



HAL
open science

Mediev'Enl -Une ontologie de domaine des entités du patrimoine culturel : cas des enluminures médiévales du duc de Bourgogne

Djibril Diarra, Martine Clouzot, Christophe Nicolle

► To cite this version:

Djibril Diarra, Martine Clouzot, Christophe Nicolle. Mediev'Enl -Une ontologie de domaine des entités du patrimoine culturel : cas des enluminures médiévales du duc de Bourgogne. 2024. hal-04663225

HAL Id: hal-04663225

<https://hal.science/hal-04663225>

Preprint submitted on 2 Aug 2024

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.

Mediev'Enl - Une ontologie de domaine des entités du patrimoine culturel : cas des enluminures médiévales du duc de Bourgogne

Mediev'Enl - A domain ontology for cultural heritage items: case of medieval illuminations of Burgundy duke

Djibril Diarra^{*1}, Martine Clouzot² et Christophe Nicolle³

¹ Institut universitaire de développement territorial, IU DT, université des sciences sociale et de gestion de Bamako, USSGB, BP : E2918, Bamako, Mali.

² ArTeHis Lab (Archéologie terre et histoire) - UMR 6298, université Bourgogne, uB, 21000 Dijon, France.

³ CIAD Lab (Laboratoire connaissances et intelligence artificielle distribuées) - UMR 7533, université de Bourgogne, uB, 21000 Dijon, France.

* Correspondance : dl4djibril@gmail.com

Résumé

Au Moyen Âge, des enluminures étaient destinées aux élites de la société et leurs servaient de moyen de communication pour étendre leurs influences sociales et pour représenter leurs environnements sociaux. Elles constituent un système d'information basé sur des composants symboliques reliés entre eux par des relations sémantiques et influentes dont la structure est proche des modèles représentant des relations sociales et des réseaux. Aujourd'hui, la compréhension de ces enluminures et l'extraction de leurs messages implicites, exprimés par la combinaison d'éléments graphiques métaphoriques, sont une tâche difficile réservée aux experts. Pour aider ces derniers et traiter l'hétérogénéité sémantique des enluminures, cet article explore la synergie entre les techniques de représentation des connaissances et l'analyse des documents médiévaux pour construire un modèle de connaissances décrivant ces peintures médiévales. Il propose une ontologie formelle composée d'entités décrivant les savoirs explicites et visibles des enluminures médiévales et d'autres exprimant leurs messages implicites. Les enluminures concernées sont une partie de celles commandées et relatives au duc de Bourgogne, Philippe le Bon.

In the Middle Ages, some illuminations were intended for the elites of society and served as a means of communication for them to extend their social influences and to represent their social environments. They constitute an information system based on symbolic components linked together by semantic and influential relationships whose structure is close to models representing social relationships and networks. Today, understanding these illuminations and extracting their implicit messages, expressed through the combination of metaphorical graphic elements, are a difficult task reserved for experts. To help these latter and address the semantic heterogeneity of illuminations, this article explores the synergy between knowledge representation techniques and the analysis of medieval documents to build a knowledge model describing these medieval paintings. It proposes a formal ontology composed of items describing the explicit and visible

knowledge of medieval illuminations and others expressing their implicit messages. The considered illuminations are part of those ordered or linked to the Burgundy duke, Philippe le Bon

Mots-clés

Ontologie, représentation de connaissances, modélisation sémantique, numérisation, patrimoine culturel, enluminure médiévale

Keywords

Ontology, knowledge representation, semantic modelling, digitalisation, cultural heritage, medieval illumination

Introduction

Les enluminures prises en compte dans ces travaux sont des images décoratives ou des miniatures qui, au Moyen Âge, servaient de support de communication et de représentation sociale à partir d'entités symboliques reliées les unes aux autres par des relations sémantiques. Elles représentent ainsi des relations sociales et des réseaux. Certaines des entités symboliques ou leurs combinaisons indiquent des messages explicites et implicites dont les interprétations sont parfois délicates et dépendent des contextes changeants de conception, de l'environnement social du promoteur ou du concepteur des enluminures et de la diversité des contenus de celles-ci. Les messages codifiés dans ces enluminures circulent d'une entité sociale (personne, groupe, organisation, etc.) vers d'autres par le biais des relations d'influence qualitative. Ces messages codifiés véhiculés sont plus ou moins explicites et leur interprétation est l'apanage des spécialistes (historiens en art, médiévistes, etc.). Ce qui est un frein à la bonne compréhension du contenu de ces enluminures par des néophytes.

À cette ère des technologies de l'informations et de communications, les relations sociales et réseaux représentés par ces enluminures médiévales peuvent être décrits par des techniques de représentation des connaissances, à travers un modèle sémantique et formel. Ainsi les questions à se poser sont : comment décrire formellement ces enluminures médiévales pour faciliter leurs interprétations, comment est indiquée l'influence sociale qu'elles diffusaient ?

Pour aborder ces questions, nous proposons dans cet article une ontologie formelle qui décrit les éléments et relations explicites contenus dans les enluminures et permet le raisonnement en ajoutant des règles logiques pour mettre en évidence des connaissances implicites. L'ontologie proposée décrit les enluminures en tenant compte des entités symboliques qu'elles contiennent et des relations sémantiques entre celles-ci. L'objectif final est de fournir sur les enluminures médiévales un modèle formel de données compréhensible par l'humain et traitable par des systèmes informatiques. Cela serait une contribution à la numérisation de ces entités du patrimoine culturel.

Le reste de l'article est organisé comme suit. La section I introduit une présentation des enluminures du duc. La section II expose la représentation des connaissances, les modèles logiques et les techniques et technologies utilisées. La section III décrit des travaux liés à la description des connaissances à l'aide des ontologies, particulièrement, la représentation des connaissances relatives au patrimoine culturel. La section IV détaille le processus de développement de l'ontologie proposée, ses liens avec d'autres ontologies valides et les résultats obtenus. La section V commente et discute de ces résultats. Enfin, nous concluons l'article.

I. Enluminures médiévales du duc de Bourgogne

Cette section donne une brève présentation des enluminures du duc en les définissant et expliquant les principes de leur conception et réalisation.

1.1. Enluminures : définition et principes de conception

Une enluminure désigne l'ensemble des éléments décoratifs et des représentations imagées faits à la main sur des supports afin de les embellir (De Hamel 1994; Pächt 2000). En tant que décoratifs, différents éléments entrent dans la dénomination « enluminure ». On distingue entre autres des lettrines ou initiales décorées, des frontispices, des scènes figurées (Brown 1994; De Hamel 1994). Les supports sur lesquels sont réalisées les enluminures sont divers : murs, roches, parchemins, etc. Parfois, elles sont conçues sous forme de tableau (œuvre d'art) et d'autre fois, elles sont insérées dans du texte pouvant les expliquer ou simplement qu'elles décorent. Insérées dans du texte, elles sont appelées miniatures (Brown 1994; De Hamel 1994; Alexander 1997; Pächt 2000).

Au Moyen Âge, les miniatures et autres formes d'enluminures ont été beaucoup utilisées dans la réalisation des manuscrits. Une pratique courante de l'époque grâce au mécénat des princes à faveur de la production de manuscrits médiévaux (Bibliothèque nationale de France 2024). Ces derniers étaient réalisés, soit sur leur commande ou soit à leur honneur sous forme de cadeau par exemple (De Hamel 1994; Alexander 1997).

