ces célébrités ne produisent pas forcément de contenu pertinent ;

TABLE 4.1 – Les indicateurs utilisés dans le calcul du score d'influence social dans un média social.

Indicateur d'influence	Description	Avantages	Insuffisances
Nombre d'abonnés	Nombre d'utilisateurs qui sont abonnés au fil de publication d'un utilisateur A et éventuellement ceux à qui A est abonné pour le cas des médias sociaux à relation symétrique	Il permet d'estimer la popularité de A et aide également dans le calcul des ratios d'interaction et de consommation.	Seul, il n'est pas révélateur de l'influence sociale parce que A peut avoir des abonnés passifs.
Ratio de commentaire/mention	C'est le rapport entre le nombre de commentaires/mentions reçus et le nombre de publications effectués par A	Il détermine l'état de pertinence du contenu de la publication en termes d'utilité, de divertissement ou de nouveauté	La positivité ou la négativité des commentaires, qui indique de la qualité à l'influence, n'est pas prise en compte.
Ratio de retweet	C'est le rapport entre le nombre de publications partagés et le nombre de publications effectués par A	Il détermine l'état pertinence du contenu de la publication en termes d'utilité, de divertissement ou de nouveauté.	Il doit être combiné avec les commentaires pour plus de précision.
Sensibilité aux sujets évoqués	La fréquence à laquelle les thèmes évoqués dans les publications de A sont commentés et mentionnés dans celles de ses abonnés.	Elle permet de définir les thématiques dans lesquelles A est plus influent. Il peut ainsi s'y consacrer au lieu de divaguer sur des sujets dans lesquels il n'est pas suivi.	Un autre utilisateur peut être sur les mêmes thématiques que A , être son abonné sans être influencé par lui.
Passivité des abonnés	La négligence que portent les abonnés de A sur ses publications.	Elle permet d'identifier les abonnés passifs de A et de détecter les spammeurs et les robots dans son réseau.	Vu l'aspect temporel de la mesure de l'influence, un utilisateur peut ne pas être dynamique pendant un moment de l'extraction des données sans pourtant être passif dans le réseau.
Appréciations (<i>j'aime, favoris ou like</i>)	Les cliques sur le bouton <i>j'aime</i> ou <i>favoris</i> , que reçoivent les publications de A .	Ils traduisent la vue des publications de A par ses abonnés. Ils peuvent être associés à son audience pour évaluer la qualité de celle-ci	Cet indicateur n'est pas fréquemment utilisé dans les approches, pour la simple raison qu'un abonné peut déclarer apprécier une publication en cliquant sur ce bouton sans vraiment porter attention à son contenu.
Publications	L'ensemble des publications faites par A sur son espace.	C'est un indicateur du dynamisme de A dans la plateforme. C'est le pivot qui crée la plupart des autres indicateurs.	Même si le nombre de publication est déterminant dans l'évaluation de la régularité d'usage des médias sociaux, sans les autres indicateurs, il n'est pas révélateur de l'influence numérique.
Commentaires émis	Les commentaires que A fait sur les publications des autres.	C'est un indicateur du dynamisme de A dans la plateforme.	Ils ne sont pas fréquemment utilisés parce qu'ils déterminent plus la consommation des contenus des autres par A que sa propre influence sur eux.
Commentaires reçus	Les commentaires que les publications de A reçoivent.	Ils témoignent l'attention accordée aux publications de A dans la plateforme dans son réseau.	Bien que très important comme indicateur d'influence de A , un commentaire reçu peut être négatif.
Partages (ou Retweets) émis	Les partages, que A fait, des publications des autres.	C'est un indicateur du dynamisme de A dans la plateforme.	Ils révèlent les mêmes observations que les commentaires émis.
Partages (ou Retweets) reçus	Les partages que les publications de A reçoivent.	Ils témoignent la pertinence du contenu informationnel des publications de A .	Bien que très apprécié aussi comme indicateur d'influence, un retweet peut être fait par affinité et pas forcément par pertinence de contenu de la publication. Par conséquent, il ne témoigne pas à tous les coups l'influence de A .

- les autres utilisateurs influents comme les leaders locaux d'opinion et religieux sont influents par retweet et par mention parce qu'ils produisent du bon contenu et prennent le temps d'interagir avec leurs abonnés ;
- les utilisateurs qui ont les plus grands nombres d'abonnés n'ont pas forcément de bon ratio d'interaction. Donc, ils n'influencent pas en réalité. Cela est dû à la négligence et à la passivité de leurs audiences face à leurs publications qui ne sont pas jugées amusantes, utiles ou nouvelles. Une autre raison qui explique cela est le fait que les abonnés de ces utilisateurs sont majoritairement des robots suiveurs qui sont très nombreux sur Twitter par exemple.

Cette question de négligence ou de passivité face à une publication est traitée par Romero et al [103]. Leur approche calcule en parallèle la passivité et l'influence numérique d'un utilisateur. L'indicateur d'influence considéré est le ratio de retweet. Leur hypothèse est que l'influence numérique d'un utilisateur dépend :

- de la quantité et la qualité de ses abonnés ;
- et du dévouement qu'ont ses abonnés à accueillir et à interagir sur ses publications. Il est mesuré par le ratio de retweet que gagne l'utilisateur à travers l'ensemble de ses publications. Une valeur élevée de ce ratio indique une passivité faible des abonnés. Le réseau d'un tel utilisateur est dit constitué d'abonnés de qualité.

La même hypothèse stipule récursivement que la passivité numérique d'un utilisateur dépend aussi :

- de l'influence des utilisateurs qu'il suit ;
- et de sa résilience à accueillir leurs publications. Cette résilience est mesurée par le ratio du nombre de publication que l'utilisateur partage par rapport à la totale de celles qu'il effectue.

Un score global d'influence est calculé pour l'utilisateur en tenant compte de la passivité de ses abonnés et de l'influence de ceux-ci selon la conjecture qu'un utilisateur ayant beaucoup de publications partagées par des influenceurs est lui aussi susceptible d'être influent. L'algorithme proposé utilise le principe de PageRank [38, 49]. Il permet de faire une prédiction du score d'influence qu'aura une publication précise d'un utilisateur et d'évaluer la qualité de son audience. Cependant, il ne tient pas compte de l'impact de certaines interactions, en occurrence les commentaires que reçoivent les publications de l'utilisateur. Cela affecte l'efficacité du score d'influence numérique obtenu parce que même si Twitter est réputé être un média social basé sur les retweets [95], le taux de commentaires sur une publication d'un utilisateur témoigne de l'effet de son contenu sur les interlocuteurs. Donc, ce taux peut être témoin important de l'influence numérique de cet utilisateur.

Jabeur et al proposent une approche qui renforce le terme influenceur par *leader*. Ce dernier désigne un **utilisateur qui a l'habilité de motiver les autres et de susciter un mouvement communautaire** [111]. C'est un super influenceur dont l'influence est évaluée quantitativement en faisant une combinaison de son audience, le nombre de retweets et celui des commentaires que ses publications reçoivent. Les deux premiers indicateurs traduisent son influence qui est définie comme la **capacité de l'utilisateur à propager largement une information dans le réseau** [111]. Le troisième traduit sa capacité à susciter un mouvement communautaire. Cette capacité, combinée à son influence, détermine un score de leadership pour l'utilisateur.

Cependant, il n'est pas évident de différencier ces deux notions, le leadership et l'influence, dans les médias sociaux parce qu'elles sont fortement liées. Les publications d'un utilisateur peuvent recevoir plusieurs commentaires sans pour autant être partagées. Ce fait suffit-il pour conclure que cet utilisateur suscite un mouvement communautaire ?

Ces utilisateurs dont les publications reçoivent beaucoup de commentaires sans être partagées sont appelés *les discuteurs* au lieu d'influenceurs [111]. Toutes ces appellations variées des utilisateurs alpha d'un média social témoignent aussi de la contextualisation de l'influence numérique.

Cet aspect contextuel de la notion n'est pas en reste dans les travaux. Par exemple, Weng et al proposent une mesure qui calcule des influences relatives aux sujets de discussion d'un utilisateur. Le score global d'influence est obtenu par l'agrégation des différents scores d'influences relatives [88]. L'indicateur d'influence mis en avant est la sensibilité des abonnés de l'utilisateur à ses sujets de discussion. Pour cette étude, les mille twitterers (utilisateurs de twitter) les plus suivis de Singapour sont considérés. Pour chaque

utilisateur U , des sujets de discussion sont identifiés dans ses publications. Celles-ci sont extraites pendant une période de trois cents (300) heures. Ces publications constituent un document qui est analysé par LDA (Latent Dirichlet Allocation, une technique d'apprentissage machine non-supervisé) [50] afin d'identifier les sujets phares de discussion de U et de les stocker dans une matrice à deux dimensions, M .

$$M[u][s] = \text{Utilisateurs} \times \text{Sujets}$$

De la même manière, pour tous les abonnés de U , les sujets de discussion sont aussi identifiés. Par la suite, un vecteur $V(u)$ des sujets ($S(u)$) de U est construit :

$$V(u)_{\text{sujet}} = \text{Occurrence}(\text{sujet})$$

où *Occurrence (sujet)* pour un sujet est le nombre de fois où les abonnés de U l'évoquent dans leurs publications. Ce nombre est obtenu en comptant les abonnés de U qui utilisent (par publication ou par retweet) ledit sujet au moins une fois dans leurs propres publications. En suite, un pourcentage de sensibilité des abonnés est calculé pour chaque sujet de U dans un vecteur $Inf(u)$ définit ci-après :

$$Inf(u)_{\text{sujet}} = \frac{V(u)_{\text{sujet}}}{|Abonnés(u)|}$$

$Inf(u)$ contient les scores d'influence subjectives de U . Au final, son score d'influence globale est la moyenne de celles subjectives. Il est obtenu comme suit :

$$InfGlobale = \frac{\sum_{s \in S(u)} Inf(u)_{\text{sujet}}}{|S(u)|}$$

Deux problèmes découlent de cette approche :

- un utilisateur B peut être abonné de U et être sur les mêmes thématiques sans pour autant être influencé par lui. C'est à dire, B peut être un abonné passif à l'influence de U . Dans ce cas, la définition de la notion d'influence numérique serait remise en cause ;
- son hypothèse principale, qu'est la réciprocité dans la corrélation, n'est pas adoptée par la communauté. Or, elle biaise le score parce que le ratio abonnés/amis est un facteur neutre. En effet, l'hypothèse avancée dans ces études stipule que la réciprocité est la cause principale de la mise en relation des twiterers. C'est-à-dire quand un twiterer suit un autre, ce dernier, par sens de réciprocité, suit à son tour le premier. Cette hypothèse est infirmée dans beaucoup de travaux tels que [97, 103, 95, 84, 127] qui considèrent plutôt l'influence sociale comme cause principale de corrélation.

Un autre exemple de travaux mettant l'accent sur l'aspect contextuel de l'influence est ceux de Wei et al. Ils considèrent l'influence numérique finale d'un utilisateur comme une agrégation d'une influence locale ($Linf$) et d'une autre globale ($Ginf$) [137].

$Linf$ désigne des influences subjectives gagnées au sein des petites communautés auxquelles l'utilisateur adhère. L'hypothèse avancée stipule que cette influence locale est basée sur les compétences que l'utilisateur met au service de ces communautés et sur la notoriété qu'il a au sein de celles-ci. Pour évaluer l'influence locale, un degré de notoriété

(r_{User}) est calculé. Il définit à quel point l'utilisateur est connu dans la communauté. De même, un degré de compétence (c_{User}) lui est attribué grâce aux commentaires et retweets que reçoivent ses publications relatives aux thématiques abordées dans la communauté. L'identification de ces thématiques est faite grâce à la technique LDA. Une combinaison linéaire des deux degrés donne l'influence locale $Linf$ de l'utilisateur. Elle est obtenue par la formule suivante :

$$Linf = \alpha \times r_{User} + (1 - \alpha) \times c_{User}$$

α est un coefficient entre 0 et 1. Il est introduit dans la formule pour la normalisation. Si l'utilisateur est dans plusieurs communautés, une moyenne de ses différentes influences locales est calculée.

$Ginf$ est l'influence globale acquise dans la plateforme entière considérée comme une grande communauté. L'hypothèse avancée stipule que cette influence est basée sur la notoriété de l'utilisateur dans la plateforme entière, c'est-à-dire son nombre d'abonnés [137]. La valeur finale de l'influence numérique de l'utilisateur est l'agrégation de $Linf$ et $Ginf$ suivant la formule suivante :

$$Inf = \beta \times Linf + (1 - \beta) \times Ginf$$

β est similaire à α .

Cette notion d'influence locale est intéressante. Elle met en évidence l'aspect contextuel de l'influence. En effet, un influenceur est une personne physique ou morale bien connue dans sa communauté. Elle est disponible pour son entourage et met ses compétences au service de celui-ci. Des compétences qui s'inscrivent toujours dans une dimension spatio-temporelle relativement délimitée. Cependant, la conjecture adoptée pour le choix de l'indicateur dans l'évaluation de l'influence globale $Ginf$ est infirmée dans beaucoup d'autres travaux [97, 114, 95, 84]. Il faut combiner ce nombre d'abonnés avec d'autres indicateurs pour un score plus précis et correspondant à la signification même de l'influence numérique [95].

Les retweets et les mentions sont les indicateurs mis en avant dans l'approche de Anger et al. Ces derniers calculent deux ratios décrits ci-après :

1. le ratio d'interaction des abonnés d'un utilisateur, obtenu par

$$\frac{\text{Nombre de mention ou retweet}}{\text{Nombre abonnées}}$$

(a)

2. et le ratio de consommation de contenus, obtenu par

$$\frac{\text{Nombre de retweet} + \text{Nombre de mentions}}{2 \times \text{Nombre de tweets}}$$

(b)

Le score global est calculé par

$$\frac{(a) + (b)}{2}$$

Le ratio d'interaction traduit la notoriété de l'utilisateur dans son réseau et témoigne de la qualité de son audience. Le ratio de consommation des contenus témoigne de la pertinence de ceux-ci et de l'intérêt qu'ils suscitent auprès des abonnés de l'utilisateur. Le choix de ces indicateurs est dû aux hypothèses suivantes :

- les informations sont d'abord vues et adoptées avant d'être propagées. Cette propagation est synonyme d'incitation à l'action ;
- l'influence sociale dépend des relations personnelles. De ce fait, le ratio d'interaction et le ratio de consommation sont révélateurs du potentiel de l'utilisateur.

Cette approche est relativement simple mais elle ne prend pas compte de la sensibilité exprimée sur les contenus, c'est-à-dire les sentiments exprimés dans les commentaires.

SYNTHÈSE SUR L'ÉVALUATION QUANTITATIVE DE L'INFLUENCE

Beaucoup de travaux de recherche traitent l'influence sociale dans les réseaux sociaux, au sens générale de la notion. L'identification et la caractérisation des nœuds centraux dans le réseau par les mesures de centralité en sont les préludes. Les plus utilisés de ces mesures sont la proximité (le nombre minimum d'arc qu'il faut pour un nœud pour atteindre tous les autres du réseau) et le degré d'adjacence (le nombre d'arcs qui arrivent vers ou partent d'un nœud) [88, 141]. Cependant, ces mesures ne sont pas adaptées pour l'analyse de l'influence numérique parce que d'autres facteurs tels que les choix, les avis, les compétences des utilisateurs et leurs interactions doivent être pris en compte [95, 84, 136].