Cet article s'intéresse à des miniatures réalisées dans les manuscrits médiévaux commandées par le duc de Bourgogne, Philippe le Bon¹, ou qui lui ont été offerts : d'où la dénomination « enluminures du duc de Bourgogne ».

Ces enluminures du duc étaient des peintures luxueuses conçues pour immortaliser des événements majeurs de sa cour, de représenter son environnement social et de communiquer. L'objectif est de propager une bonne image de la personnalité du duc, du pouvoir, de la richesse et des valeurs culturelles du parrain. La figure **Error! Reference source not found.** illustre une enluminure représentant une scène de donation d'un livre enluminé au duc Philippe le Bon, entouré de son fils aîné, de quelques chevaliers et de ses proches conseillers.



Figure 1 - Enluminure illustrant une scène de donation d'un luxueux livre enluminé au duc. Chroniques du Hainaut, Miniature de Roger Van Der Weyden. 1446-1448. Bruxelles, KBR, ms. 9242, f.1.

Source : Bibliothèque royale de Belgique

Les entités explicites qui apparaissent dans une enluminure, telles que les personnes, les objets, les couleurs et leurs dispositions dans la peinture sont soigneusement sélectionnées soit par le commanditaire lui-même, soit par l'enlumineur (Alexander 1992; Clouzot 2010). La sélection dépend de l'événement et des thèmes à représenter. Elle est faite dans le but d'insérer dans la peinture finale des messages explicites, par la présence de certaines entités symboliques comme le collier de toison d'or pour exprimer l'ordre de la chevalerie par exemple, ou des messages implicites identifiables par la combinaison de certaines entités ou leurs positions topologiques. Un exemple des positions topologiques est la position centrale du duc dans la figure **Error! Reference source not found.** Elle représente sa domination militaire et son autorité politique. Dans d'autres événements, les enluminures déjà réalisées sont exposées à l'attention d'un public ciblé généralement composé d'élites de la société.

Les enluminures médiévales du duc avaient donc un double rôle : elles permettaient de représenter son environnement social, mais aussi de communiquer au sein de celui-ci afin de propager son influence. Celle-ci se manifeste dans les emprunts, les copies et les vols des enluminures.

1.2. Enluminure médiévale comme support de représentation de relations sociales et de réseaux

Les enluminures servaient comme support de communication à leur commanditaire en leur permettant de raconter, par allégories et métaphores, une histoire de manière efficace parce qu'elles sont belles à visualiser et agissent sur le sens cognitif des personnes qui savent les interpréter (Boone et al. 1998; Clouzot 2010). Elles provoquaient alors chez ces personnes (des élites de la société) l'adoption de certains comportements et idées que le duc voulait promouvoir,

d'où leur deuxième rôle : un moyen de création et de propagation de l'influence sociale du duc. En ce sens, un livre enluminé peut être considéré comme un support de représentation de relation sociales et de réseaux, mais aussi de propagation de d'influence à travers un ensemble de messages codifiés dont la perception, la compréhension et l'interprétation ne sont pas toujours évidentes (Diarra, Clouzot, et al. 2019).

L'identification, l'organisation et la représentation de ces connaissances dans un modèle sémantique paraissent comme un défi intéressant et peuvent aider les médiévistes spécialistes à mieux promouvoir ces enluminures avec de l'aide de systèmes informatisés.

II. Représentation de connaissances, modèles et ontologies formelles

La gestion des connaissances est l'ensemble des stratégies, 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 organisation ou le savoir créé par une entreprise en vue d'atteindre des objectifs fixés (Davenport 1997; Prax 2012a; Prax 2012b). C'est un processus évolutif structuré autour de trois dimensions à savoir : le management de connaissances, l'ingénierie de connaissances et la distribution. La première dimension fait référence aux décisions et stratégies du haut niveau managérial de l'organisation pour la gestion des connaissances. La seconde a trait aux méthodes, techniques et technologiques utilisées dans cette gestion. Et la dernière, fortement liée à la seconde, concerne les moyens utilisés dans la distribution et le partage des connaissances traitées par les moyens de la dimension ingénierie (Prax 2012a).

La représentation des connaissances est une tâche de la dimension ingénierie. Elle consiste à faire passer des connaissances d'un domaine présentées dans une forme initiale, appelée forme représentée, en une autre appelée forme représentante. Elle est faite conformément à des objectifs précis et la forme représentante devrait permettre de les atteindre plus facilement que la représentée. Par exemple, pour des objectifs de traitement, un processeur d'ordinateur doit convertir le nombre « 7 » en binaire « 110 ». Ici, la forme initiale, la représentée, de 10 est la base décimale et celle représentante est le binaire (la base 2). La seconde est évidemment plus compréhensible par le processeur.

Le passage d'une forme de représentation à une autre est appelé la modélisation et le résultat de celle-ci est un modèle. Toute modélisation est faite suivant un langage. Ce dernier est composé d'un ensemble de caractères, symboles ou figures appelés ses constructeurs, dont la diversité et les règles de combinaison définissent l'expressivité du langage.

En résumé, un modèle représente les connaissances d'un domaine en utilisant toujours un langage. Le choix du langage dépend des objectifs de la modélisation, principalement les usages prévus du modèle obtenu.

2.1. Modèles de représentation de connaissances par les ontologies formelles

Un modèle est dit formel s'il est directement traitable par des systèmes informatiques sans recours à des méta-modèles intermédiaires (Brachman et Levesque 2004). Quand un modèle doit être traité par un tel système, celui-ci devrait fournir un résultat en un temps raisonnable. C'est ainsi que ce modèle est dit décidable.

Au regard des besoins de modèle formel et décidable, une ontologie convient mieux à nos objectifs. Il existe d'autres modèles de représentation de connaissances, entre autres les graphes

conceptuels (Mugnier et Chein 1996), les frames (Muller et Gaertner 2000), mais ceux-ci ont le défaut d'être semi-formels ou non formels.

En effet, une ontologie est modèle logique, c'est-à-dire pouvant être décrit par des concepts de la logique des prédicats (LP) (Grize 1971). À ce titre, avec les logiques de description (DL) (Baader et al. 2005), une variante de la LP, une ontologie peut facilement être formelle et décidable.

Il faut rappeler que nous souhaitons un modèle permettant d'extraire des connaissances implicites de celles explicites. Une ontologie facilite cela à travers un processus de raisonnement matérialisé par un langage appelé le SWRL (Semantic web rules language, pour langage de définition de règles d'inférence pour le web sémantique). Le SWRL étend l'expressivité du langage officiel dans lequel toute ontologie décidable. Il s'agit du langage OWL-DL² (ontology web language descriptions Logics, pour le langage de description logique des ontologies du web).

Une fois bien construite suivant les standards, l'ontologie peut donc être exploitée par le langage d'interrogation SPARQL³ à travers des requêtes permettant d'y extraire des connaissances.

2.2. Construction d'une ontologie formelle

Une ontologie est un modèle de description des connaissances dans un domaine d'intérêt (Guarino et al. 2009). Ces connaissances sont constituées, d'une part, des principales abstractions inhérentes à la représentation du domaine et à son fonctionnement ; et d'autre part, par les interprétations de ces abstractions. On les appelle des termes de l'ontologie.

La modélisation ontologique consiste donc à identifier, caractériser et à organiser ces termes en des classes, propriétés, axiomes ou des instances (Guarino et al. 2009) de sorte à représenter fidèlement un domaine d'intérêt.

Nous proposons dans un article une ontologie formelle représentant le domaine d'intérêt composées d'enluminures médiévales du duc de Bourgogne, Philippe le Bon.

Elle est construite à l'aide de l'éditeur d'ontologie Protégé 2000⁴. Cet éditeur est un outil logiciel graphique qui implémente les constructeurs du langage OWL-DL et permet d'implémenter des règles SWRL. Il facilite la construction d'une ontologie grâce à des interfaces graphiques et très intuitives. La figure **Error! Reference source not found.** montre une visualisation de notre ontologie dans l'éditeur Protégé 2000.

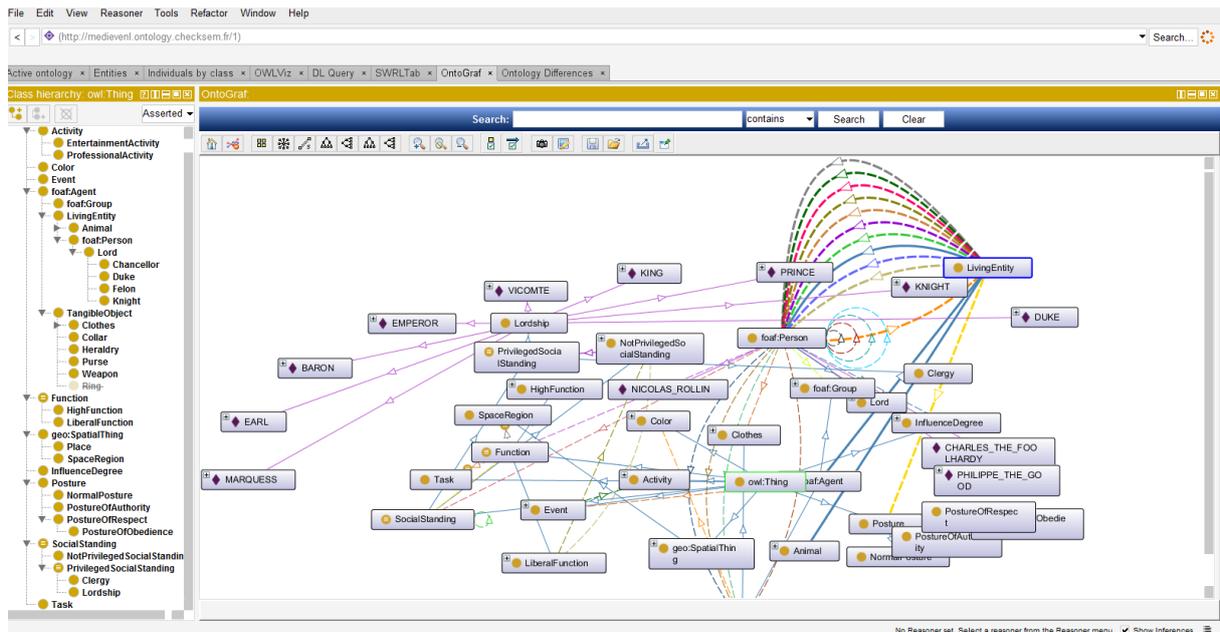


Figure 2 - Une visualisation de notre ontologie dans l'éditeur Protégé 2000

Les spécifications et l'approche de construction de cette ontologie sont détaillées dans la section 4.1, mais avant faisons un bref état des lieux sur des travaux traitant des thématiques connexes aux nôtres.

III. Travaux connexes

Les collections⁵ du patrimoine culturel constituent un domaine d'application très exploité par des technologies de l'information et de la communication, de la numérisation par la photographie simple à la reconstruction et analyse par la vision assistée par ordinateur (Aicardi et al. 2018; Machidon et al. 2018), en passant par la description des contenus (Crofts et al. 2011; Hassan et al. 2013). Cette dernière s'appuie sur des vocabulaires contrôlés voire des ontologies qui constituent un élément central du schéma du web sémantique (Berners-lee et al. 2001) et des données ouvertes et liées (LOD) (Bizer et al. 2008).

Pour exemple, CIDOC-CRM (Modèle conceptuel de référence orienté objet pour les images et documents culturels) est une ontologie célèbre créée pour la description des documents et matériels gérés par les musées et autres institutions assimilées. Ayant pour but de faciliter l'intégration, la médiation et l'échange d'informations hétérogènes sur les collections du patrimoine culturel, elle est développée par le conseil international des musées (ICOM) à travers son comité international des documentation (CIDOC) (Doerr 2004; Crofts et al. 2011). Avec quatre-vingt-dix (90) concepts (classes) et plus de cent quarante (140) propriétés (voir le site web⁶ dédié), c'est une ontologie qui couvre un très large éventail de collections gérées par les musées et autres institutions assimilées, comme définit par l'ICOM (Crofts et al. 2011). C'est une ontologie de haut niveau dans la mesure où elle décrit les entités du patrimoine culturel à un niveau d'abstraction très élevé. Elle est donc très générale et dépasse toute spécificité d'un contexte particulier ou local, contrairement aux ontologies de domaine⁷.

Cet atout majeur de CIDOC-CRM est en même temps son défaut. En effet, elle est assez complexe à implémenter en l'adaptant à un cas spécifique d'entités de patrimoine culturel pour constituer, par exemple, une base de données supportant un système informatique. Cela

nécessite de l'étendre en l'adaptant au contexte voulu. C'est l'une des contributions de notre l'ontologie.

Etant centrale dans la description des collections du patrimoine culturel (Hyvönen 2009), la notion d'événement est représentée dans CIDOC-CRM par l'entité *E5 Event*. C'est pourquoi l'ontologie que nous proposons ici est également structurée autour cette entité. Au lieu de définir un nouveau concept, nous utilisons celui de l'ontologie EVENT.

Toute aussi importante, la notion de personne est représentée par l'entité *E21 Person* dans CIDOC-CRM. Dans notre ontologie nous la représentons par un concept similaire mais provenant d'une autre ontologie célèbre décrivant les relations sociales : l'ontologie FOAF⁸ (Friend of a friend, traduit par amis des amis) créée par (Brickley et Miller 2007). Ce choix est motivé par le fait que les enluminures considérées dans nos travaux représentent des relations sociales et que FOAF est un peu moins complexe à étendre et implémenter.

À l'instar de CIDOC-CRM, notre ontologie contribue également à la numérisation des données du patrimoine culturel, mais elle est spécifique aux enluminures du duc de Bourgogne.

De nombreux autres travaux sur la modélisation sémantique des images historiques dans les musées ou les archives utilisent le CIDOC-CRM afin d'étendre leur ontologie (Doerr et al. 2003; Kakali et al. 2007), ou pour fournir de leurs données modélisées une lisibilité à l'humain et aux systèmes informatiques (Damova et Dannélls 2011).