Particulièrement sur le réseau social numérique, une panoplie d'approches et de mesure de l'influence a été développée. Certaines approches prennent en compte la structure du graphe formé par les utilisateurs du réseau [137, 103, 88, 136, 111]. Pour ce faire, elles utilisent des algorithmes basés sur PageRank. D'autres utilisent des actions simples qui attestent du dynamisme de l'utilisateur, de sa notoriété et de sa crédibilité sur le réseau [137, 103, 95, 84]. Parmi celles-ci, il y en a qui utilisent des formules mathématiques simples et d'autres, des formules relativement compliquées. Cependant, les indicateurs utilisés sont toujours ceux de la table 4.1. Ils ne sont pas utilisés en intégralité dans chaque approche mais tous les travaux que nous avons évoqué font usage d'au moins un de ces indicateurs.

En somme, les indicateurs pour l'évaluation quantitative de l'influence sociale sont connus. Les approches évoquées sont expérimentées sur des données extraites des systèmes réels tels que Twitter, Flickr et Sina pendant une période précise. Dans la plupart des cas, les différentes étapes du processus prennent beaucoup de temps. Ces étapes sont l'extraction des données et l'application de la formule sur les données extraites.

Toutefois, quelques questions demeurent sur les scores d'influence que fournissent ces différentes approches :

- Ces scores sont-ils révélateurs de la qualité de l'influence numérique acquise ?
- Quelles sont les caractéristiques de la qualité de l'influence sociale ?
- Comment cette qualité peut-elle être évaluée ?

Dans la suite, nous tenterons de répondre aux deux premières questions et donnerons des pistes pour la troisième en nous basant sur le processus de propagation de l'influence sociale à travers le modèle médiéval de réseau social que constituaient les enluminures médiévales du duc de Bourgogne.

4.5/ INFLUENCE SOCIALE QUALITATIVE

L'objectif de la quête et de l'exercice de l'influence sociale est de faire changer des comportements ou d'inciter à adopter des attitudes grâce à l'acceptation de certaines idées et à la reproduction de certaines actions. Kelman affirme que le degré, les lieux de manifestation et la durée de l'adoption des idées et des actions promues sont déterminants dans la qualité de l'influence sociale exercée [3]. Ils constituent donc ses indicateurs de qualité et sont détaillés dans la table 4.2.

TABLE 4.2 – Indicateurs de qualité de l'influence sociale

Indicateur de qualité	Description de l'indicateur
Degré d'adoption de l'influence	Il désigne la profondeur de l'adhésion de l'individu (du groupe) aux idées et actions promues.
Lieux de manifestation	Ils définissent les espaces de manifestation de l'influence et renvoient à l'adoption publique et/ou individuelle (en privée) des idées et des actions promues.
Durée d'adoption de l'influence	Elle signifie la période pendant laquelle les patterns de comportements établis sont acceptés et respectés par les sujets influencés.

Une influence plus profonde est ressentie aussi bien dans l'attitude que dans le comportement du sujet influencé. Vu qu'elle affecte l'attitude qui reflète le fort intérieur d'une personne, cette influence dure plus longtemps et se manifeste naturellement aussi bien en publique qu'en privé. C'est donc une influence de qualité.

Il est important de faire la différence entre les indicateurs de l'influence et ses facteurs. Les premiers sont déterminants de l'existence de l'influence et les seconds sont les causes qui l'engendrent ou les conséquences auxquelles elle aboutit. Ces indicateurs qualitatifs de l'influence sociale dépendent fortement de certains facteurs [3]. Ces derniers sont :

1. *la puissance de l'entité influente* [3]. Elle définit la force qui sert de levier à cette entité pour faire accepter son influence. Elle provient de différentes sources telles que le pouvoir (matériel, politique, militaire, autoritaire), l'affinité sociale ou culturelle, la clairvoyance, la crédibilité, l'expertise ;
2. *l'effet attendu* [3]. Il désigne l'apport attendu, à court et à long terme, de l'adoption des comportements dans le quotidien de la communauté influencée. Ce facteur est identifié à travers la clarté et la cohérence des messages véhiculés ou des actions effectuées par l'influenceur.

En fonction de la source de 1 et la nature de 2, l'influence sociale est manifestée sous une forme qui reflète les réponses internes (pensées, sentiments) et externes (actions) qu'apporte chaque membre de la communauté à propos de l'adoption des patterns de comportement promus. Ces formes qualitatives de l'influence sociale, plus détaillées dans la section 4.3.2, sont :

- *le conformisme*. Kelman montrent, grâce à ses expériences (la table 4.3), que cette forme d'influence est fréquente quand la puissance de l'influenceur est basée sur

le matériel et l'autorité. Elle se manifeste plus fortement s'il y a une sorte de surveillance des influencés [3]. C'est la raison pour laquelle il n'est pas rare de voir dans notre quotidien des individus de la basse classe sociale ou de la moyenne se laisser guider par ceux qu'ils considèrent être de la haute. Le but est de bénéficier des faveurs de ces individus influents ou de pouvoir les ressembler. De la même manière, une population sous un régime politique autoritaire peut adopter tout ce que dit celui-ci afin d'échapper à des sanctions. Transposée sur les réseaux sociaux numériques, cette forme d'influence suscite des retweets de contenu [95]. Un utilisateur, en partageant, espère accroître sa propre influence sans être forcément conscient qu'il augmente celle du créateur du contenu. Souvent, le partage est fait sans conviction sur la pertinence du contenu du message. L'acceptation est publique, d'où le retweet, et l'objectif est d'avoir une récompense de l'influenceur en particulier ou d'influencer d'autres individus en général. De ce fait, celui qui partage la publication devient un relayeur d'information. Cette forme d'influence ne dure pas forcément dans le temps parce que dès que le sujet influencé a une certaine liberté d'action intellectuelle ou matérielle, il peut la rejeter ;

- *l'identification*. Elle se produit quand l'individu souhaite établir ou entretenir une relation sociale, économique ou autres avec le groupe influent auquel il tente de s'identifier. Cette identification entraîne chez lui l'adoption des comportements avec plus ou moins de conviction sur leur pertinence. En général, elle est manifestée quand la base de la puissance de l'influenceur est l'attractivité et l'affinité sociale ou culturelle [3]. Sur les réseaux sociaux numériques, cette forme d'influence déclenche des tentatives d'entrer en contact par des commentaires et des messages privés dans l'objectif d'attirer l'attention de l'utilisateur influent ou de maintenir le fil des échanges avec lui [95]. L'identification est plus répandue sur les réseaux sociaux dans lesquelles la relation est symétrique tel que Facebook parce qu'avoir des amis influents donne l'impression de l'être également. L'adoption des idées et des actions est plus individuelle et l'effet de satisfaction est la relation maintenue avec le groupe. À l'instar de la conformité, l'identification ne dure pas dans le temps. Elle entraîne un changement de comportement, a priori. Cependant, elle peut engendrer un changement d'attitude a posteriori ;
- *l'intériorisation ou l'internalisation*. Elle est la forme d'influence la plus profonde et se manifeste quand la puissance de l'influenceur est basée sur la crédibilité et la pertinence de ses idées et ses actions [3]. C'est ainsi qu'a priori, un adolescent accepte d'obéir tout de suite quand un adulte lui dit de ne pas mettre sa main dans le feu parce qu'il est conscient de la pertinence de ce qui est dit et est convaincu des conséquences. Cette forme d'influence suscite des retweets et des mentions dans les réseaux sociaux numériques [95]. Engendrant un changement de comportement et de l'attitude, l'internalisation est plus pérenne.

La table 4.3 donne un récapitulatif de cette catégorisation qualitative de l'influence selon les expériences menées par Kelman [3].

4.5.1/ ANALYSE DE LA QUALITÉ DE L'INFLUENCE SUR LES RÉSEAUX SOCIAUX NUMÉRIQUES

Au-delà du comptage mécanique des actions mesurables en ligne, certaines approches tentent d'introduire des éléments de qualité dans leurs calculs du score d'influence nu-

TABLE 4.3 – Catégorisation qualitative de l'influence sociale selon la source de la puissance de l'entité influente.

Source : inspiré de [3]

<ul style="list-style-type: none"> • Lieu et cause d'adoption de l'influence (→) • Source de la puissance de l'entité (↓) 	<ul style="list-style-type: none"> • Publique (sous surveillance) • Volonté d'entretien de relation 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de surveillance • Volonté de maintien de relation 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de surveillance • Pas de volonté de maintien de relation 	Forme d'influence qualitative
Puissance basée sur le matériel et l'autorité	Forte (Influence)	Faible (Influence)	Faible	Conformisme
Puissance basée sur l'affinité	Forte	Forte	Faible	Identification
Puissance basée sur la l'expertise, la crédibilité et le savoir-faire	Forte	Forte	Forte	Intériorisation
Pas de puissance	Faible			Pas d'influence

mérique. Quelques unes donnent plus de priorité à une action plutôt qu'à une autre : le choix des retweets plutôt que les commentaires, celui de ces derniers au lieu des appréciations par exemples. D'autres ajoutent des coefficients de qualité dans les formules. Par exemple, Weng et al mettent en avant la sensibilité aux publications d'un utilisateur [88]. Cette notion de sensibilité contextualise l'influence sociale numérique. Elle fait ressortir davantage la similarité entre celle-ci et l'influence sociale réelle dans la vie.

Une autre référence à la qualité est la prise en compte de la passivité des abonnés d'un utilisateur. La passivité élimine les nœuds inactifs dans le graphe social dudit utilisateur [103]. Elle accroît la qualité de l'influence que ce dernier exerce. Cette allusion à la qualité est renforcée par Anger et al qui font une brève correspondance entre les actions mesurables en ligne et les différentes formes d'influence sociale indiquées [95].

Au delà de la recherche scientifique et académique, certaines de ces approches sont implémentées dans des systèmes opérationnels et professionnels. Les propriétaires de certaines de ces systèmes tels que Klout³ [134, 113], Kred⁴ [114, 97], PerIndex⁵ [114] indiquent avoir dans leurs algorithmes des coefficients de qualité qui permettent de considérer le score d'influence numérique calculé comme révélateur de celle de l'utilisateur dans la vie réelle.

Cependant, tous ces algorithmes ne sont pas publics. Ils sont donc inaccessibles pour juger de la véracité des affirmations de leurs propriétaires. En outre, aucune des approches que nous avons évoquées ne caractérise l'influence sociale numérique qu'elles obtiennent afin de savoir si elle est le conformisme, l'identification ou l'intériorisation. Or, ces trois formes de manifestation déterminent la qualité de l'influence [3, 82]. La correspondance établie par Anger et al [95] reste légère parce qu'elle n'utilise que des indi-

3. Klout est accessible à cette adresse <https://klout.com/home>. Créée en 2008, c'est une application web qui agrège des données issues de différents médias sociaux tels que Twitter, Facebook, Google+, LinkedIn, Wikipédia, Instagram pour mesurer l'influence sociale numérique d'un utilisateur.

4. Kred est accessible à <http://home.kred/>. C'est une plateforme web qui calcule deux métriques entre 0 et 1000. L'une est pour l'influence sociale numérique et l'autre pour le dynamisme (la fréquence des publications) qu'un utilisateur a dans twitter.

5. PeerIndex, www.peerindex.com, attribue un score maximisé à 100 à l'utilisateur suivant une analyse qu'il effectue sur Facebook, Twitter, LinkedIn et autres blogs.

cateurs externes ; ceux témoignant du dynamisme de l'utilisateur et de l'attention de ses abonnés sur les médias sociaux. Or, ces indicateurs ne constituent en réalité que la partie visible des déterminants de l'influence. Une autre partie pouvant être constituée du choix d'une personne et de ses sentiments n'est pas réellement représenté dans les réseaux sociaux numériques. Tout cela explique l'absence d'approche explicite pour évaluer la qualité de l'influence. En outre, l'ambiguïté même de la notion de qualité et le manque d'indicateurs clairs pouvant la caractériser ne facilitent pas cette évaluation [6].

4.5.2/ PROBLÉMATIQUE DE L'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'INFLUENCE NUMÉRIQUE

Dans la vie réelle, l'influence sociale est observée et jaugée grâce à un ensemble de facteurs externes, tels que le charisme ou la compétence, et d'autres internes tels que les valeurs sociales ou le pouvoir (financier, militaire, etc.). Ces facteurs internes, inhérents à l'influence sociale, sont très importants pour sa qualité. Ils différencient les classes sociales des individus dans la vie réelle.

Dans les médias sociaux, trois insuffisances sont à la base de la difficulté d'évaluer ces facteurs internes de la qualité de l'influence sociale, vu qu'ils ne sont pas représentés. Ces insuffisances sont décrites dans la table 4.4.

TABLE 4.4 – Les insuffisances qui rendent difficile l'évaluation des facteurs internes de l'influence sociale numérique

Insuffisance	Description de l'insuffisance
1ère insuffisance	Le manque de différence dans la représentation des utilisateurs
2ème insuffisance	L'authenticité et la validité faibles des informations
3ème insuffisance	L'absence d'autorité et d'organisation hiérarchique des utilisateurs

La première insuffisance est le traitement égalitaire de tous les utilisateurs d'un média social quand il s'agit de les représenter. Chacun construit son profil en remplissant des formulaires dédiés. L'authenticité des informations introduites n'est vérifiée à aucun niveau à l'exception de la vérification effectuée sur quelques-unes telles que les e-mails et les numéros de téléphone. Les recommandations et les confirmations de compétences faites sur certains de ces médias sociaux, tels que LinkedIn et Viadéo, ne sont pas toujours valides. Un utilisateur A peut être recommandé par ses abonnés comme étant un expert en java, par exemple, sans qu'il n'ait écrit une seule ligne de code dans ce langage. Ce qui donne naissance à une seconde insuffisance, celle de l'authenticité et de la validité des informations renseignées. La troisième insuffisance est qu'il n'y a pas d'autorité rigide pour surveiller et pour valider certaines informations capitales, ni d'organisation hiérarchique des utilisateurs.

Ces manques sont présents dans tous les médias sociaux. D'un côté, ils contribuent beaucoup à leur essor, en faisant d'eux des espaces d'expression et de diffusion d'infor-

mation par excellence. Tout le monde est libre de s'exprimer comme il le souhaite, sur n'importe quel sujet, au moment qu'il veut. De l'autre, ce laisser-aller décrédibilise ces réseaux sociaux en les désignant comme des *espaces remplis de fausses informations (fake-news en anglais)*. Chacun peut créer un profil de personnalité (politique, militaire, artistique...) pour attirer l'attention du réseau sur ses publications [133]. Ces usurpations ont été sources de beaucoup d'arnaques et d'autres formes de manipulation sur les réseaux sociaux numériques [132, 131].

En ce qui concerne l'établissement d'une correspondance entre l'influence sociale numérique et les formes distinguées par Kelman, ces insuffisances rendent très difficile, pour ne pas dire impossible, l'identification de la source de la puissance d'un utilisateur dans un média social. Par exemple, comment distinguer, grâce aux indicateurs mesurables en ligne ou à travers la description du profil, la source de l'influence de Justin Bieber de celle d'un autre utilisateur quelconque A, tout aussi influent, dans un réseau social (Twitter par exemple) ? Ces problèmes poussent à se questionner sur la validité de l'influence sociale acquise sur de telles plateformes dans la vie réelle et sur sa qualité en termes de degré, de lieu et de durée de manifestation.

Dans l'ambition d'apporter des éléments de solution à cette question, nous faisons recours à des enluminures médiévales du duc de Bourgogne. Le modèle de réseau social qu'elles constituaient peut être considéré comme relativement proche de la réalité, vu qu'il fonctionnait dans la vraie vie.

4.6/ INFLUENCE QUALITATIVE DANS LES ENLUMINURES MÉDIÉVALES

Les enluminures médiévales du duc de Bourgogne dissimulaient des messages qui servaient à promouvoir le pouvoir et l'autorité de la cour ducale afin de véhiculer son influence dans une société très hiérarchisée.