ArCo⁹ est un autre exemple des ontologies décrivant le patrimoine culturel. Elle décrit différents types de biens culturels italiens et leurs propriétés. Ces biens et documents culturels sont actuellement gérés par le SIGEC (système de l'Institut central italien de catalogage et de documentation). ArCo structure les événements culturels, les personnes et instituts qui y participent, leurs dates, les objets culturels (peinture, sculpture, etc.) qui représentent ces événements, les emplacements de ces objets (où ils se situent maintenant, où ils étaient dans le passé, où ont-ils été fabriqués ?), et leurs propriétés descriptives (longueur, poids, matériaux avec lesquels ils sont fabriqués, etc.). En ce qui concerne les objectifs généraux, à savoir la numérisation sémantique des entités du patrimoine culturel et l'extraction d'informations spécifiques relatives à des collections historiques précises, notre ontologie est similaire à ArCo. Elles se différencient par les entités décrites.

Sur les techniques et outils utilisés pour la modélisation, les données du patrimoine culturel sont considérées comme syntaxiquement et sémantiquement très hétérogènes et riches, multilingues et fortement connectées parce que produites par des entités différentes (musées, archives, fouilles archéologiques, etc.). (Hyvönen 2012) donne quelques idées sur quand, pourquoi et comment utiliser les technologies du web sémantique dans la pratique pour publier des connaissances sur le patrimoine culturel sur le web. Il mentionne la plupart des outils et des techniques que nous avons utilisés dans notre travail.

Les principales motivations derrière nos travaux sont le partage des connaissances extraites des enluminures, leur intégration et interopérabilité éventuelle avec d'autres connaissances similaires, et la mise à disposition d'un modèle formel valide qui pourrait être utilisé dans les systèmes informatisés exploités pour gérer des données du patrimoine culturel.

IV. Mediev'Enl : Ontologie sur les enluminures du duc de Bourgogne

Nous avons nommé notre ontologie **mediev'Enl**, en référence au temps (le Moyen Âge) et aux images elles-mêmes (les enluminures). Dans les normes, une ontologie valide est fournie avec

un espace de nom (une adresse URL permettant de l'accéder et la parcourir). La nôtre avait bien été publiée à l'adresse *http://medievenl.ontology.checksem.fr*, mais le serveur ayant été endommagé, à l'heure où cet article est écrit, cet URL n'est pas opérationnel. Tout lecteur désireux de visualiser l'intégralité de notre ontologie peut l'avoir sur demande. Il pourrait ainsi la visualiser dans l'outil en ligne WebVOWL¹⁰.

Cette section est consacrée aux spécifications en décrivant les étapes de la construction de l'ontologie proposée. Les spécifications détaillent les termes de *mediev'Enl*. Le choix de ces derniers dépend du domaine et de certains besoins et attentes.

4.1. Attentes de l'ontologie *mediev'Enl*

La modélisation ontologique des connaissances dans un domaine d'intérêt est motivée par différentes attentes conceptuelles et applicatives pour le modèle final (Gruber 1993; Gruber 1995). Une attente très fréquente est la mise à disposition d'une base de connaissances uniforme sur le domaine. En effet, une ontologie facilite la communication et le partage d'informations entre les experts d'un domaine, ou entre eux et d'autres utilisateurs, pas nécessairement experts. Dans notre cas, trois attentes principales motivent la construction de *mediev'Enl* et le choix de ses termes. Elles sont :

- la clarification des interprétations d'une enluminure et la numérisation des connaissances qu'elle contient ;
- et la description des relations sociales du duc dépeintes dans une enluminures et celle de l'influence sociale qualitative qu'elle propage.

La satisfaction de ces besoins permettrait d'avoir une base de connaissances homogène sur les enluminures du duc et faciliterait leurs interprétations, parce que l'ontologie créée sera peuplée par les connaissances de l'expert et ses règles d'inférence permettront de définir de nouvelles connaissances qui ne sont pas explicitement exprimées.

4.2. Étapes de construction de *mediev'Enl* : choix des enluminures et questions de compétence

Pour permettre à *mediev'Enl* de répondre aux attentes exprimées, nous avons sélectionné un ensemble d'enluminures du duc. Les principaux critères de sélection sont :

- la présence de Philippe le Bon dans la représentation, ou la présence de membres importants de son gouvernement, de sa famille, ou la présence de tout autre objet qui serait important pour son pouvoir, comme le collier de toison d'or. Ces éléments sont connus grâce à l'expertise des spécialistes ;
- l'aspect profane des enluminures est également un critère de choix important. Les enluminures du duc représentaient plusieurs thèmes qui vont de la liturgie aux événements de divertissement tels que les mariages et les buffets en passant par l'histoire, ou la culture. Afin de ne pas nous focaliser sur une doctrine particulière, nous avons décidé d'être neutres et ne choisir que les enluminures profanes.

Suivant ces critères, nous en avons sélectionné dix (10). La figure **Error! Reference source not found.** est la seule présentée dans l'article à titre illustratif. L'ontologie proposée contient des concepts de toutes les enluminures choisies.

Après lecture et analyse des descriptions des enluminures sélectionnées, les entités contenues dans chacune ont été listées dans un dictionnaire de données qui a constitué notre vocabulaire brut. Ce travail primaire a été réalisé par des spécialistes des enluminures.

Dans ce vocabulaire, pour déterminer quel élément sera un concept, un individu ou une relation, et quels seront les axiomes à formuler, nous avons fixé quelques questions de compétence auxquelles l'ontologie finale devrait répondre. Ces questions sont présentées dans le tableau **Error! Reference source not found.**. Nous rappelons qu'il faut également que l'ontologie contienne des connaissances qui représentent suffisamment les attentes décrites dans la section 4.1.

Quelles sont les caractéristiques du duc ?	Qui sont les chevaliers ?
Qui sont les seigneurs ?	Pourquoi le duc a-t-il choisi de les représenter à ses côtés ?
Quelles relations le duc entretenait-il avec les seigneurs ?	Dans quelles institutions travaillaient les seigneurs ?
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 d'un événement ?	Quels objets représentent quel groupe ?
Quelles sont les caractéristiques d'un félon ?	Qui sont les personnes qui ont occupé 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 enluminure ?
Quelles enluminures sont réalisées par quel enlumineur ou atelier ?	Qui sont les membres d'un groupe spécifié ?

Tableau 1 - Questions de compétence auxquelles mediev'Enl doit répondre

4.3. Spécifications de mediev'Enl

Les connaissances contenues dans mediev'Enl sont décrites par des classes et des instances organisées avec des relations générales et sémantiques. Certains de ces termes et l'ontologie elle-même sont décrits avec des métadonnées comme le nom de l'auteur, ceux des contributeurs, les étiquettes des termes, les commentaires, etc. Chaque terme est choisi de manière à apporter une réponse à au moins une des attentes (ou besoins) énoncées ci-dessus. La satisfaction conceptuelle (la présence de connaissances dans notre ontologie) de certains de ces besoins nécessite l'utilisation d'autres ontologies existantes et validées.

4.3.1. Ontologies externes utilisées

Les ontologies externes utilisées dans mediev'Enl sont listées dans le tableau **Error! Reference source not found.**. Pour les réutiliser, nous travaillons avec certains de leurs termes (classes et propriétés).