4.6.1/ ORGANISATION HIÉRARCHIQUE DE LA SOCIÉTÉ MÉDIÉVALE

Très classée, la société médiévale était hiérarchiquement constituée de deux principales catégories sociales : les privilégiées et les non privilégiées [20, 8]. La première catégorie était composée de la noblesse et du clergé. La seconde contenait les paysans, les commerçants et les artisans [20]. Les titres de la noblesse étaient classés dans l'ordre croissant comme suit :

- *le baron* [4]. C'est un titre générique désignant les membres de l'aristocratie tenant directement leur fief du roi ;
- *le vicomte* [4]. Il assure d'abord une fonction d'officier au service d'un duc ou d'un comte ;
- *le comte* [4]. C'est le dignitaire chargé de l'administration fiscale, judiciaire et militaire d'une province, à l'exemple des maires de palais ;
- *le marquis* [4]. C'est un titre octroyé à un comte sur une région frontalière dite marche ou marquisat pour exercer un commandement militaire comprenant le pouvoir de lever le contingent de l'armée sans en avoir reçu l'ordre du souverain ;

- *le duc* [4]. Il est le gouvernant d'un duché. Il est une sorte de grand gouverneur général, avec des pouvoirs militaires et judiciaires d'un roi à d'échelle de ses comtés ;
- *le prince* [4]. Il est l'héritier titulaire de la royauté ;
- *le roi* [4]. Il est le gouvernant général d'un royaume ;
- *l'empereur* [4]. Il est à la tête de l'empire Germanique.

L'autorité de la noblesse était accompagnée par l'Église et le clergé qui, très influents aussi en raison de leur qualificatif de représentant de Dieu, avaient leur propre organisation [17]. Les paysans, les artisans et les commerçants assuraient la main d'œuvre. La figure 4.1 montre une ontologie qui représente une organisation hiérarchique de la société médiévale.

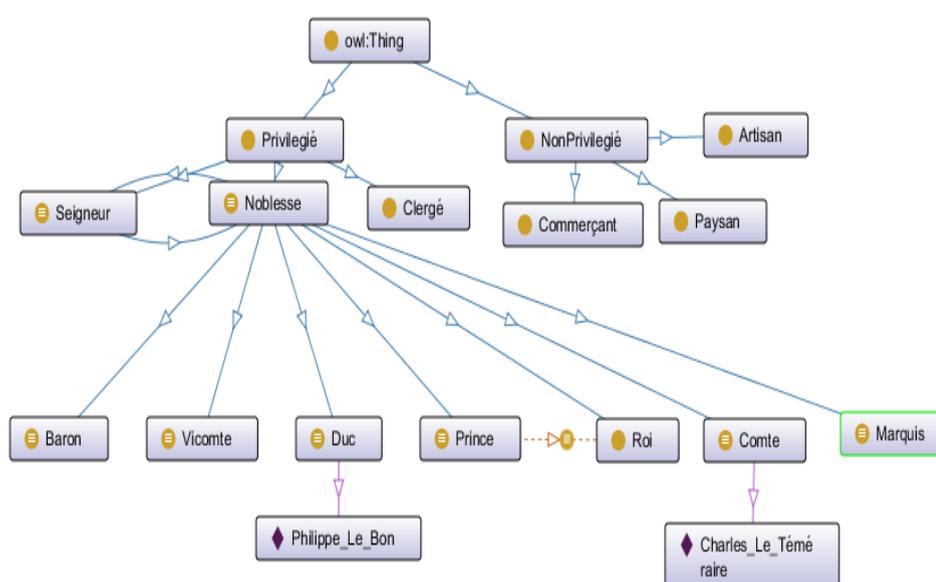


FIGURE 4.1 – Représentation ontologique de l'organisation de la société médiévale

Au regard de la classification hiérarchique très rigoureuse de la société médiévale et des sources de la puissance du duc Philippe le Bon, nous supposons que l'influence propagée dans et par ses enluminures avait des effets profonds sur les sujets influencés. Nous qualifions donc cette influence de *qualitative*.

4.6.2/ CARACTÉRISATION DE L'INFLUENCE QUALITATIVE DANS *MedievEnl*

Les enluminures médiévales du duc, Philippe le Bon, étaient conçues, peintes et regardées dans des cercles fermés des élites de la société. Elles étaient plus ou moins directement décidées et montrées par lui-même à sa cour. Le duc se déplaçait sans cesse, il était très itinérant et la cour était très mobile. Avec les domestiques, la cour comprend 1700 personnes environ. La noblesse uniquement comptait une bonne centaine de personnes. Ce sont ces personnes et les nombreux invités comme les ambassadeurs étrangers qui regardaient les enluminures [73]. En outre, les livres enluminés étaient regardés et chantés pendant les longs banquets. Comme les livres du duc étaient de grande taille, la cour pouvait les voir, venir les admirer dans la salle de réception de la résidence. Les

histoires que les enluminures mettaient en scène pouvaient être déclamées et accompagnées d'instruments de musique [73].

De ces faits, les livres enluminés véhiculaient de l'influence par la vue, la voix (le chant), l'audition et par le toucher. En tant qu'objets vivants qui touchaient directement les sens et suscitaient des émotions, les enluminures exerçaient une influence sensorielle sur les admirateurs qui étaient : la cour, les élitistes, les souverains et autres personnages éduqués [20]. Autrement dit, elles ne servent jamais à éduquer ou à influencer le peuple qui, à l'époque, était constitué à environ quatre vingt-dix pour cent (90%) de gens de la classe non privilégiée [73].

Les influences véhiculées étaient diverses (militaire, économique, financière, sociale, politique) et préméditées depuis le début de la conception des enluminures. Elles se font en amont, dès la préparation des enluminures : le duc et l'atelier anticipent les messages à représenter et à diffuser. Ensuite, la diffusion se poursuit dans la cour et grâce aux nombreux déplacements de la cour dans les différentes résidences princières entre la Bourgogne et les Pays-Bas [73]. Le duc fait cadeau de nombreux livres enluminés à des souverains d'Europe et à d'autres personnes moins importantes comme des seigneurs locaux, des magistrats des villes, des prélats du clergé, des monastères, etc. Ces bénéficiaires montraient et reproduisaient ses enluminures en copiant leurs styles de conception ou certains de leurs contenus dans la réalisation des leurs [73, 20]. Ainsi, l'influence du duc pouvait se manifester à travers eux. Cela prouve la position stratégique que le souverain occupait dans son réseau comme illustré dans la figure 4.2. Cette dernière représente le processus de diffusion de l'influence du duc à travers ses enluminures.

Dans ce processus, l'influence part toujours du commanditaire (dans notre cas, le duc Philippe le Bon). Ce dernier s'appuie sur les souverains et autres personnages relativement influents dans leur communauté pour influencer celle-ci. Étant influencés par le duc, ces personnes tierces influenceront les membres de leurs communautés. Par transitivité, ceux-ci seront à leur tour influencés par le duc. L'organisation hiérarchique rigoureuse de la société médiévale, qui est également mise en exergue dans la figure 4.2, facilite grandement ce processus. Celui-ci respecte les mêmes principes que les modèles de propagation d'information dans les réseaux sociaux actuels, à savoir : le modèle de cascade indépendante et celui de seuil linéaire [53, 149]. Ces modèles contribuent à l'optimisation de l'influence sociale afin de la maximiser.

Les enluminures influencent les entourages du duc, les seigneurs locaux (représentés par des nœuds moins grands que celui du duc mais aussi plus grands que les autres) et ceux de ces derniers. Ces seigneurs locaux entretiennent des relations privilégiées (représentées par des arrêtes plus foncés) avec le duc. Ce dernier et autres élites entretiennent des relations plus ou moins privilégiées avec d'autres nobles qui peuvent également être corrélés et ainsi de suite.

L'organisation hiérarchique de la société est exploitée quand il faut propager l'information et les messages d'influence. En effet, les souverains et autres invités désirent (souvent avidement) tous des privilèges du cercle restreint entourant le duc. Le respect de l'autorité, de la personne du duc et de son rang social est un atout (apparent) pour espérer bénéficier de ces privilèges. Donc, la diffusion de influence du duc dans leurs communautés est une sorte de devoir intéressé ou opportun, dans certaine mesure, pour ses subordonnées qui sont en ce sens considérés comme des relayeurs. Cependant, pour cause de concurrence et de compétition qui sont rudes à l'époque de la Guerre de Cent Ans, certains souverains comme l'empereur germanique, le pape, les rois de France,

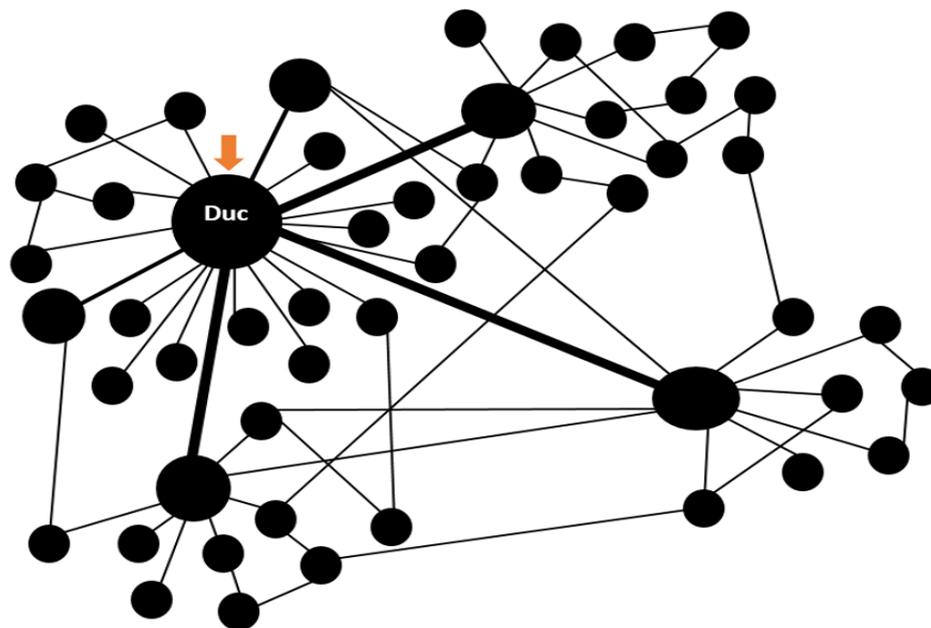


FIGURE 4.2 – Processus de diffusion des enluminures et de l'influence du duc Philippe le Bon

d'Angleterre et d'Espagne ajouteront ou détourneront toujours des éléments, en apporteront des nouveaux ou ne reproduiront rien de ce qui vient du duc. Par ces refus, ils veulent montrer eux aussi leur supériorité. Cette passivité devant ces œuvres d'art luxueuses du duc vise à rejeter son influence et sa puissance.

Par ailleurs, considérée comme très luxueuse, la réalisation de livres enluminés coûte très chère en raison de l'expertise artisanale qu'elle nécessitait et de sa complexité conceptuelle. Malgré cela, le duc en possédait beaucoup. Il possédait l'une des plus grandes bibliothèques d'Europe, avec environ deux mille (2000) ouvrages. Il en réalisait et en donnait constamment. Tout cela témoigne de sa générosité, sa richesse, sa puissance et de son intelligence [73, 8].

En plus, les entités comme l'ordre de la toison d'or et les personnalités présentes dans les enluminures sont connues par les élites à qui ces peintures sont destinées. Par conséquent, le profil de chaque entité est bien authentique et les valeurs sociales incarnées par chacune sont aussi bien connues.

En somme, l'influence véhiculée à travers les enluminures contribuait à l'atteinte des objectifs pour lesquels elles étaient réalisées à savoir : la promotion du pouvoir de la cour ducale ou tout au moins la diffusion de sa représentation. Les copies des styles de conception et les reproductions des scènes représentées par ces enluminures étaient des preuves de l'adoption des messages qu'elles portaient. Comme récapitulé dans la table 4.5, les facteurs de qualité de cette influence sociale sont, d'un côté, l'attractivité, l'enthousiasme que ces œuvres artistiques de haut niveau suscitaient chez les admirateurs, et de l'autre, la puissance politique et matérielle des commanditaires (duc Philippe le Bon pour notre exemple). Tous ceux-ci étaient facilités par la classification hiérarchique de la cour ducale en particulier et de la société médiévale en générale. Ces facteurs sont représentés dans l'ontologie *MedievEnl*, par les termes cités dans la troisième colonne

de la table 4.5.

TABLE 4.5 – Facteurs de qualité de l'influence sociale dans la société médiévale.

Désignation du facteur	Description du facteur	Termes dans <i>MedievEnl</i>
Richesse économique et financière	Le livre enluminé coûte très cher. La quantité énorme de peau tannée qui sert de matière première et le coût de la main d'œuvre nécessaire à sa réalisation témoignent de la richesse matérielle de son commanditaire, le duc.	CollierToisonDor, ObjetTangible (BOURSE), Livre
Pouvoir politique	La représentation des figures célèbres en politique de l'époque témoigne de la place assise que le duc avait politiquement.	Livre, ObjetTangible (BATON_ DE_COMMANDEMENT)
Puissance militaire	Les chevaliers de la toison d'or et les autres représentations militaires désignent la puissance militaire du duc.	OrdreToisonDor, ObjetTangible (BATON_ DE_COMMANDEMENT), Arme
Beauté des enluminures	La prouesse artistique, l'attractivité et la satisfaction visuelle que dégagent les enluminures.	Couleur, AniamalFantastique
Organisation hiérarchique de la société médiévale	Le respect de la noblesse, de la hiérarchie des classes confèrent au duc un rang social élevé.	Posture, RangSocial, Fonction
Notoriété	Le duc est une célébrité dans sa société et au-delà. Le pouvoir financier, politique et militaire qu'il détient renforce cette notoriété.	RangSocial, PostureDeSoumission
Crédibilité	Le duc est considéré comme compétent dans certains domaines tels que la politique, l'art, etc. Cela lui confère une crédibilité au sein de sa société.	CollierToisonDor, ObjetTangible (BOURSE), ObjetTangible (BATON_ DE_COMMANDEMENT), Classe_Privilegiee

Ces facteurs étaient garants de la qualité de l'influence sociale du duc et des élites dans la société médiévale. Ils le demeurent également aujourd'hui pour l'influence numérique. L'absence de leur représentation dans les médias sociaux rend difficile l'estimation qualitative de l'influence acquise sur ces plateformes.

4.7/ CONCLUSION

La société a toujours été un lieu de rapport de forces : pouvoir, puissance, etc. Le besoin d'avoir de l'impact sur quelqu'un ou sur quelque chose, chercher à l'influencer existe depuis des lustres.

Dans ce chapitre, la notion d'influence sociale dans les réseaux sociaux a été caractérisée à travers ses définitions et son évaluation. Quelques approches de cette dernière sur les réseaux sociaux numériques ont été présentées. L'analyse de ces approches nous a permis de comprendre les indicateurs quantitatifs de l'influence numérique. Toutefois, ces

indicateurs ne suffisent pas pour l'évaluation de la qualité de l'influence sociale parce que celle-ci est reliée à des facteurs qui ne sont pas, à ce jour, représentés sur les réseaux sociaux numériques modernes. Ces facteurs sont **les valeurs sociales que l'utilisateur incarne, les sources de la puissance qui sert de levier à l'influence qu'il exerce et l'organisation hiérarchique au sein du réseau**. L'analyse d'un ancien modèle de représentation de réseau social, les enluminures médiévales du duc Philippe le Bon, nous a permis de comprendre que des manques structurels et organisationnels dans les médias sociaux contribuent à l'atténuation de la qualité de l'influence sociale acquise par un utilisateur. Ces manques sont récapitulés dans la table 4.5.