Préfixe	Description	Espace de nom
FOAF	Est l'ontologie de référence pour la description des relations sociales entre personnes.	http://xmlns.com/foaf/0.1
EVENT	Décrit l'événement défini comme l'ensemble des activités ou phénomènes qui se produisent en un lieu donné, à une période donnée, et qui sont réalisés par des acteurs connus.	http://purl.org/NET/c4dm/event.owl#
TIME	Décrit le temps et son organisation en composants comme des intervalles, des durées, etc. Nous l'utilisons via l'ontologie EVENT.	http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#
GEO	Décrit la position géographique d'un élément. Il est également utilisé via l'ontologie EVENT.	http://www.w3.org/2006/heure#
DUL	Décrit le temps et son organisation en composants comme des intervalles, des durées, etc. Nous l'utilisons via l'ontologie EVENT.	http://www.ontologydesignpatterns.org/ont/dul/DUL.owl#

Tableau 2 - Ontologies externes utilisées dans mediev'Enl

4.3.2. Termes propres de mediev'Enl

Les termes extraits des ontologies externes ne permettent pas de décrire efficacement toutes les entités représentées dans les enluminures médiévales. De ce fait, il faut ajouter d'autres termes propres aux enluminures et aux attentes exprimées. Ces termes sont exprimés en anglais, car l'ontologie a été développé dans ce langage pour plus de visibilité.

La figure **Error! Reference source not found.** illustre une vue de mediev'Enl avec quelques relations telles que *(Human,Function):hasFunction*, pour affirmer qu'un humain a une fonction (emploi) ; *(TangibleObject,Color):hasColor*, pour indiquer qu'un objet a une couleur ; *(LivingThing,Posture):beingInPosture*, pour indiquer qu'un être vivant est dans une posture ; *(Human, TangibleObject):hold*, pour dire qu'un humain tient un objet, etc. Pour des raisons de bonne visibilité, nous avons sciemment omis dans la vue beaucoup concepts de l'ontologie, de même que des relations entre des concepts, telles que : *Animal* est une sous classe (*rdfs :subClass*) de *LivingThing*, un évènement (*Event*) a lieu sur (*takePlaceIn*) une *Place*, etc.

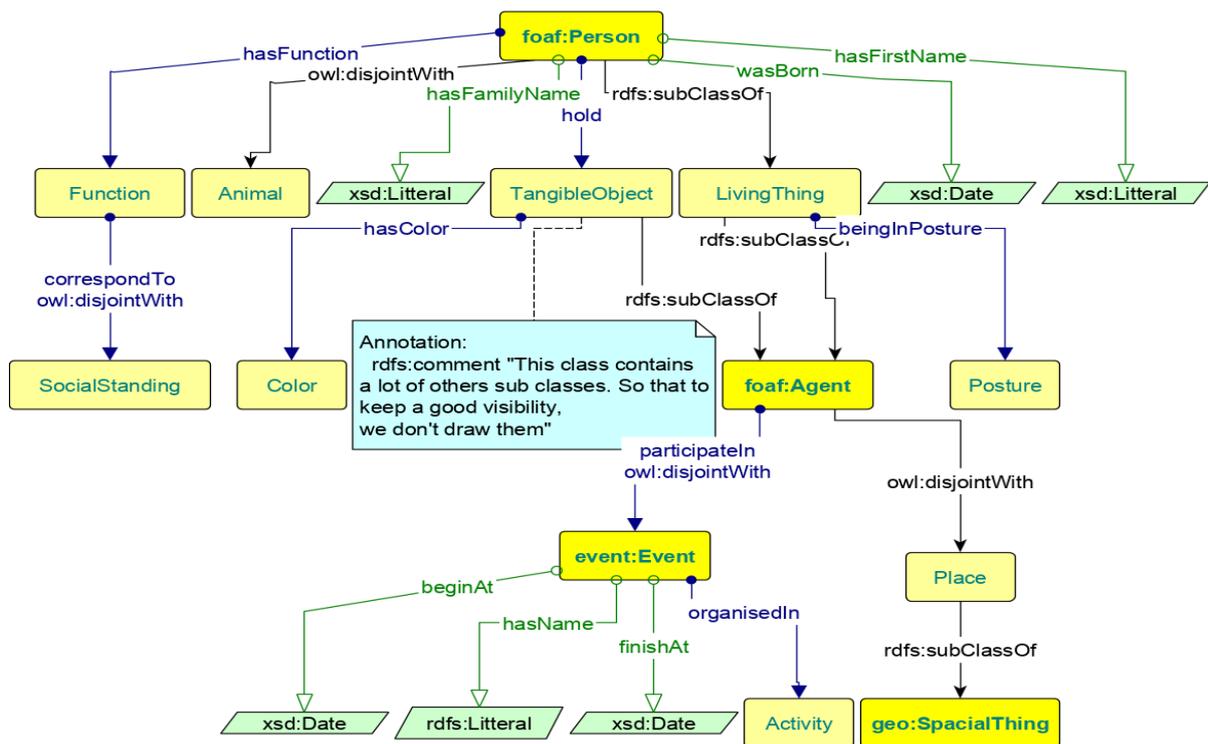


Figure 3 - Une vue de mediev'Enl avec ses super classes

Les rectangles jaunes indiquent les classes et pour une bonne visibilité de la figure, nous ne les avons pas toutes inclus. Les classes et les types de données sont organisés et reliés par des relations générales et sémantiques qui sont indiquées par différentes flèches. Le rectangle bleuâtre est un commentaire (annotation) expliquant le caractère très partiel de cette vue. Les losanges verts sont des types de données.

La figure **Error! Reference source not found.** présente une vue de l'ontologie dans l'outil WebVOWL. Elle offre une vue élargie sur les termes de l'ontologie.

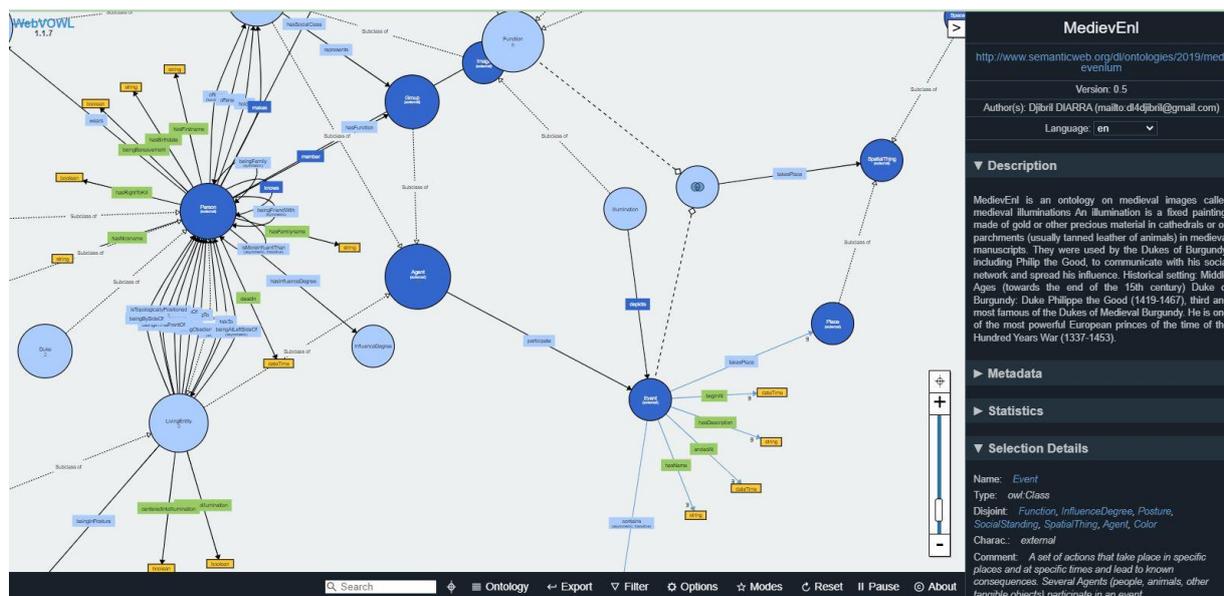


Figure 4 - Une vue de mediev'Enl dans WebVOWL

WebVOWL offre à droite dans la fenêtre le descriptif des métadonnées de l'ontologie, ses concepts, représentés par des cercles bleus, les relations entre les concepts en flèche annotée et ses individus en rectangle jaune. Pour une visibilité plus nette, l'outil permet de zoomer sur le modèle.

Les concepts et relations décrits peuvent guider des utilisateurs dans l'annotation, basée sur l'ontologie *mediev'Enl*, d'enluminures dans un système informatisé. Ils peuvent ainsi choisir une relation pour relier deux concepts sélectionnés dans le modèle ou créés. De même, ils peuvent créer une nouvelle relation afin d'être plus expressifs dans l'annotation. Ils étendent ainsi l'ontologie *mediev'Enl*.

Ce caractère d'extensibilité est très important car il confère à notre ontologie la possibilité d'intégrer des nouvelles connaissances résultant de l'annotation d'autres enluminures répondant aux critères définis (voir la section 4.2).

Une bonne organisation de l'ensemble des connaissances décrites dans *mediev'Enl* est une condition *sine qua non* pour satisfaire les questions de compétence exprimées et la formalisation d'autres contraintes logiques au sein de l'ontologie la renforce. Ces contraintes, appelées règles d'inférence, permettent de combiner plusieurs termes afin d'en décrire de nouveaux. Le processus consistant à exploiter ces règles d'inférence est appelé le raisonnement dans l'ontologie. Les règles d'inférence de l'ontologie *mediev'Enl* sont présentées dans le tableau **Error! Reference source not found.**

4.4. Raisonnement dans l'ontologie *mediev'Enl*

L'expressivité¹¹ d'une ontologie décidable doit être limitée à celle de OWL-DL (ontology web language descriptions Logics, pour le langage de description logique des ontologies du web) (Baader 2011; Baader et al. 2017). Il exprime la relation de subsomption entre les termes et permet l'inférence hiérarchique. Par exemple, si toute personne est un être humain et si le duc Philippe est une personne alors le duc est un être humain.

Bien que l'expressivité offerte par OWL-DL soit acceptable, il ne peut pas exprimer la combinaison de plusieurs termes pour décrire d'autres. Par exemple, quelles sont les caractéristiques du "traître" (felon) dans l'enluminure ?

Pour traiter cette limitation, nous utilisons le langage de construction de règles d'inférence SWRL. Il est basé sur la logique des prédicats et les règles qu'il permet de créer sont similaires aux clauses de Horn¹² (Horrocks et al. 2007; Allemang et Hendler 2011). Certaines règles d'inférence formulées dans *mediev'Enl* sont présentées dans le tableau **Error! Reference source not found.**

#Quelles sont les caractéristiques du duc dans l'enluminure ?

1. $Person(?x) \wedge PostureOfAuthority(?p) \wedge beingInPostureCentral(?x,?p) \rightarrow Duc(?x)$

2. $Person(?x) \wedge TangibleObject(COMMAND_STICK) \wedge détient(?x,COMMAND_STICK) \rightarrow Duc(?x)$

#Qui obéit au duc de l'enluminure ?

3. $Person(?x) \wedge Person(?y) \wedge differentFrom(?x,?y) \wedge PostureOfRespect(?p) \wedge êtreEnPosture(?x,?p) \wedge êtreParCôtéDe(?x,?y) \rightarrow êtreObéissantÀ(?x,?y)$

4. *Person(?x) ^ Person(?y) ^ differentFrom(?x,?y) ^ PostureOfRespect(?p) ^ êtreEnPosture(?x,?p) ^ êtreEnderrière(?x,?y) -> êtreObéissantÀ(?x,?y)*

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

#Quelles sont les caractéristiques de felon ?

6. *Person(?x) ^ ChestClothes(?y) ^ Color(GREEN) ^ hasColor(?y, GREEN) ^ porte(?x, ?y) -> Felon(?x)*

#Quelles sont les caractéristiques des chevaliers ?

7. *Person(?x) ^ Arme(?w) ^ détient(?x, ?w) -> Chevalier(?x)*

#Qui sont les seigneurs de l'enluminure ?

8. *Person(?x) ^ Lordship(?ss1) ^ hasSocialClass(?x,?ss1) -> Lord(?x)*

#Quelle est la hiérarchie 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).*

Tableau 3 - Code SWRL de quelques règles d'inférence dans mediev'Enl

Les lignes commençant par # sont des commentaires. Un commentaire indique une question à laquelle les règles énoncées avant le suivant doivent répondre. Le symbole (^) indique l'opérateur logique (et) et les expressions (?x, ?y, etc.) sont des variables. La réponse à la question posée ci-dessus à propos du félon est donnée par la règle 6 du tableau **Error! Reference source not found.**

Une dernière étape dans la construction d'une ontologie est son évaluation (Gruber 1993; Gruber 1995). Elle consiste à vérifier si le modèle final respecte les normes syntaxiques et sémantiques du langage de modélisation utilisé, et s'il répond aux attentes des utilisateurs.

V. Évaluation de l'ontologie mediev'Enl

La formalisation de notre ontologie est faite à l'aide des logiques de description. Son expressivité est renforcée par la puissance des règles d'inférence de SWRL.

Les outils de modélisation utilisés et notre compréhension des constructeurs des logiques de description nous ont permis de respecter ses normes syntaxiques et sémantiques. L'éditeur d'ontologie utilisé, Protégé 2000, permet ces vérifications et ses raisonneurs ont montré que nos règles SWRL fonctionnent correctement. Au regard de ces faits, l'ontologie mediev'Enl est consistante.

Au-delà de cette consistance, mediev'Enl apporte des réponses adaptées aux attentes exprimées et aux questions de compétences évoquées ci-dessus.

5.1. Réponses aux questions de compétence et validité de mediev'Enl

L'ontologie mediev'Enl permet l'annotation d'une enluminure au sein d'un système créé à cet effet. Elle contient certaines règles d'inférence de SWRL et peut être interrogée par requêtes SPARQL.

Les règles SWRL sont requises pour la description des nouvelles informations implicites à partir d'autres, plus explicites. Par exemple, une des règles 3, 4 ou 5 du tableau **Error! Reference source not found.** est requise pour déterminer les personnes subordonnées du duc. La deuxième règle indique que si ?y est une personne (*Person(?y)*) qui est dans une posture d'obéissance ?z (*ObediencePosture(?z) ^ beingInPosture(?y, ?z)*) et qui se tient derrière le duc ?x (*Duke(?x) ^ beingBehind(?y, ?x)*), alors la règle implique que ?y est la personne subordonnée du duc. Toutes ces règles aident à faciliter les interprétations des enluminures dans un système informatisé. Notre ontologie contribue ainsi à la numérisation sémantique du patrimoine culturel de la Bourgogne puisque les enluminures médiévales du duc sont des objets importants de celui-ci.