Le chapitre décrit également des termes présents dans l'ontologie *MedievEnl* et correspondants aux facteurs évoqués ci-dessus. Ces termes enrichissent cette ontologie dans le cadre de la désambiguïsation des enluminures médiévales, de leurs contenus et de la réduction de l'hétérogénéité sémantique de ceux-ci. Bien que très importante, l'ontologie *MedievEnl* n'est pas suffisante pour une désambiguïsation effective du point de vue des médiévistes et d'autres utilisateurs. Vu que ces derniers n'ont forcément pas le même sens de lecture d'une ontologie, des outils plus accessibles sont mis à leur disposition pour la captation des sens explicites et implicites des enluminures et de leurs contenus. Il est question de ces outils dans le chapitre suivant.



PROTOTYPE DU SYSTÈME

ILLUMINATION 3.0 : SYSTÈME D'ANNOTATION D'ENLUMINURES

5.1/ INTRODUCTION

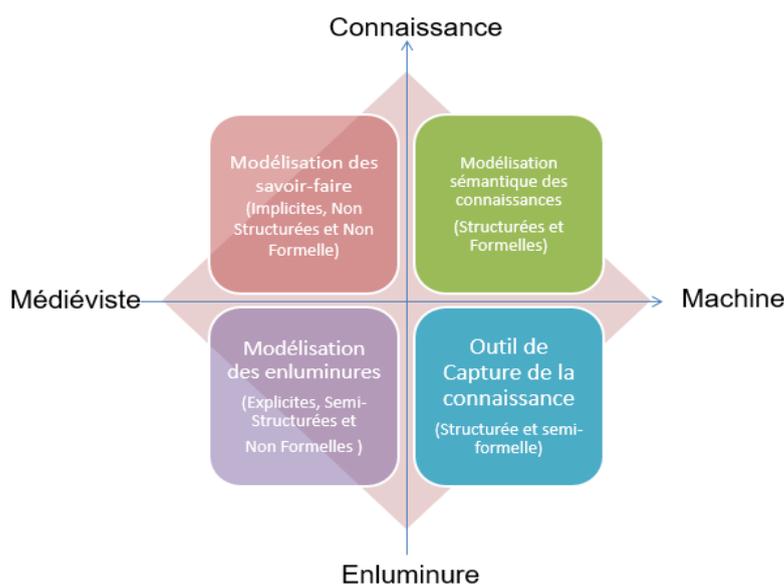
Nous avons développé un outil logiciel afin de faciliter l'expression et la captation des sens explicites et implicites des contenus des enluminures médiévales. Le but recherché dans cette réalisation est de fournir aux médiévistes et d'autres utilisateurs un outil plus accessible afin de leur permettre la description d'une enluminure, à travers celle des entités figurant dans celle-ci. Cette description passe principalement par une annotation, de l'enluminure, basée sur l'ontologie *MedievEnl*. En outre, l'outil développé est un moyen concret pour tester et procéder à quelques évaluations pratiques de cette ontologie. À travers sa mise en oeuvre et son fonctionnement, nous montrons que le modèle ontologique, *MedievEnl*, est bien exploitable dans un cadre pratique, en plus de sa cohérence théorique. Cet outil logiciel, qui est une application Web, fait l'objet du présent chapitre, composé de trois (3) points principaux.

Le premier est consacré à une description générale du système. Il rappelle les raisons qui ont motivé le choix d'un modèle ontologique et les résultats attendus de nos travaux. Le second point détaille de l'architecture du système. Dans cette partie, les principaux modules du prototype de système, leurs canaux de communication et les technologies utilisées dans l'implémentation sont évoqués. Le troisième et dernier point présente une discussion succincte sur le système avant de conclure le chapitre.

5.2/ PRÉSENTATION DU SYSTÈME

Le choix des ontologies comme modèle de représentation dans ces travaux de thèse est motivé par le souci de réduire l'hétérogénéité sémantique des entités figurant sur les enluminures faisant office de leur domaine d'application. L'objectif est de pouvoir décrire ces images médiévales, très riches en messages implicites, afin de les désambiguïser et rendre leurs interprétations plus accessibles à des néophytes. Pour ce faire, nous avons développé un système d'annotation basé sur le modèle ontologique présenté dans la section 3.5 du chapitre 3. Cette ontologie sert de référentiel de termes pour l'annotation. Le système en question a été dénommé **Illumination 3.0**, en référence aux enluminures et à leurs utilisations dans la création et la propagation d'une influence de qualité pour leur commanditaire au Moyen Âge.

À travers ce système, un utilisateur, qu'il soit médiéviste ou non, peut charger une enluminure et décrire son contenu sous forme d'entités reliées les unes aux autres. Ce sont les termes de l'ontologie *MedievEnl* qui sont utilisés comme indexes dans l'annotation de l'enluminure chargée. Le lecteur pourrait dire que c'est une manière limitée de faire l'annotation et que la description risque ainsi de ne pas être complète ou expressive. De prime abord c'est vrai, mais nous avons pensé à pousser cette limitation avec une solution qui fonctionne plutôt bien, proportionnellement aux résultats attendus de ces travaux de thèse. Ces derniers, en général, et le système *Illumination 3.0*, en particulier, sont structurés autour de quatre éléments dont les combinaisons constituent différents aspects de ces travaux de thèse. Ces éléments sont illustrés dans la figure 5.1.



c

FIGURE 5.1 – Éléments dont les combinaisons retracent ces travaux de thèse.

Sur l'axe horizontal, il y a les éléments **Médiéviste** et **Machine**. Ils fournissent et organisent l'information. Pour ce faire, cette dernière doit être comprise et interprétable par ces éléments : d'où le besoin des ontologies et tâches associées à leurs constructions. Sur l'axe vertical, il y a les éléments **Enluminure** et **Connaissance**. Ils indiquent la nature de l'information à comprendre : des données vers la connaissance. Quatre combinaisons, deux à deux, de ces quatre éléments résument les activités menées dans ces travaux de recherche. Chacune de ces combinaisons est décrite dans un ou plusieurs chapitres de ce document. Les activités effectuées au niveau de chaque combinaison sont retracées ci-après.

5.2.1/ MÉDIÉVISTE ET CONNAISSANCE

Les activités au niveau de cette combinaison sont l'identification des objets, des personnes et des animaux qui figurent sur les enluminures et l'organisation de ces entités dans un contexte donné afin de les interpréter. Ces entités et leurs significations n'étant pas toujours explicites, elles sont identifiées grâce à l'aide des médiévistes.

Ces activités sont un préalable à la modélisation proprement dite. Elles sont évoquées dans les chapitres 2 et 3. Les résultats obtenus à ce niveau sont des documents Word

et Excel contenant les données brutes identifiées. Sur la figure 5.1, ces activités sont représentées par le rectangle rouge : *Modélisation des savoir-faire (implicite - non structuré - non formel)*. Les connaissances identifiées à ce niveau sont informelles et implicites partiellement.

5.2.2/ CONNAISSANCE ET MACHINE

Les données brutes relevées dans les fichiers Word et Excel sont classifiées en concepts, en relations ou en instances. La finalité est de les représenter dans un modèle ontologique formel qui les structure et leurs confère ainsi une signification compréhensible par l'homme et adaptée aux traitements automatiques.

La modèle fait est enrichi par les relations sémantiques et les règles d'inférences ajoutées à l'ontologie. Cette dernière est la résultante des activités effectuées dans la présente combinaison, Connaissance et Machine. Sur la figure 5.1, celles-ci sont représentées par le rectangle vert. Ce dernier est libellé par *Modélisation sémantique des connaissances (Structurées et Formelles)*.

5.2.3/ MACHINE ET ENLUMINURE

Les activités menées à ce niveau sont relatives aux fonctionnalités principales du système *Illumination 3.0*, l'objet de ce chapitre. Les connaissances identifiées à ce niveau sont structurées et semi-formelles.

Sur la figure 5.1, le rectangle bleu représente ces activités. Ce rectangle est libellé par *Modélisation sémantique des connaissances (Structurées et Formelles)*.

5.2.4/ ENLUMINURE ET MÉDIÉVISTE

À ce niveau, le médiéviste peut constater que certaines des connaissances implicites qui avaient été relevées au début sont maintenant mises en lumière grâce à l'annotation des enluminures, en utilisant les termes de l'ontologie construite. Ces connaissances implicites sont ainsi capitalisées.

Les activités faites dans cette combinaison sont représentées sur la figure 5.1 par le rectangle violet qui est libellé par *Modélisation des enluminures (Explicites - Semi structurées - Non Formelles)*

Toutes les activités effectuées dans ces quatre combinaisons sont placées dans la *dimension ingénierie* de la gestion des connaissances. En aval de la réalisation du système *Illumination 3.0*, le but est de rendre accessible au public les connaissances contenues dans les enluminures. Cela est illustré par la direction de l'axe **Machine** vers **Humain** sur la deuxième partie de la figure 5.2. La première partie de cette dernière est une réplique de la figure 5.1 dans laquelle, rappelons le, la direction va de l'axe *Médiéviste* vers *Machine*. Le lecteur l'aura compris ; dans la capitalisation, ce n'est plus le médiéviste qui est la seule personne concernée par la compréhension des connaissances, mais plutôt tout le monde.

Cette deuxième partie de la figure 5.2 parcourt transversalement les activités de la *dimension partage et distribution* de la gestion des connaissances. Dans ce cadre de la

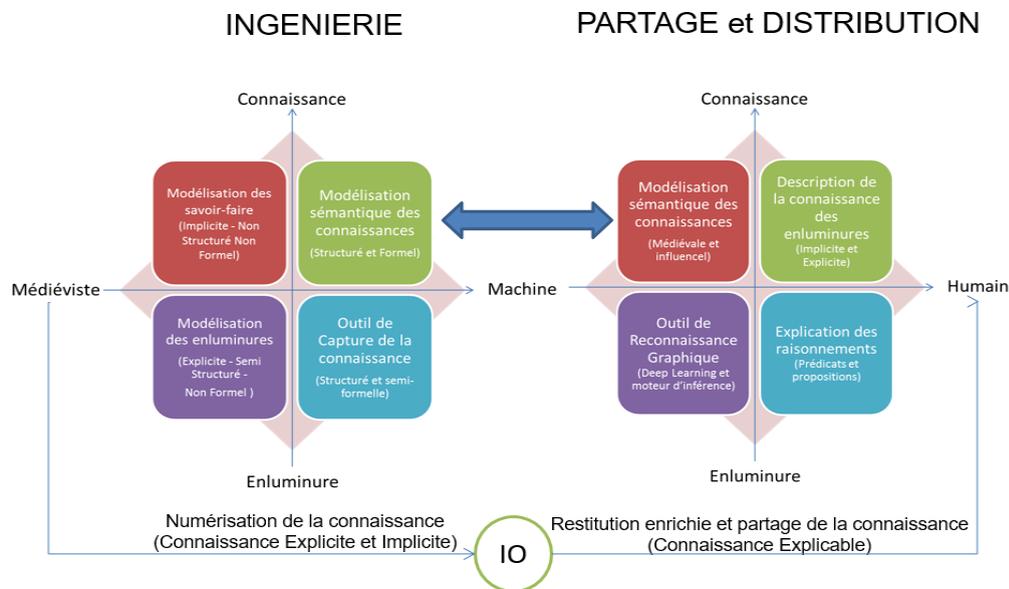


FIGURE 5.2 – Activités d'ingénierie et de partage de connaissances dans ces travaux de thèse.

distribution des connaissances, le système *Illumination 3.0* peut procéder à la reconnaissance automatique de certains objets sur l'enluminure à annoter. Cela est fait grâce à un algorithme d'apprentissage approfondi (Deep Learning).

5.3/ ARCHITECTURE GÉNÉRALE DU SYSTÈME

Dans l'objectif de cadrer et d'aider au maximum les utilisateurs dans l'annotation, le système *Illumination 3.0* est composé de différents modules organisés. Il est accessible à l'adresse Web <http://app.illumination.checksem.fr/home>. Ces modules sont emboîtés les uns dans les autres suivant l'architecture générale illustrée par la figure 5.3.

5.3.1/ MODULE *base de données*

Les enluminures à annoter doivent être importées dans le système. Ensuite, elles sont visibles dans l'onglet *Librairie* à la page d'accueil du système *Illumination 3.0*. Ces images et leurs différentes annotations sont enregistrées dans une base de données relationnelles. Le but est de sauvegarder les dimensions (longueur, largeur, point (x, y) de début) des différentes zones délimitées avec des rectangles blancs sur les images. La figure 5.4 montre des exemples de ces zones délimitées. L'enregistrement des zones délimitées dans une enluminure permet de faire l'annotation de celle-ci de manière incrémentale et par différents utilisateurs. Cette base de données est hébergée sur le serveur *PhpMyAdmin*¹

1. *PhpMyAdmin* est une application Web permettant de créer une base de données relationnelles dans un système de gestion de base de données (SGBD) MySQL. Il facilite la manipulation de ces données grâce aux requêtes SQL (le langage standard du 3WC utilisé pour l'interrogation des bases de données relationnelles).

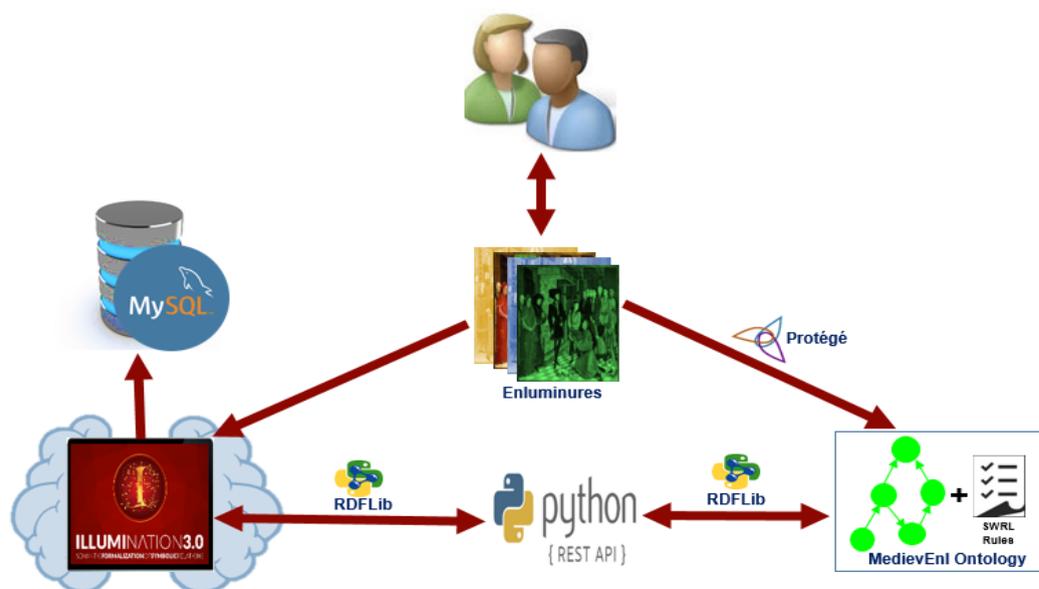


FIGURE 5.3 – Architecture Générale du système Illumination 3.0

5.3.2/ MODULE D'alimentation de l'ontologie MedievEnl

L'annotation des enluminures importées consiste à délimiter des objets symboliques et des personnages figurant sur ces images et à les étiqueter. Les objets ainsi étiquetés servent d'instances aux concepts de l'ontologie *MedievEnl*. Les relations sémantiques et associatives contenues dans celle-ci relient et structurent ces instances. Les utilisateurs ne peuvent annoter qu'avec les termes de l'ontologie *MedievEnl*. Cette mesure est pour les contraindre à ne pas attribuer des étiquettes qui ne correspondent pas aux enluminures. Étant donné que l'ontologie a été construite en amont avec le concours des médiévistes qui, rappelons le, ont indiqué les termes adéquats pour l'appellation des entités figurants sur les enluminures, la mesure ainsi prise assure une annotation et une description cohérentes.