Les indicateurs d'influence qui ressortent de notre analyse des enluminures médiévales du duc sont le pouvoir politique et militaire, et la richesse matérielle dans une société respectant strictement la hiérarchie des rangs sociaux. Ces indicateurs confèreraient certaines qualités à toute influence sociale. La représentation de cette influence dans notre ontologie se fait à travers les classes *SocialStanding*, *Function*, *Posture* et *foaf:Person* et les relations de positions topologiques et d'autres relations de subordination telles que *beingObedientTo*, *isVassalOf* entre certaines de ces classes.

5.2. Discussion

À travers les résultats ci-dessus, mediev'Enl apporte des bonnes réponses aux attentes et aux questions de compétences respectivement mentionnées dans les sections 4.1 et 4.2. Ces réponses sont spécifiques au contexte de notre étude où la communication à travers ces enluminures est unilatérale parce qu'elle bénéficie à une seule personne et montre les seules expressions de celle-ci : le duc de Bourgogne, Philippe le Bon. Les réactions et les expressions des autres personnes, représentées dans les enluminures, ne sont pas claires et exprimées dans ces peintures. Par conséquent, une analyse plus approfondie est nécessaire afin de mieux comprendre la question de l'influence sociale diffusée à travers les enluminures du duc.

Conclusion

L'objectif principal de cet article était de mettre en évidence des interprétations des enluminures médiévales du duc de Bourgogne par le biais d'un graphe sémantique de connaissances. Pour ce faire, nous avons proposé une ontologie formelle de domaine nommée mediev'Enl. Les étapes de sa construction et ses spécifications ont été détaillées. Il était attendu de l'ontologie mediev'Enl qu'elle aide : à décrire les enluminures du duc de Bourgogne, Philippe le Bon, ses relations sociales illustrées dans ces miniatures et à faciliter leurs interprétations et leur numérisation sémantique dans des systèmes informatisés (Diarra, Belkaroui, et al. 2019). Toutes ces attentes ont été expliquées et discutées sur la base du modèle formel proposé.

Pour construire ce modèle formel, nous avons utilisé la syntaxe et la sémantique des logiques de description renforcées par la puissance du langage de définition de règles d'inférence, SWRL, pour plus expressivité.

L'ontologie proposé, mediev'Enl, peut non seulement servir d'artefact pour des systèmes informatisés aidant à gérer ces enluminures, mais elle se veut être un support de communication entre experts médiévistes et autres acteurs, les informaticiens par exemple.

Remerciements

Nous tenons à remercier l'ambassade de France à Bamako et le gouvernement de la République du Mali pour le co-financement de ces travaux. Nous remercions M. Sékou Maïga pour ses efforts de relecture.

Bibliographie

- Aicardi, Irene, Filiberto Chiabrando, Andrea Maria Lingua, Francesca Noardo, Andrea Maria Lingua, et Francesca Noardo. 2018. Recent trends in cultural heritage 3D survey: The photogrammetric computer vision approach. *Journal of Cultural Heritage* 32. Elsevier: 257-266. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.11.006>.
- Alexander, Jonathan JG. 1992. *Medieval Illuminators and Their Methods of Work*. Yale University Press. <https://doi.org/10.2307/2865606>.
- Alexander, Jonathan JG. 1997. Art History, Literary History, and the Study of Medieval Illuminated Manuscripts. *Studies in Iconography* 18. JSTOR: 51-66.
- Allemang, Dean, et Jim Hendler. 2011. Chapter 5 - Querying the Semantic Web—SPARQL. In *Semantic Web for the Working Ontologist (Second Edition)*, Second Edi. Morgan Kaufmann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385965-5.10005-6>.
- Baader, Franz. 2011. What's new in Description Logics. *Informatik-Spektrum* 34. Springer Berlin/Heidelberg: 434-442. <https://doi.org/10.1007/s00287-011-0534-y>.
- Baader, Franz, Ian Horrocks, Carsten Lutz, et Uli Sattler. 2017. A Basic Description Logic. In *An Introduction to Description Logic*, 10-48. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781139025355>.
- Baader, Franz, Ian Horrocks, et Ulrike Sattler. 2005. Description logics as ontology languages for the semantic web. In *Mechanizing mathematical reasoning*, 228-248. Springer.
- Berners-lee, Tim, James Hendler, et Ora Lassila. 2001. The semantic web. *Scientific american* 284. JSTOR: 34-43. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4749-5_3.
- Bibliothèque nationale de France. 2024. Le mécénat princier. *Bnf, les essentiels*.
- Bizer, Christian, Tom Heath, Kingsley Idehen, et Tim Berners-Lee. 2008. Linked data on the web (LDOW2008). *Proceeding of the 17th International Conference on World Wide Web 2008, WWW'08* 369: 1265-1266. <https://doi.org/10.1145/1367497.1367760>.
- Boone, Marc, Wim Blockmans, et Marie-Thérèse Caron. 1998. Le prince et le peuple: images de la société du temps des ducs de Bourgogne 1384-1530, W. Prevenier (réd.), Anvers, 1998. Fonds Mercator. <https://doi.org/276902>.
- Brachman, Ronald J, et Hector J Levesque. 2004. Chapter 3 - Expressing Knowledge. In *Knowledge representation and reasoning*, 31-47. Morgan Kaufmann. <https://doi.org/10.1016/B978-1-55860-932-7.X5083-3>.
- Brickley, Dan; Miller, Libby. 2012. FOAF Vocabulary Specification 0.98. Citeseer.
- Brown, Michelle P. 1994. Section 1. In *Understanding illuminated manuscripts: a guide to technical terms*, British Li, 13-33. London: J. Paul Getty Museum in association with the British Library.
- Clouzot, Martine. 2010. Images des musiciens (1350-1500). Typologies, figurations et pratiques sociales. *Bulletin du Centre d'études médiévales d'Auxerre* 1. Centre d'études médiévales Saint-Germain d'Auxerre: 0-4. <https://doi.org/10.4000/cem.8122>.
- Crofts, Nick, Martin Doerr, Tony Gill, Stephan Stead, et Stiff Matthew. 2011. *Definition of the CIDOC Conceptual Reference Model*.
- Damova, Mariana, et Dana Dannéls. 2011. Reason-able view of linked data for cultural heritage. In

- Third International Conference on Software, Services and Semantic Technologies S3T 2011*, 17-24. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-23163-6_3.
- Davenport, Thomas H. 1997. Ten principles of knowledge management and four case studies. *Knowledge and process Management* 4. Wiley Online Library: 187-208. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1099-1441\(199709\)4:3<187::aid-kpm99>3.0.co;2-a](https://doi.org/10.1002/(sici)1099-1441(199709)4:3<187::aid-kpm99>3.0.co;2-a).
- Diarra, Djibril, Rami Belkaroui, Martine Clouzot, et Christophe Nicolle. 2019. Illumination3.0: A Semantic Annotation Platform Based on Ontology for Medieval Illuminations. In *30es Journees Francophones d'Ingenierie des Connaissances, IC 2019*, éd. Nathalie Hernandez, 231-234. Toulouse, France.
- Diarra, Djibril, Martine Clouzot, et Christophe Nicolle. 2019. Causal reasoning and symbolic relationships in Medieval Illuminations. *Journal of Data Mining and Digital Humanities Special Is. Episciences. org*. <https://doi.org/10.46298/jdmdh.4459>.
- Doerr, Martin. 2004. Ontologies for Cultural Heritage. *Handbook on Ontologies*. Springer: 463-486. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-24750-0>.
- Doerr, Martin, Jane Hunter, et Carl Lagoze. 2003. Towards a core ontology for information integration. *Journal of Digital Information* 4: 169.
- Grize, Jean B. 1971. *Logique des propositions et des prédicats, tables de vérité et axiomatisation*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG. <https://doi.org/10.1515/9783110887891>.
- Gruber, Thomas R. 1993. A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition* 5. Elsevier: 199-220. <https://doi.org/10.1006/knac.1993.1008>.
- Gruber, Thomas R. 1995. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. *International Journal of Human - Computer Studies* 43: 907-928. <https://doi.org/10.1006/ijhc.1995.1081>.
- Guarino, Nicola, Daniel Oberle, et Steffen Staab. 2009. What is an ontology? *Handbook on ontologies* 1: 1-17. https://doi.org/10.1007/978-3-540-92673-3_0.
- De Hamel, Christopher. 1994. *A history of illuminated manuscripts*. Phaidon Pr. Londres: Phaidon Press London. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/3051182>.
- Hassan, J A, O A Odéjóbí, B A Ògúnfolákàn, et A Adéjùwón. 2013. Ontology Engineering in Yorùbá Cultural Heritage Domain. *African Journal of Computing & ICT* 6: 181-198.
- Horrocks, Ian, Peter F Patel-Schneider, Harold Boley, Said Tabet, Benjamin Grosf, et Mike Dean. 2007. SWRL: A semantic web rule language combining oWL and ruleML. *W3C Member submission* 21: 1-20.
- Hyvönen, Eero. 2009. Semantic portals for cultural heritage. In *Handbook on ontologies*, 757-778. Springer. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-540-92673-3_34.
- Hyvönen, Eero. 2012. Publishing and using cultural heritage linked data on the semantic web. *Synthesis Lectures on the Semantic Web: Theory and Technology* 2. Morgan & Claypool Publishers: 1-159. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-79438-4>.
- Kakali, Constantia, Irene Lourdi, Thomais Stasinopoulou, Lina Bountouri, Christos Papatheodorou, Martin Doerr, et Manolis Gergatsoulis. 2007. Integrating Dublin Core metadata for cultural heritage collections using ontologies. In *Proceedings of the International Conference on Dublin Core and Metadata Applications*, 128-139.
- Machidon, Octavian M., Mihai Duguleana, et Marcello Carrozzino. 2018. Virtual humans in cultural heritage ICT applications: A review. *Journal of Cultural Heritage* 33. The Authors: 249-260. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.01.007>.
- Mugnier, Marie-Laure, et Michel Chein. 1996. Représenter des connaissances et raisonner avec des graphes. *Revue d'intelligence artificielle* 10: 7-56.
- Muller, Pierre-Alain, et Nathalie Gaertner. 2000. La notation d'UML. In *Modélisation objet avec UML*, 3^e éd., 83-150. Eyrolles Paris.
- Noy, Natalya F, Monica Crubézy, Ray W Ferguson, Holger Knublauch, Samson W Tu, Jennifer Vendetti, et Mark A Musen. 2003. Protégé-2000 : An Open-Source Ontology-Development and

- Knowledge Acquisition Environment. In *AMIA... annual symposium proceedings.*, 953-953.
- Noy, Natalya F, et Deborah L McGuinness. 2001. *Ontology development 101: A guide to creating your first ontology*. Stanford University.
- Pächt, Otto. 2000. *L'enluminure médiévale: une introduction*. Macula. Macula.
- Prax, Jean-Yves. 2012a. Chapitre 4. Les dimensions humaines du KM. In *Le manuel du knowledge management: mettre en réseau les hommes et les savoirs pour créer de la valeur*, 97-119. Dunod. <https://doi.org/10.3917/dunod.praxj.2019.01>.
- Prax, Jean-Yves. 2012b. Chapitre 9. Knowledge Management et développement des compétences. In *Le manuel du knowledge management: mettre en réseau les hommes et les savoirs pour créer de la valeur*, 275-286. Dunod. <https://doi.org/10.3917/dunod.praxj.2019.01>.

Notes

¹ Philippe le Bon (1419-1467) est le plus célèbre des ducs de Bourgogne et l'un des plus puissants princes européens à l'époque de la guerre des cent ans (1337-1453).

² OWL-DL : est une variante de OWL (le langage standard pour la modélisation des ontologies) avec certaines restrictions (par exemple : une classe ne peut pas avoir elle-même comme sous-classe ; une propriété ne peut pas avoir une ontologie entière comme image ou domaine) et recommandé par le 3WC (World Wide Web Consortium, pour le consortium mondial du web) pour conserver la décidabilité de l'ontologie. Il est hautement expressif pour une complexité bornée. Le DL dans OWL fait référence aux logiques de description, ce fragment décidable de la logique des prédicats.

³ SPARQL : est le langage utilisé pour interroger une base de données RDF (Resources Definition Framework, pour langage de définition de ressources). Il est similaire au langage SQL (Structured Query Language, pour langage d'interrogation structurée) utilisé pour interroger les bases de données relationnelles.

⁴ Protégé 2000 : <https://protege.stanford.edu/>, est un outil open source qui aide les utilisateurs à construire de larges bases de connaissances électroniques. Il dispose d'une interface utilisateur intuitive qui permet développeurs pour créer et modifier des ontologies de domaine. Pour plus de détails, voir (Noy et al. 2003)

⁵ Le terme « collections du patrimoine culturel » désigne, dans ce document, les matériels, les documents et autres informations gérées par les musées, archives et autres institutions similaires, comme définit par ICOM, le consul international des musées. Parfois dans le texte, ce terme est interchangé par d'autres comme : collections historiques, informations ou données ou entités du patrimoine culturel.

⁶ CIDOC-CRM : <http://www.cidoc-crm.org/get-last-official-release>

⁷ Ontologie de domaine : Est l'une des catégories d'ontologie de la classification par la portée. La portée d'une ontologie définit la délimitation du domaine d'intérêt qu'elle couvre. Les autres catégories de cette classification sont : ontologie de haut niveau, ontologie de tâches, et ontologie de tâches. Pour plus de détail, voir (Noy et McGuinness 2001; Guarino et al. 2009)

⁸ FOAF (Friend of a friend, traduit par amis des amis) est une célèbre ontologie créée pour la description des réseaux sociaux numériques. Pour plus de détaillée, voir (Brickley et Miller 2007)

⁹ ArCo : <http://wit.istc.cnr.it/arco/index.php?lang=en>

¹⁰ WebVOWL est un outil de visualisation d'ontologie. <https://service.tib.eu/webvowl/>.

¹¹ L'expressivité d'un modèle, particulièrement d'une ontologie, désigne la disponibilité à suffisance d'alphabet, de caractères et de constructeurs pour s'exprimer dans le langage utilisé pour faire ledit modèle.

¹² En logique, en particulier la logique propositionnelle, une clause de Horn est une formule permettant de faire des déductions à partir des connaissances décrites.