Cependant, cette mesure peut sembler restrictive pour une description complète et plus expressive parce qu'au vu du nombre élevé d'enluminure, certaines d'entre elles peuvent contenir de nouveaux concepts qui n'ont pas de correspondant dans l'ontologie. La solution simple mais particulière efficace que nous avons trouvée pour résoudre ce problème est de donner la possibilité à des utilisateurs d'ajouter de nouveaux concepts et relations à l'ontologie. Toutefois, dans le souci de garder une certaine cohérence dans les termes à utiliser, cette extension de l'ontologie n'est pas accessible à tous les utilisateurs mais seulement à ceux qui ont le profil *expert* dans le système. Ces utilisateurs qualifiés d'experts comprennent et savent interpréter les enluminures médiévales. Les autres utilisateurs du système pourront ainsi faire usage de l'ontologie avec les nouveaux termes. La figure 5.4 montre une enluminure annotée dans le système *Illumination 3.0*.

Sur cette figure, chacun peut voir l'enluminure chargée dans la partie gauche de la figure. La partie droite contient un ensemble d'onglets permettant de décrire l'image importée. Ces onglets renferment des fonctionnalités pour :

- ajouter de nouveaux concepts,
- ajouter de nouvelles relations,

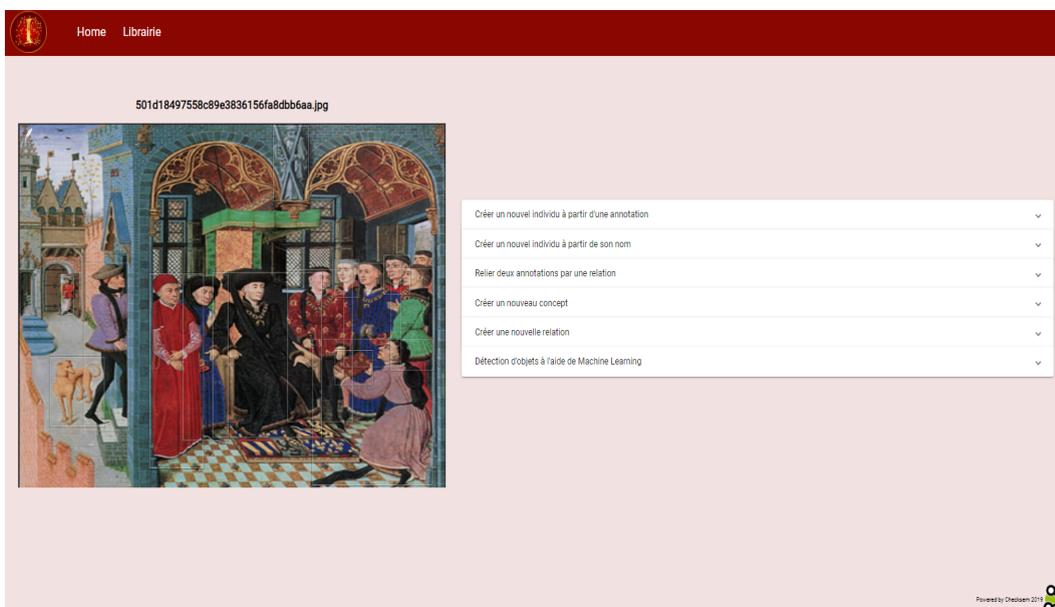


FIGURE 5.4 – Enluminure annotée dans le système Illumination 3.0.

- rattacher les nouvelles instances à des concepts,
- relier les instances ajoutées,
- détecter des objets sur l'image.

Les instances annotées alimentent l'ontologie *MedievEnl*. Leur structuration décrit les connaissances contenues dans l'enluminure. De ce fait, l'ontologie contribue à la compréhension de ces images et à leurs interprétations.

Pour faciliter l'annotation, une communication bidirectionnelle est établie entre la partie visible du système, l'application Web, et l'ontologie *MedievEnl* en utilisant un API² Python.

Cette **API Python**, dont une interface principale est montrée par la figure 5.5, est développée grâce à l'éditeur Swagger³ pour la manipulation des termes de l'ontologie *MedievEnl*. Accessible à l'adresse <http://api.illumination.checksem.fr/api/ui/#/ontology>, cette API est basée sur la bibliothèque logicielle **RDFLib**. Celle-ci est un paquetage Python qui fournit un ensemble de méthodes permettant de manipuler les graphes RDF. D'un côté, certaines méthodes de RDFLib facilitent la récupération d'une ou plusieurs classes d'une ontologie, des relations d'une classe, des individus d'une classe, du domaine et de la portée d'une relation. Pour ce faire, il suffit d'utiliser la bonne méthode en lui faisant passer en paramètre IRI (International Resource Identifier) du terme souhaité. De l'autre, la sauvegarde des ajouts d'instances à travers l'annotation d'une enluminure, celle des

2. API, Application Programming Interface (en anglais) ou interface de programmation d'application, est un ensemble normalisé de classes, de méthodes, de fonctions et de constantes servant de façade et par lequel un logiciel offre des services à d'autres. Elle est offerte par une bibliothèque logicielle ou un service web et souvent accompagnée d'une description qui spécifie la manière dont les programmes consommateurs peuvent se servir de ses fonctionnalités.

3. Swagger est un éditeur d'API conviviale et très utilisé. Avec son module Swagger codegen, il génère un code source dans un langage choisi par le concepteur. Dans notre cas, nous avons choisi Python en raison de la facilité de manipuler les ontologies dans ce langage. Swagger permet également de générer une documentation pour l'API finale produite.

concepts et des relations ajoutés lors de l'extension de l'ontologie est assurée par d'autres de ces méthodes.

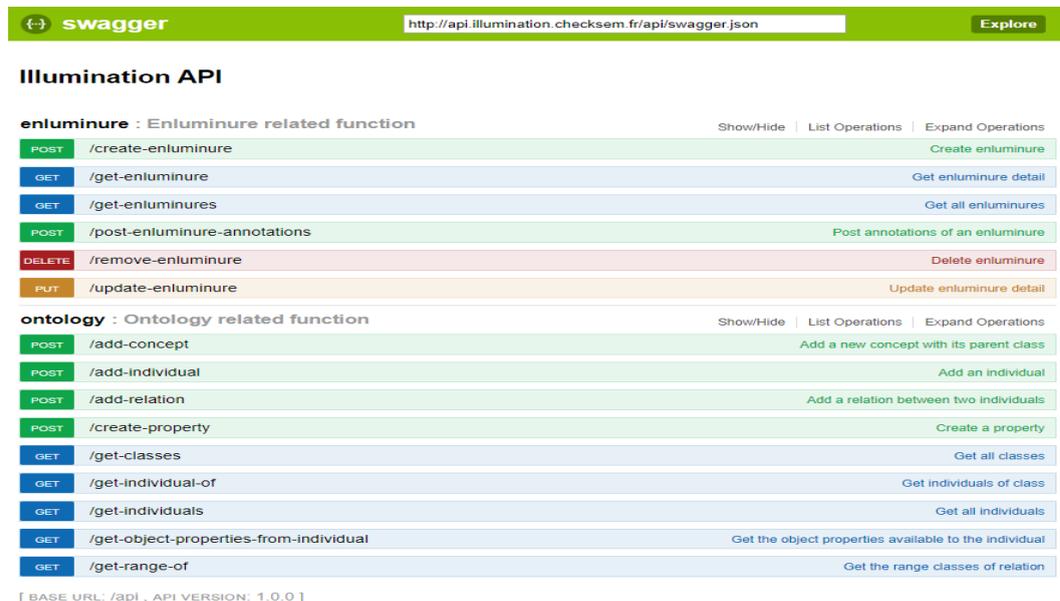


FIGURE 5.5 – API Python servant de canal de communication dans le système Illumination 3.0

Cette API n'est pas directement manipulée par les utilisateurs finaux qui risquent de ne pas y comprendre grande chose. Ceux-ci l'utilisent à travers à une application Web avec des interfaces plus intuitives et conviviales dont une des principales est présentée dans la figure 5.4. Cette application Web permet d'un côté, l'annotation d'une enluminure importée et l'ajout de nouveaux indexes (concepts et relations), et de l'autre, la détection automatique d'objets sur l'image.

5.3.3/ MODULE DE détection automatique d'objets dans l'enluminure

L'une des plus intéressantes parties du système est le module dédié à la détection automatique de certaines catégories de formes telles que des personnes, des oiseaux, des chevaux figurant sur une enluminure importée. L'objectif est de guider les utilisateurs dans l'annotation. Ceux-ci peuvent peaufiner la description les entités détectées en modifiant le cadre de leur annotation et en ajoutant une étiquette. Ensuite, des relations expressives peuvent être établies entre ces entités.

Ce module est basé sur un algorithme dénommé *Fast R-CNN* et proposé par Ren et al [135]. Il prend en entrée une image, procède au découpage de celle-ci en plusieurs zones et fournit à la sortie des propositions d'objets appartenant à une catégorie précise. Ce résultat est donné avec une certaine probabilité que l'algorithme indique également. Un exemple de résultat se lit comme tel objet sur l'enluminure est une personne à $x\%$. L'algorithme supporte plusieurs formats d'image : jpeg, png, jpg, etc. Très célèbre dans la détection d'objets, cet algorithme est fréquemment utilisé dans la conduite automatique, l'assistance et le guide des personnes aveugles [155]. La figure 5.6 montre la résultante de son application sur une enluminure.

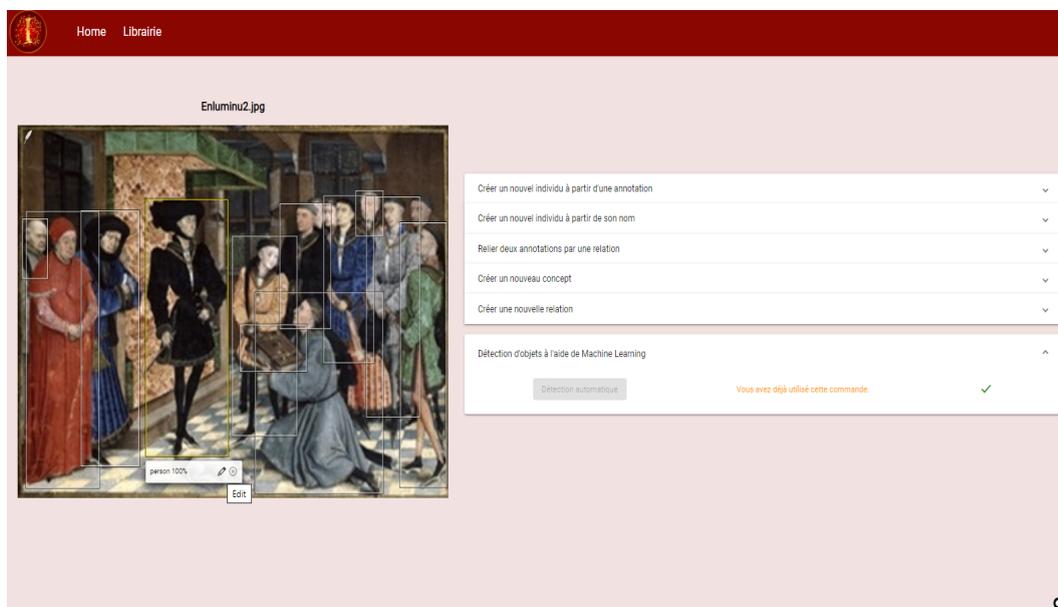


FIGURE 5.6 – Détection d'objets sur une enluminure.

Sur cette figure, chacun peut voir des objets détectés. Ils sont représentés par des rectangles blancs étiquetés. Chaque rectangle est accompagné d'une probabilité d'appartenance de l'objet détecté à une catégorie précise d'entités. Chaque étiquette est modifiable pour une annotation plus adéquate.

5.4/ ÉVALUATION DU SYSTÈME *Illumination 3.0*

L'objectif de la réalisation du système *Illumination 3.0* est de guider les utilisateurs dans la description des enluminures et dans l'expression des savoir-faire des sachants. Pour ce faire, différents modules ont été conçus et développés avec le souci d'une utilisation conviviale, efficace et efficiente du système final. Cette section est dédiée à l'évaluation de ce dernier à travers celle de ses différents modules et suivant certains critères qui sont :

- Facilité d'exploitation Les interfaces des modules visibles par les utilisateurs sont intuitives et ergonomiques. À travers des onglets organisés et refermant des boutons et zones de saisie expressifs, tout utilisateur peut importer une enluminure, l'annoter ou procéder à la détection d'objets figurant sur celle-ci. Les utilisateurs ne s'occupent pas de l'interaction de ces modules avec ceux invisibles tels que l'API et la base de données. Ces vertus entraînent une exploitation facile du système.
- Fiabilité Dans la perspective de leur description, l'annotation des enluminures est la fonctionnalité principale du système *Illumination 3.0*. D'un côté, les objets décrits servent d'instances pour peupler l'ontologie *MedievEnl* et de l'autre, les concepts de celle-ci sont utilisés comme indexes dans l'annotation. Ce fonctionnement de *Illumination 3.0* axé sur l'ontologie *MedievEnl* garantit une certaine fiabilité dans la description faite. En effet, il assure une cohérence entre les entités figurant réellement sur l'enluminure et les indexes choisis pour son annotation.

- Extensibilité Tous les modules du système peuvent être étendus sans altérer leur structure de base. Pour l'ontologie *MedievEnl*, l'application Web renferme des fonctionnalités permettant cette extension de manière souple et dynamique. Concernant l'API qui sert de passerelle entre l'ontologie et l'application Web, il est également possible d'ajouter des nouvelles fonctionnalités ou de supprimer celles existantes.

Bien que ces vertus confèrent une certaine qualité au système développé, il n'est toutefois pas exempt de insuffisances.

Une première de ces insuffisances est l'aspect basique du module de détection d'objet. Bien que ce module contribue à la satisfaction de nos objectifs dont l'un des principaux, nous le rappelons, est de pouvoir comprendre les entités figurant sur l'enluminure, son algorithme est entraîné avec une base d'images dont les objets ne sont pas typiquement les mêmes que ceux pouvant figurer sur les enluminures. Notamment, les entités symboliques et imaginaires comme les animaux fabuleux sur les enluminures ne figurent pas sur les images de la base d'entraînement de l'algorithme. De ce fait, l'algorithme aura du mal à détecter une licorne par exemple. Il considérera plutôt celle-ci comme un cheval. L'absence d'exemples de tels objets dans les images de la base d'entraînement de l'algorithme fait que sur certaines enluminures, le résultat de la détection automatique reste assez faible en précision.

Une seconde insuffisance est liée au fait que dans l'annotation, la délimitation des objets sur une enluminure est faite avec des rectangles dans un souci de simplicité. Avec des enluminures sur lesquelles figurent beaucoup d'entités, cela entraîne une imprécision dans le contour des objets indexés.

5.5/ CONCLUSION

Ce chapitre a été dédié à la présentation du système développé pour l'exploitation de l'ontologie *MedievEnl*. Ce système, dénommé *Illumination 3.0*, a été réalisé principalement pour l'annotation des enluminures médiévales afin de vulgariser leur compréhension et leur interprétation. L'objectif de cette réalisation est d'appuyer les sachants pour transmettre leur savoir-faire dans la compréhension des enluminures médiévales et d'aider les néophytes à comprendre les objets figurant sur celles-ci.

Pour cette présentation, nous avons schématiquement désintégré le système en décrivant ses grandes parties et les relations qui font d'elles un tout cohérent et opérationnel. Dans cette démarche, les différentes fonctionnalités du système ont été décrites. De même, les technologies utilisées dans son implémentation ont été également évoquées.

À travers ses différents modules, ce système, basé sur l'ontologie *MedievEnl*, fournit des outils permettant de réduire l'hétérogénéité sémantique des entités symboliques des enluminures médiévales et de désambiguïser l'interprétation de celles-ci pour des néophytes. Avec la possibilité qu'il offre de charger des enluminures médiévales, les annoter et de les sauvegarder, le système *Illumination 3.0* contribue à la digitalisation du patrimoine culturel et la préservation des sens explicites et implicites de ces peintures luxueuses.

IV

CONCLUSION

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le présent chapitre clôt ce manuscrit qui retrace les travaux menés dans cette thèse. Il contient trois parties principales. La première est un condensé des différents résultats obtenus et décrits dans les chapitres précédents. Une discussion globale de ces résultats et des démarches utilisées est faite dans la seconde partie. La troisième partie annonce quelques perspectives de futurs travaux pouvant découler des résultats obtenus dans ce projet de thèse. Enfin, la liste des publications et communications scientifiques que nous avons eu à faire le long du projet ferme le chapitre.

6.1/ CONCLUSION GÉNÉRALE

Le domaine du patrimoine culturel est très riche en données provenant des différentes collections patrimoniales gérées par les institutions de mémoire telles que les musées, les archives, les bibliothèques, etc. L'exploration de ce domaine par les technologies de l'information et de la communication (TIC) n'est pas inédite. Nombreuses sont les disciplines de recherches en TIC qui se sont et continuent de s'intéresser au patrimoine culturel, notamment dans l'acquisition, la sauvegarde, l'analyse, l'interprétation et dans la diffusion des collections qui le constituent. Quelques exemples de ces collections sont les peintures, les sculptures, les monuments, les fouilles archéologiques, etc. Comme outils ou technologies utilisées dans la gestion de ces collections culturelles, nous pouvons citer les appareils photos dans la numérisation des peintures anciennes afin de les pérenniser, les bases de données dans leur stockage et leur organisation, le Web dans leur diffusion. Récemment, les technologies du Web sémantique ont été ajoutées à cet ensemble. Elles sont utilisées principalement pour faciliter la compréhension des sens des collections culturelles et dans la capitalisation des connaissances qu'elles renferment.

Les travaux dans cette thèse s'inscrivent sur ce dernier axe. Ils ont été orientés vers l'analyse et l'interprétation d'oeuvres d'art médiévales d'une zone géographique bien précise, le duché de Bourgogne. Ces oeuvres d'art, appelées **enluminures médiévales**, sont des peintures luxueuses qui auraient été utilisées comme support de communication et de représentation sociale par les élites tel que le duc Philippe le Bon [73, 99]. Les objectifs de ces travaux étaient bipartis.

D'un côté, il s'agissait d'analyser et de comprendre les principes de fonctionnement de ce support médiéval de communication. La perspective est d'améliorer le fonctionnement des supports de communication actuels tels que les réseaux sociaux numériques. Pour ce faire, il est nécessaire de comprendre les significations de ces peintures et de leurs

contenus qui ne sont pas toujours explicites. De l'autre côté, il s'agissait justement de réduire l'hétérogénéité sémantique de leurs contenus symboliques et de désambiguïser les enluminures médiévales.

Différents résultats ont été obtenus dans ces travaux de thèse. Ces résultats sont décrits dans différents chapitres de ce document. Dans le chapitre 2, le patrimoine culturel et son croisement avec des disciplines informatiques ont été évoqués. Ce chapitre contient une présentation des enluminures médiévales, de leurs principes de conception et de leur manière de fonctionnement. À travers l'éclaircissement de ceux-ci, nous avons montré que les enluminures constituaient un modèle de réseau social médiéval qui respectait les mêmes codes de fonctionnement que les réseaux sociaux numériques modernes. Différents points de correspondance fonctionnelle et structurelle entre ce réseau social médiéval et les réseaux sociaux numériques modernes ont été identifiés. Les fonctionnels sont décrits dans la table 2.1 et les structurels dans la section 3.7.2 du chapitre 3.

Pour aider à désambiguïser les enluminures médiévales et leurs contenus symboliques afin de faciliter l'expression et la captation de leurs sens explicites et implicites, nous avons construit un modèle ontologique dénommé **MedievEnl**. Les spécifications de cette ontologie et les détails de sa construction sont présentés dans le chapitre 3. Ce chapitre fait un état de l'art sur les ontologies et contient les raisons qui ont motivé le choix de ces modèles dans ce projet de thèse. Ces raisons sont principalement la facilité qu'elles offrent à décrire les concepts d'un domaine d'intérêt afin de réduire leur l'hétérogénéité sémantique, la réutilisation et l'extensibilité de tels modèles et le besoin de formaliser les savoir-faire des médiévistes dans l'interprétation des enluminures et de leurs contenus. À ce titre, l'ontologie **MedievEnl** sert à décrire les enluminures et les entités qui y figurent afin de mettre en exergue leur signification et de formaliser leur sens caché grâce aux règles SWRL. Ainsi, les messages d'influence propagés dans ce réseau social médiéval seront compréhensibles par les néophytes.

Afin d'identifier et de caractériser cette influence véhiculée à travers les enluminures médiévales, un état de l'art a été fait sur la notion dans le chapitre 4. La propagation et l'évaluation de l'influence sociale dans les réseaux sociaux numériques ont été spécifiquement discutées.

À travers nos analyses dans ce chapitre, nous avons constaté qu'il y a une certaine correspondance entre les influences véhiculées par les deux modèles de réseau social : le modèle constitué par les enluminures médiévales et les réseaux sociaux numériques. En effet, ces influences sont toutes du type de l'innovation, elles vont toujours de la minorité (voire un individu) vers une majorité. Elles découlent des faits que les influencés voient chez les influenceurs les manques qu'ils ressentent en eux et que les seconds, volontairement ou involontairement, oeuvrent constamment pour faire sentir cette différence qu'ils ont vis à vis des premiers. Dans chacun des modèles de réseau social, des indicateurs de l'influence ont été décrits. Dans les réseaux sociaux numériques, ils sont le taux de commentaires, de partages ou de appréciations (vue, like...) des actions en ligne (messages, photos et vidéos postés) des utilisateurs. Dans le modèle médiéval de réseau social, ces indicateurs correspondent aux copies, imitations, expositions, vols ou aux transcriptions qui étaient faites des enluminures.

Cependant, il existe des différences entre ces influences. Les indicateurs d'influence dans le réseau social médiéval ne sont pas quantifiables alors que ceux dans les réseaux sociaux numériques sont mesurés par de nombreux outils. Quelques exemples de ces ou-

tils sont Klout¹, Kred², PerIndex³, etc. En outre, les facteurs qui occasionnent l'influence dans les réseaux sociaux numériques sont entre autres la crédibilité, la célébrité et l'expertise que des membres du réseau confèrent à l'utilisateur à travers ses actions en ligne. Par contre dans les enluminures, ce sont plutôt l'autorité, la richesse matérielle et économique qui sont les facteurs d'influence. Dans le réseau social médiéval, ces derniers sont constatés et appréciés dans la vie réelle de tous les jours sans possibilité flagrante de faux semblant. Contrairement, aux réseaux sociaux numériques dans lesquels chacun peut prétendre être une personne qu'il n'est pas en réalité. En d'autres termes, l'authenticité n'y est pas toujours assurée. C'est pour cette raison et d'autres manques (indiqués dans la table 4.5) dans les réseaux sociaux numériques que l'influence véhiculée dans le réseau social médiéval est qualifiée d'*influence de qualité*.

Pour améliorer la qualité de l'influence sociale créée et propagée dans les réseaux sociaux numériques, nous avons proposé qu'il faudrait couvrir ces manques, qui sont conceptuelles. Concrètement, il s'agirait de concevoir et de développer une nouvelle génération de réseau social numérique permettant de représenter les sources qui servent de levier à la puissance des utilisateurs dans le réseau, de savoir leurs émotions et sentiments réels et d'instaurer une organisation hiérarchique entre eux. Cela réduirait le manque d'authenticité, le libre aller et l'usurpation d'identité sur ces nouveaux réseaux sociaux numériques.

À la suite du chapitre 3, nous avons développé un système d'annotation d'enluminures basé sur l'ontologie *MedievEnl*. Au delà des propositions théoriques, c'est un outil pratique mis à la disposition des sachants et des néophytes afin de faciliter l'expression et la captation des sens des enluminures médiévales et de leurs contenus symboliques. Ce système, son architecture et les technologies utilisées dans sa réalisation ont été détaillés dans le chapitre 5. Afin de mieux aider les utilisateurs dans le processus d'annotation, cet outil a été enrichi d'un module de détection automatiquement d'objets graphiques (voir la section 5.3.3). Le module en question est basé sur un algorithme de machine learning implémenté au sein du système.

Hormis ces résultats répondant globalement aux objectifs de recherche annoncés, ces travaux ne manquent pas de points de discussion dont certains sont dus à la nature même du domaine d'application ou au contexte d'exécution des activités.

6.2/ DISCUSSION GÉNÉRALE

Les travaux de ce projet de thèse explorent le potentiel de la combinaison de deux domaines de recherche. Ils appliquent des techniques et des méthodes de l'ingénierie de connaissances, du domaine de l'informatique, à des connaissances issues de l'analyse de documents médiévaux du domaine de l'histoire et de l'archéologie. Ces documents sont les enluminures médiévales du duc de Bourgogne, Philippe le Bon. L'exploration de celles-ci par la recherche informatique est rare. Bien que nous ayons vu et utilisé des travaux antérieurs appliquant l'ingénierie informatique à d'autres collections culturelles, le cas spécifique de l'application des technologies du Web sémantique aux enluminures médiévales, dans une perspective de description et désambiguïsation, est inédite à notre

1. Klout :<https://klout.com/home>

2. Kred :<http://home.kred/>

3. PerIndex :www.peerindex.com

connaissance. De ce fait, les résultats obtenus présentent quelques insuffisances.

Premièrement, la correspondance établie entre les enluminures et les réseaux sociaux numériques est partielle. Avec les enluminures, la communication est unidirectionnelle. Ce sont les commanditaires seuls qui s'expriment explicitement à travers les objets figurants sur la peinture. L'expression des personnes qui les regardent et les apprécient n'est pas indiquée. Cela rend la caractérisation de l'influence, véhiculée par ces enluminures, très limitative. En outre, l'absence de données chiffrables sur les enluminures médiévales n'a pas permis de formaliser les influences qu'elles véhiculaient et les expérimenter sur des réseaux sociaux concrets, tels que les réseaux sociaux numériques. La quête et la mise à disposition de telles données nécessitent des activités de fouilles historiques qui sortent du cadre informatique.

À défaut d'une telle formalisation, la proposition d'amélioration faite pour l'analyse de l'influence dans les réseaux sociaux numériques est basée sur une restructuration conceptuelle des plateformes existantes actuellement. Il faut reconnaître que cette proposition contient le risque de limiter le pouvoir expressif de ces réseaux sociaux en tant qu'outils de création et de propagation de contenu numérique. Au regard du poids économique de ces outils, de promotion et de communication par excellence, auprès des individus et des grandes firmes, cette reconstruction structurelle est-elle envisageable ?

Deuxièmement, l'ontologie *MedievEnl* est basée sur une poignée d'enluminures. Elle est donc loin d'être exhaustive comme modèle représentant les connaissances contenues dans ces peintures et les savoir-faire des sachants. Toutefois, l'ontologie est extensible à travers le système *Illumination 3.0*. Comme évoqué dans la section 5.4 du chapitre 5, des améliorations sont à faire dans ce système. Entre autres nous pouvons citer : la précision dans la délimitation des objets à annoter, la possibilité de modifier leur étiquette d'annotation et l'adaptation de la base d'entraînement de l'algorithme de détection automatique d'objets aux enluminures.

6.3/ FUTURS TRAVAUX

Les défis de la recherche dans les réseaux sociaux numériques sont toujours grands et divers. Ils s'inscrivent sur plusieurs axes. La confiance entre les utilisateurs et leur authenticité, la confidentialité des messages et média postés, l'évaluation du dynamisme et de l'influence des utilisateurs sont quelques uns de ces axes. Le cas particulier de l'influence a été exploré dans ces travaux de thèse. Afin de trouver une formalisation de la qualité de l'influence, une analyse plus approfondie de la notion dans les enluminures pourrait être une perspective intéressante. Le modèle découlant de cette formalisation et pouvant être extrapolé avec les indicateurs de l'influence dans les réseaux sociaux numériques contribuerait à l'amélioration des verrous scientifiques liés à la notion. Entre autres exemples de ces derniers nous pouvons citer la maximisation de l'influence sociale, la mise en avant des influenceurs et leurs actions en ligne, la publicité par image (ou pictures marketing en anglais).

En outre, des termes issues de ces analyses approfondies des enluminures permettront d'étendre le champs de couverture de l'ontologie *MedievEnl*. Ainsi, la base d'entraînement de l'algorithme de détection automatique d'objets pourrait être adéquatement adapté aux enluminures afin de rendre plus efficient le module dédié à cette tâche. Toujours dans le cadre de l'amélioration de ce module, l'implémentation des règles d'in-

férences construites dans l'ontologie rendrait le raisonnement effectif dans le système *Illumination 3.0*.

Dans un autre registre d'application, l'agriculture est un domaine de recherche très riche et pourvoyeur de données qui, si elles sont bien organisées et exploitées à bon escient, permettraient de rehausser ce secteur au Mali. Il en est de même pour le secteur de l'éducation. Je souhaiterais mettre à profit, dans ces secteurs, mes acquis dans l'ingénierie des connaissances, plus spécifiquement dans la modélisation et l'exploitation des ontologies.

PUBLICATIONS

Les travaux d'un projet de thèse ne sont valorisés à hauteur de souhait que lorsqu'ils sont présentés et discutés lors des activités scientifiques. Dans ce sens, certains de nos résultats ont été présentés dans des conférences et d'autres ont été publiés dans des revues scientifiques.

Les communications faites sont :

- D. Diarra, M. Clouzot and C. Nicolle, *Raisonnement Causal et Relations Symboliques dans les Enluminures Médiévales*, in Proceedings of **Atelier Humanités numériques et Science des données de Extraction et Gestion des Connaissances (EGC)**, Paris, 22-26 Janvier 2018, <https://sdhn2018.sciencesconf.org/resource/page/id/2> ;
- D. Diarra, R. Belkaroui, M. Clouzot and Christophe Nicolle, *Illumination3.0 : A Semantic Annotation Platform Based on Ontology for Medieval Illuminations*, in Proceedings of **Journées francophones d'Ingénierie des Connaissances (IC) de Plate-Forme Intelligence Artificielle (PFIA)**, Toulouse, pp 231-234, 1-5 juillet 2019, https://www.irit.fr/pfia2019/wp-content/uploads/2019/09/actes_IC_CH_PFIA2019.pdf.

Les publications faites dans des revues scientifiques sont :

- D. Diarra, M. Clouzot and C. Nicolle, *Causal reasoning and symbolic relationships in Medieval Illuminations*, in **Journal of Data Mining and Digital Humanities (JDMDH)**, Episciences.org, Special Issue on Data Science and Digital Humanities, <https://jdmdh.episciences.org/5574/pdf>, 2019

BIBLIOGRAPHIE

- [1] COURTÉPÉE, C., AND BÉGUILLET, E. **Description générale et particulière du duché de Bourgogne**, vol. 1. V. Lagier, 1847.
- [2] DEUTSCH, M., AND GERARD, H. B. **A study of normative and informational social influences upon individual judgment**. *The journal of abnormal and social psychology* 51, 3 (1955), 629.
- [3] KELMAN, H. C. **Compliance, identification, and internalization three processes of attitude change**. *Journal of conflict resolution* 2, 1 (1958), 51–60.
- [4] GÉNICOT, L. **La noblesse au moyen age dans l'ancienne «francie»**. In *Annales. Histoire, Sciences Sociales* (1962), vol. 17, Cambridge University Press, pp. 1–22.
- [5] COLLINS, A. M., AND QUILLIAN, M. R. **Retrieval time from semantic memory**. *Journal of verbal learning and verbal behavior* 8, 2 (1969), 240–247.
- [6] COHEN, J. B., AND GOLDEN, E. **Informational social influence and product evaluation**. *Journal of applied Psychology* 56, 1 (1972), 54.
- [7] MINSKY, M. **A framework for representing knowledge**.
- [8] CALKINS, R. G. **Illuminated books of the middle ages**. Thames and Hudson London, 1983.
- [9] LEWIS-WILLIAMS, J. D. **Introductory essay : science and rock art**. *Goodwin Series* (1983), 3–2.
- [10] SOWA, J. F. **Conceptual structures : information processing in mind and machine**.
- [11] DOLK, D. R., AND KONSYNSKI, B. R. **Knowledge representation for model management systems**. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 6 (1984), 619–628.
- [12] LEVESQUE, H. J. **Knowledge representation and reasoning**. *Annual review of computer science* 1, 1 (1986), 255–287.
- [13] SCOTT, J. **Social network analysis**. *Sociology* 22, 1 (1988), 109–127.
- [14] SEEMAN, T. E., AND BERKMAN, L. F. **Structural characteristics of social networks and their relationship with social support in the elderly : who provides support**. *Social science & medicine* 26, 7 (1988), 737–749.
- [15] BRACHMAN, R. J., AND SCHMOLZE, J. G. **An overview of the ki-one knowledge representation system**. In *Readings in artificial intelligence and databases*. Elsevier, 1989, pp. 207–230.
- [16] SCHMIDT-SCHAU, M. **Subsumption in ki-one is undecidable**. In *Principles of Knowledge Representation and Reasoning : Proceedings of the 1st International Conference* (1989), pp. 421–431.
- [17] SWANSON, R. N. **Church and society in late medieval England**. Blackwell Oxford, 1989.

- [18] MILLER, G. A., BECKWITH, R., FELLBAUM, C., GROSS, D., AND MILLER, K. J. **Introduction to wordnet : An on-line lexical database.** *International journal of lexicography* 3, 4 (1990), 235–244.
- [19] NECHES, R., FIKES, R. E., FININ, T., GRUBER, T., PATIL, R., SENATOR, T., AND SWARTOUT, W. R. **Enabling technology for knowledge sharing.** *AI magazine* 12, 3 (1991), 36–36.
- [20] ALEXANDER, J. J. G. **Medieval illuminators and their methods of work.** Yale University Press, 1992.
- [21] GRUBER, T. **What is an ontology.** WWW Site <http://www-ksl.stanford.edu/kst/whatis-an-ontology.html> (accessed on 07-09-2004) (1993).
- [22] GRUBER, T. R. **A translation approach to portable ontology specifications.** *Knowledge acquisition* 5, 2 (1993), 199–220.
- [23] DE HAMEL, C. **A history of illuminated manuscripts.** Phaidon Press London, 1994.
- [24] RAUZIER, J. **Finances et gestion d'une principauté au XIV^{ème} siècle : le duché de Bourgogne de Philippe le Hardi, 1364-1384.** PhD thesis, Paris 4, 1994.
- [25] WASSERMAN, S., AND FAUST, K. **Social network analysis : Methods and applications**, vol. 8. Cambridge university press, 1994.
- [26] GRUBER, T. R. **Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing ?** *International Journal of Human-Computer Studies* 43, 5 (1995), 907 – 928.
- [27] GUARINO, N. **Formal ontology, conceptual analysis and knowledge representation.** *International journal of human-computer studies* 43, 5-6 (1995), 625–640.
- [28] DUTTON, W. H., AND PELTU, M. **Information and communication technologies : Visions and realities.** Oxford University Press, Inc., 1996.
- [29] MUGNIER, M.-L., AND CHEIN, M. **Représenter des connaissances et raisonner avec des graphes.** *Revue d'intelligence artificielle* 10, 1 (1996), 7–56.
- [30] DAVENPORT, T. H. **Ten principles of knowledge management and four case studies.** *Knowledge and process Management* 4, 3 (1997), 187–208.
- [31] GINSBURCH, V., AND MAIRESSE, F. **Defining a museum : Suggestions for an alternative approach.** *Museum Management and Curatorship* 16, 1 (1997), 15–33.
- [32] PETTY, R. E., WEGENER, D. T., AND FABRIGAR, L. R. **Attitudes and attitude change.** *Annual review of psychology* 48, 1 (1997), 609–647.
- [33] BLOCKMANS, W., BOONE, M., AND CARON, M.-T. **Le prince et le peuple : images de la société du temps des ducs de Bourgogne 1384-1530.** Fonds Mercator, 1998.
- [34] DAVENPORT, T. H., PRUSAK, L., AND OTHERS. **Working knowledge : How organizations manage what they know.** Harvard Business Press, 1998.
- [35] DIBIAGGIO, L. **Information, connaissance et organisation.** PhD thesis, Nice, 1998.
- [36] GUARINO, N. **Formal ontology in information systems : Proceedings of the first international conference (FOIS'98), June 6-8, Trento, Italy**, vol. 46. IOS press, 1998.

- [37] STUDER, R., BENJAMINS, V. R., AND FENSEL, D. **Knowledge engineering : principles and methods**. *Data & knowledge engineering* 25, 1-2 (1998), 161–197.
- [38] PAGE, L., BRIN, S., MOTWANI, R., AND WINOGRAD, T. **The pagerank citation ranking : Bringing order to the web**. Tech. rep., Stanford InfoLab, 1999.
- [39] SOWA, J. F. **Knowledge representation : logical, philosophical, and computational foundations**.
- [40] HATON, J.-P., AND HATON, M.-C. **Systèmes à bases de connaissances**. *Techniques de l'ingénieur. Informatique*, H3740 (2000), H3740–1.
- [41] MULLER, P.-A., AND GAERTNER, N. **Modélisation objet avec UML**, vol. 514. Eyrolles Paris, 2000.
- [42] LASSILA, O., AND MCGUINNESS, D. **The role of frame-based representation on the semantic web**. *Linköping Electronic Articles in Computer and Information Science* 6, 5 (2001), 2001.
- [43] NANCI, D., ESPINASSE, B., COHEN, B., AND COHEN, B. **Ingénierie des systèmes d'information : Merise : deuxième génération**. Vuibert Paris, 2001.
- [44] NOY, N. F., MCGUINNESS, D. L., AND OTHERS. **Ontology development 101 : A guide to creating your first ontology**, 2001.
- [45] STAAB, S., AND MAEDCHE, A. **Knowledge portals : Ontologies at work**. *AI magazine* 22, 2 (2001), 63–63.
- [46] CHARLET, J. **L'ingénierie des connaissances : développements, résultats et perspectives pour la gestion des connaissances médicales**. PhD thesis, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI, 2002.
- [47] DÖRR, M. **The cidoc crm-an ontological approach to semantic interoperability of metadata, 2001**. *AI Magazine, Special Issue on Ontologies*, Nov (2002).
- [48] GUARINO, N. **Ontology-driven conceptual modelling**. *proc. of ECAI-2000/N. Guarino, N. Welty, C. Welty//The European* (2002).
- [49] HAVELIWALA, T. H. **Topic-sensitive pagerank**. In *Proceedings of the 11th international conference on World Wide Web* (2002), ACM, pp. 517–526.
- [50] BLEI, D. M., NG, A. Y., AND JORDAN, M. I. **Latent dirichlet allocation**. *Journal of machine Learning research* 3, Jan (2003), 993–1022.
- [51] ERMINE, J.-L. **La gestion des connaissances**. Hermes Lavoisier, 2003.
- [52] HYVÖNEN, E., SAARELA, S., STYRMAN, A., AND VILJANEN, K. **Ontology-based image retrieval**. In *WWW (Posters)* (2003), Citeseer.
- [53] KEMPE, D., KLEINBERG, J., AND TARDOS, É. **Maximizing the spread of influence through a social network**. In *Proceedings of the ninth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining* (2003), ACM, pp. 137–146.
- [54] GABAY, J. **Merise et UML : Pour la modélisation des systèmes d'information**. Dunod, 2004.
- [55] KRUK, S. R. **Foaf-realm-control your friends' access to the resource**. In *FOAF Workshop proceedings* (2004), vol. 186.
- [56] REYNOLDS, D., SHABAJEE, P., AND CAYZER, S. **Semantic information portals**. In *WWW (Alternate Track Papers & Posters)* (2004), pp. 290–291.

- [57] BAADER, F., HORROCKS, I., AND SATTLER, U. **Description logics as ontology languages for the semantic web**. In *Mechanizing Mathematical Reasoning*. Springer, 2005, pp. 228–248.
- [58] LAURENT, J. **Km : Knowledge management, les trois dimensions d'un projet**. OCSIMA, À partir de l'URL <http://www.ocsima.fr/Projet-KM.pdf> (2005).
- [59] SURE, Y., BLOEHDORN, S., HAASE, P., HARTMANN, J., AND OBERLE, D. **The swrc ontology–semantic web for research communities**. In *Portuguese Conference on Artificial Intelligence* (2005), Springer, pp. 218–231.
- [60] BAHLOUL, D. **Une approche hybride de gestion des connaissances basée sur les ontologies**. PhD thesis, Université Paul Sabatier, 2006.
- [61] BODIN, Ö., CRONA, B., AND ERNSTSON, H. **Social networks in natural resource management : what is there to learn from a structural perspective ?** *Ecology and society* 11, 2 (2006).
- [62] DOERR, M., HUNTER, J., AND LAGOZE, C. **Towards a core ontology for information integration**. *Journal of Digital information* 4, 1 (2006).
- [63] GOLBECK, J., HENDLER, J., AND OTHERS. **Filmtrust : Movie recommendations using trust in web-based social networks**. In *Proceedings of the IEEE Consumer communications and networking conference* (2006), vol. 96, pp. 282–286.
- [64] LE BER, F., LIEBER, J., AND NAPOLI, A. **Les systèmes à base de connaissances**, 2006.
- [65] ORLÉANAIS DE GESTION (ORLÉANS/1996-2011)., L., AND PAQUET, P. **De l'information à la connaissance**. Iae Orléans, 2006.
- [66] BRICKLEY, D., AND MILLER, L. **Foaf vocabulary specification 0.91**, 2007.
- [67] DE LUCA, L., VÉRON, P., AND FLORENZANO, M. **A generic formalism for the semantic modeling and representation of architectural elements**. *The Visual Computer* 23, 3 (2007), 181–205.
- [68] ELLISON, N. B., AND OTHERS. **Social network sites : Definition, history, and scholarship**. *Journal of Computer-Mediated Communication* 13, 1 (2007), 210–230.
- [69] HORROCKS, I., PATEL-SCHNEIDER, P., BOLEY, H., TABET, S., GROSOFF, B., AND DEAN, M. **Swrl : A semantic web rule language combining owl and ruleml**. *W3C Member submission* 21 (01 2007), 1–20.
- [70] KAKALI, C., LOURDI, I., STASINOPOULOU, T., BOUNTOURI, L., PAPTAEODOROU, C., DOERR, M., AND GERGATSOULIS, M. **Integrating dublin core metadata for cultural heritage collections using ontologies**. *Proceedings of the International Conference on Dublin Core and Metadata Applications* (08 2007), 128–139.
- [71] ANAGNOSTOPOULOS, A., KUMAR, R., AND MAHDIAN, M. **Influence and correlation in social networks**. In *Proceedings of the 14th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining* (2008), ACM, pp. 7–15.
- [72] BIZER, C., HEATH, T., IDEHEN, K., AND BERNERS-LEE, T. **Linked data on the web (ldow2008)**. In *Proceedings of the 17th international conference on World Wide Web* (2008), ACM, pp. 1265–1266.
- [73] CLOUZOT, M. **Images des musiciens (1350-1500). typologies, figurations et pratiques sociales**. *Bulletin du centre d'études médiévales d'Auxerre* BUCEMA, 12 (2008).

- [74] FORSÉ, M. **Définir et analyser les réseaux sociaux**. *Informations sociales*, 3 (2008), 10–19.
- [75] KNOKE, D., AND YANG, S. **Social network analysis**. No. 154. Sage, 2008.
- [76] BENEVENUTO, F., RODRIGUES, T., CHA, M., AND ALMEIDA, V. **Characterizing user behavior in online social networks**. In *Proceedings of the 9th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement* (2009), ACM, pp. 49–62.
- [77] BORGATTI, S. P., MEHRA, A., BRASS, D. J., AND LABIANCA, G. **Network analysis in the social sciences**. *science* 323, 5916 (2009), 892–895.
- [78] CHEN, W., WANG, Y., AND YANG, S. **Efficient influence maximization in social networks**. In *Proceedings of the 15th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining* (2009), ACM, pp. 199–208.
- [79] DOERR, M. **Ontologies for cultural heritage**. In *Handbook on ontologies*. Springer, 2009, pp. 463–486.
- [80] HYVÖNEN, E. **Semantic portals for cultural heritage**. In *Handbook on ontologies*. Springer, 2009, pp. 757–778.
- [81] KIM, I.-W., AND LEE, K.-H. **A model-driven approach for describing semantic web services : From uml to owl-s**. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)* 39, 6 (2009), 637–646.
- [82] MUCCHIELLI, A. **L'art d'influencer**. Armand Colin, 2009.
- [83] BAECHLER, M., BLOECHLE, J.-L., AND INGOLD, R. **Semi-automatic annotation tool for medieval manuscripts**. In *2010 12th International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition* (2010), IEEE, pp. 182–187.
- [84] CHA, M., HADDADI, H., BENEVENUTO, F., AND GUMMADI, K. P. **Measuring user influence in twitter : The million follower fallacy**. In *fourth international AAAI conference on weblogs and social media* (2010).
- [85] COMBE, D., LARGERON, C., EGYED-ZSIGMOND, E., AND GÉRY, M. **A comparative study of social network analysis tools**.
- [86] KUMAR, R., NOVAK, J., AND TOMKINS, A. **Structure and evolution of online social networks**. In *Link mining : models, algorithms, and applications*. Springer, 2010, pp. 337–357.
- [87] VECCO, M. **A definition of cultural heritage : From the tangible to the intangible**. *Journal of Cultural Heritage* 11, 3 (2010), 321–324.
- [88] WENG, J., LIM, E.-P., JIANG, J., AND HE, Q. **Twitterrank : finding topic-sensitive influential twitterers**. In *Proceedings of the third ACM international conference on Web search and data mining* (2010), ACM, pp. 261–270.
- [89] YARLAGADDA, P., MONROY, A., CARQUE, B., AND OMMER, B. **Recognition and analysis of objects in medieval images**. In *Asian Conference on Computer Vision* (2010), Springer, pp. 296–305.
- [90] ALLEMANG, D., AND HENDLER, J. **Chapter 3 - rdf-the basis of the semantic web**. In *Semantic Web for the Working Ontologist (Second Edition)*, second edition ed. Morgan Kaufmann, 2011.
- [91] ALLEMANG, D., AND HENDLER, J. **Chapter 4 - semantic web application architecture**. In *Semantic Web for the Working Ontologist (Second Edition)*, second edition ed. Morgan Kaufmann, 2011.

- [92] ALLEMANG, D., AND HENDLER, J. **Chapter 5 - querying the semantic web—sparql**. In *Semantic Web for the Working Ontologist (Second Edition)*, second edition ed. Morgan Kaufmann, 2011.
- [93] ALLEMANG, D., AND HENDLER, J. **Chapter 6 - rdf schema**. In *Semantic Web for the Working Ontologist (Second Edition)*, second edition ed. Morgan Kaufmann, 2011.
- [94] ALLEMANG, D., AND HENDLER, J. **Chapter 9 - basic owl**. In *Semantic Web for the Working Ontologist (Second Edition)*, second edition ed. Morgan Kaufmann, 2011.
- [95] ANGER, I., AND KITTL, C. **Measuring influence on twitter**. In *Proceedings of the 11th International Conference on Knowledge Management and Knowledge Technologies (2011)*, ACM, p. 31.
- [96] BAADER, F. **What's new in description logics**. *Informatik-Spektrum* 34, 5 (Oct 2011), 434–442.
- [97] BAKSHY, E., HOFMAN, J. M., MASON, W. A., AND WATTS, D. J. **Everyone's an influencer : quantifying influence on twitter**. In *Proceedings of the fourth ACM international conference on Web search and data mining (2011)*, ACM, pp. 65–74.
- [98] BOONE, M. **Les Pays-Bas bourguignons : prospérité promise ou conquise ?** Bibliothèque nationale de France, Le seuil, 2011.
- [99] BOUSMANNE, B., AND DELCOURT, T. **Miniatures flamande 1404-1482**.
- [100] DAMOVA, M., AND DANNÉLLS, D. **Reason-able view of linked data for cultural heritage**. In *Third International Conference on Software, Services and Semantic Technologies S3T 2011 (2011)*, Springer, pp. 17–24.
- [101] DE LUCA, L., BUSAYARAT, C., STEFANI, C., VÉRON, P., AND FLORENZANO, M. **A semantic-based platform for the digital analysis of architectural heritage**. *Computers & Graphics* 35, 2 (2011), 227–241.
- [102] PILLOU, J.-F. **Knowledge Management (KM) - Gestion des connaissances**, 2011.
- [103] ROMERO, D. M., GALUBA, W., ASUR, S., AND HUBERMAN, B. A. **Influence and passivity in social media**. In *Joint European Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases (2011)*, Springer, pp. 18–33.
- [104] BHAGAT, S., GOYAL, A., AND LAKSHMANAN, L. V. **Maximizing product adoption in social networks**. In *Proceedings of the fifth ACM international conference on Web search and data mining (2012)*, ACM, pp. 603–612.
- [105] DESCOLA, P. **Claude Lévi-Strauss, un parcours dans le siècle**. Odile Jacob, 2012.
- [106] ERMINE, J.-L., MORADI, M., AND BRUNEL, S. **Une chaîne de valeur de la connaissance**. *Management international/International Management/Gestion Internacional* 16 (2012), 29–40.
- [107] FELLBAUM, C. **Wordnet**. *The Encyclopedia of Applied Linguistics* (2012).
- [108] FÖRSTER, F., RIEMER, H., AND KUPER, R. **The 'cave of beasts'(gulf kebir, sw egypt) and its chronological and cultural affiliation : approaches and preliminary results of the wadi sura project**. *The signs of which times* (2012), 197–216.
- [109] FOYS, M., AND BRADSHAW, S. **Developing digital mappaemundi : an agile mode for annotating medieval maps**. *Digital Medievalist* 7 (2012).

- [110] HYVÖNEN, E. **Publishing and using cultural heritage linked data on the semantic web**. *Synthesis Lectures on the Semantic Web : Theory and Technology* 2, 1 (2012), 1–159.
- [111] JABEUR, L. B., TAMINE, L., AND BOUGHANEM, M. **Active microbloggers : identifying influencers, leaders and discussers in microblogging networks**. In *International Symposium on String Processing and Information Retrieval* (2012), Springer, pp. 111–117.
- [112] PRAX, J.-Y. **Le manuel du knowledge management : mettre en réseau les hommes et les savoirs pour créer de la valeur**. Dunod, 2012.
- [113] SCHAEFER, M. **Return on influence : The revolutionary power of Klout, social scoring, and influence marketing**. McGraw-Hill New York, 2012.
- [114] SOLIS, B., AND WEBBER, A. **The rise of digital influence**. *Altimeter Group* (2012).
- [115] VERNETTE, E., BERTRANDIAS, L., GALAN, J.-P., VIGNOLLES, A., AND OTHERS. **Construit et concept de leader d’opinion dans les réseaux sociaux : proposition d’un agenda de recherche**. *28ème Congrès de l’Association Française du Marketing* (2012).
- [116] ZAMMAR, N. **Réseaux Sociaux numériques : essai de catégorisation et cartographie des controverses**. PhD thesis, 2012.
- [117] ZEDLITZ, J., AND LUTTENBERGER, N. **Transforming between uml conceptual models and owl 2 ontologies**. In *Terra Cognita 2012 Workshop* (2012), vol. 6, p. 15.
- [118] ALPHONSE, C. **Knowledge Management et Web 2.0 : Outils, méthodes et applications**. Lavoisier, 2013.
- [119] CARACCILO, C., STELLATO, A., MORSHED, A., JOHANNSEN, G., RAJBHANDARI, S., JAQUES, Y., AND KEIZER, J. **The agrovoc linked dataset**. *Semantic Web* 4, 3 (2013), 341–348.
- [120] DAVOODI, E., KIANMEHR, K., AND AFSHARCHI, M. **A semantic social network-based expert recommender system**. *Applied Intelligence* 39, 1 (Jul 2013), 1–13.
- [121] GROSHEK, J., AND AL-RAWI, A. **Public sentiment and critical framing in social media content during the 2012 us presidential campaign**. *Social Science Computer Review* 31, 5 (2013), 563–576.
- [122] GRUNDSTEIN, M. **De la capitalisation des connaissances au management des connaissances dans l’entreprise, les fondamentaux du knowledge management**. *chez INT-Entreprises* 3 (2013), 256–272.
- [123] BENDREY, R. **Review of wadi sura—the cave of beasts edited by rudolph kuper**, 2014.
- [124] DE LUCA, L. **Methods, formalisms and tools for the semantic-based surveying and representation of architectural heritage**. *Applied Geomatics* 6, 2 (2014), 115–139.
- [125] LI, S., ZHU, Y., LI, D., KIM, D., MA, H., AND HUANG, H. **Influence maximization in social networks with user attitude modification**. In *2014 IEEE International Conference on Communications (ICC)* (2014), IEEE, pp. 3913–3918.
- [126] PITTET, P. **OntoVersionGraph : a change management methodology dedicated to formal ontologies and their user views in a collaborative context**. PhD thesis, Université de Bourgogne, 2014.

- [127] SMAILOVIC, V., STRIGA, D., MAMIC, D.-P., AND PODOBNIK, V. **Calculating user's social influence through the smartsocial platform**. In *2014 22nd International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)* (2014), IEEE, pp. 383–387.
- [128] TIAGO, M. T. P. M. B., AND VERÍSSIMO, J. M. C. **Digital marketing and social media : Why bother ?** *Business horizons* 57, 6 (2014), 703–708.
- [129] CLOUZOT, M., ZEBIDI, R., AND NICOLLE, C. **(poster session) : Characterization of semantic relations in medieval illuminations**. In *Proceedings of the 1st International Conference of Science and Engineering of Arts Heritage and Archaeology* (2015), no. 1, SEAHA.
- [130] EMANI, C. K., CULLOT, N., AND NICOLLE, C. **Understandable big data : a survey**. *Computer science review* 17 (2015), 70–81.
- [131] ENLI, G. **" trust me, i am authentic !" : Authenticity illusions in social media politics**. In *The Routledge companion to social media and politics*. Routledge, 2015, pp. 121–136.
- [132] GADEN, G., AND DUMITRICA, D. **The 'real deal' : Strategic authenticity, politics and social media**. *First Monday* 20, 1 (2015).
- [133] HAMARI, J., AND KOIVISTO, J. **"working out for likes" : An empirical study on social influence in exercise gamification**. *Computers in Human Behavior* 50 (2015), 333–347.
- [134] RAO, A., SPASOJEVIC, N., LI, Z., AND DSOUZA, T. **Klout score : Measuring influence across multiple social networks**. In *2015 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)* (2015), IEEE, pp. 2282–2289.
- [135] REN, S., HE, K., GIRSHICK, R., AND SUN, J. **Faster r-cnn : Towards real-time object detection with region proposal networks**. In *Advances in neural information processing systems* (2015), pp. 91–99.
- [136] ALEAHMAD, A., KARISANI, P., RAHGOZAR, M., AND OROUMCHIAN, F. **Olfinder : Finding opinion leaders in online social networks**. *Journal of Information Science* 42, 5 (2016), 659–674.
- [137] DU, W., LIN, H., SUN, J., YANG, H., AND YU, B. **Building influence for online social networks**. In *International Conference on Soft Computing and Pattern Recognition* (2016), Springer, pp. 709–718.
- [138] HEUDIN, J.-C. **Comprendre le deep learning : une introduction aux réseaux de neurones**. Science-eBook, 2016.
- [139] KACEM, A., BELKAROUI, R., JEMAL, D., GHORBEL, H., FAIZ, R., AND ABID, I. H. **Towards improving e-government services using social media-based citizen's profile investigation**. In *Proceedings of the 9th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance* (2016), ACM, pp. 187–190.
- [140] MUKKAMALA, A., AND BECK, R. **Disaster management and social media use for decision making by humanitarian organizations**. In *2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)* (2016), IEEE, pp. 1379–1385.
- [141] RIQUELME, F., AND GONZÁLEZ-CANTERGIANI, P. **Measuring user influence on twitter : A survey**. *Information Processing & Management* 52, 5 (2016), 949–975.
- [142] SHAHIN, M. **The relationship between social capital and political participation**. *Mediterranean Journal of Social Sciences* 7, 2 S1 (2016), 136.

- [143] ALTHOFF, T., JINDAL, P., AND LESKOVEC, J. **Online actions with offline impact : How online social networks influence online and offline user behavior**. In *Proceedings of the tenth ACM international conference on web search and data mining* (2017), ACM, pp. 537–546.
- [144] BAADER, F., HORROCKS, I., LUTZ, C., AND SATTLER, U. **An Introduction to Description Logic**. Cambridge University Press, United Kingdom, 4 2017.
- [145] GRIZE, J.-B. **Logique des propositions et des prédicats, tables de vérité et axiomatisation**. Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2017.
- [146] STEPHANE, D. **Introduction à l' influence sociale**, 2017.
- [147] ENNAJI, F. Z., AZAZA, L., MAAMAR, Z., EL FAZZIKI, A., SAVONNET, M., SADGAL, M., LECLERCQ, E., AMAROUICHE, I. A., AND BENSLIMANE, D. **Impact of credibility on opinion analysis in social media**. *Fundamenta Informaticae* 162, 4 (2018), 259–281.
- [148] KIM, J., AND HASTAK, M. **Social network analysis : Characteristics of online social networks after a disaster**. *International Journal of Information Management* 38, 1 (2018), 86–96.
- [149] LI, K., ZHANG, L., AND HUANG, H. **Social influence analysis : models, methods, and evaluation**. *Engineering* 4, 1 (2018), 40–46.
- [150] MARROQUIN, R., DUBOIS, J., AND NICOLLE, C. **Ontology for a panoptes building : Exploiting contextual information and a smart camera network**. *Semantic Web*, Preprint (2018), 1–26.
- [151] MESSAOUDI, T., VÉRON, P., HALIN, G., AND DE LUCA, L. **An ontological model for the reality-based 3d annotation of heritage building conservation state**. *Journal of Cultural Heritage* 29 (2018), 100–112.
- [152] WILDER, B., IMMORLICA, N., RICE, E., AND TAMBE, M. **Maximizing influence in an unknown social network**. In *Thirty-Second AAAI Conference on Artificial Intelligence* (2018).
- [153] WILDER, B., ONASCH-VERA, L., HUDSON, J., LUNA, J., WILSON, N., PETERING, R., WOO, D., TAMBE, M., AND RICE, E. **End-to-end influence maximization in the field**. In *Proceedings of the 17th International Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems* (2018), International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems, pp. 1414–1422.
- [154] DIARRA, D., NICOLLE, C., AND CLOUZOT, M. **Causal reasoning and symbolic relationships in medieval illuminations**. *Journal of Data Mining & Digital Humanities Special Issue on Data Science and Digital Humanities @ EGC 2018* (2019).
- [155] WANG, J., CHEN, K., YANG, S., LOY, C. C., AND LIN, D. **Region proposal by guided anchoring**. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (2019), pp. 2965–2974.

LISTE DES FIGURES

2.1	Une enluminure médiévale représentant la cérémonie de la présentation d'un luxueux livre enluminé au duc de Bourgogne, Philippe le Bon. <i>Bruxelles, Bibliothèque royale de Belgique, ms. 9243, folio 1 verso, Chronique de Hainaut par Jean Wauquelin, 1446</i>	15
3.1	Processus circulaire des opérations de la gestion des connaissances. <i>source : inspiré de [102]</i>	26
3.2	Relations entre modèle de représentation, langage de représentation et domaine représenté	29
3.3	Représentation partielle d'un espace de travail avec un réseau sémantique	30
3.4	Exemple de représentation avec le graphe conceptuel	31
3.5	Une exemple de représentation avec un modèle de type frame (UML). . . .	32
3.6	Architecture générique d'un SBC. (<i>Inspiré de [144]</i>)	34
3.7	Variantes des logiques de description.	42
3.8	Phases principales de la construction d'ontologie (<i>Source : extrait de [46]</i>) .	44
3.9	Une représentation RDF.	47
3.10	Vue des classes supérieures de l'ontologie <i>MedievEnl</i>	54
3.11	Vue des classes et des relations de <i>MedievEnl</i> dans Protégé 2000	59
4.1	Représentation ontologique de l'organisation de la société médiévale	83
4.2	Processus de diffusion des enluminures et de l'influence du duc Philippe le Bon	85
5.1	Éléments dont les combinaisons retracent ces travaux de thèse.	92
5.2	Activités d'ingénierie et de partage de connaissances dans ces travaux de thèse.	94
5.3	Architecture Générale du système Illumination 3.0	95
5.4	Enluminure annotée dans le système Illumination 3.0.	96
5.5	API Python servant de canal de communication dans le système Illumination 3.0	97
5.6	Détection d'objets sur une enluminure.	98

LISTE DES TABLES

2.1	Points de correspondance entre le réseau social médiéval et le réseau social numérique.	20
3.1	Définitions des notions de données, d'informations, de connaissances et de savoir.	27
3.2	Exemples de représentation en logiques de description.	40
3.3	Constructeurs des logiques de description, leur syntaxe et leur sémantique. <i>source : [144]</i>	40
3.4	Axiomes de base des logiques de descriptions. <i>source : [144]</i>	41
3.5	Exemples d'axiomes extraits de nos enluminures et représentés en logiques de description	41
3.6	Questions de compétences qui ont orienté le choix des termes dans l'ontologie <i>MedievEnl</i>	52
3.7	Ontologies externes utilisées dans <i>MedievEnl</i>	53
3.8	Termes propres à <i>MedievEnl</i>	55
3.9	Termes propres à <i>MedievEnl</i> (suite...)	56
3.10	Règles SWRL contenues dans <i>MedievEnl</i>	58
4.1	Les indicateurs utilisés dans le calcul du score d'influence social dans un média social.	73
4.2	Indicateurs de qualité de l'influence sociale	78
4.3	Catégorisation qualitative de l'influence sociale selon la source de la puissance de l'entité influente. <i>Source : inspiré de [3]</i>	80
4.4	Les insuffisances qui rendent difficile l'évaluation des facteurs internes de l'influence sociale numérique	81
4.5	Facteurs de qualité de l'influence sociale dans la société médiévale.	86

