



**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. 2025. hal-04663225v3

**HAL Id: hal-04663225**

**<https://hal.science/hal-04663225v3>**

Preprint submitted on 20 Jan 2025

**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<sup>\*1</sup>, Martine CLOUZOT<sup>2</sup>, Christophe NICOLLE<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institut universitaire de développement territorial (IUDT) / USSGB, BP : E2918, Bamako, Mali

<sup>2</sup>Laboratoire ArTeHis - UMR 6298, Université Bourgogne, uB, 21000 Dijon, France

<sup>3</sup>Laboratoire CIAD - UMR 7533, Université de Bourgogne, uB, 21000 Dijon, France

\*E-mail : [dl4djibril@gmail.com](mailto:dl4djibril@gmail.com)

DOI : [10.46298/arima.14035](https://doi.org/10.46298/arima.14035)

Soumis le 07 Août 2024 - Publié le 14 Janvier 2025

Volume : 43 - Année : 2025

Éditeurs : Mathieu Roche, Clémentin Tayou Djamegni, Nabil Gmati

---

## 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.

*[English] : 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 consid-*

*red 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

*[English] : Ontology ; knowledge representation ; semantic modelling ; digitalisation ; cultural heritage ; medieval illumination*

---

## **I 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'information et de communication, 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 **II** introduit une présentation des enluminures du duc. La section **III** expose la représentation des connaissances, les modèles logiques et les techniques et technologies utilisées. La section **IV** 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 **V** détaille le processus de développement de l'ontologie proposée, ses liens avec d'autres ontologies valides et les résultats obtenus. La section **VI** commente et discute de ces résultats. Enfin, nous concluons l'article.

## II 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.

### 2.1 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 [5, 12]. 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 [4, 5]. 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 [5, 8, 12].

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 [41]. Ces derniers étaient réalisés, soit sur leur commande ou soit à leur honneur sous forme de cadeau par exemple [5, 8].

Cet article s'intéresse à des miniatures réalisées dans les manuscrits médiévaux commandées par le duc de Bourgogne, Philippe le Bon<sup>1</sup>, 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 1 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.

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 [2, 25]. 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 1. 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. 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).



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

## 2.2 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 [10, 25]. 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 [39].

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.

## III 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 [9, 32, 33]. 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 [33, 40].

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.

### 3.1 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 [17]. 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 [7], les frames [11], mais ceux-ci ont le défaut d'être semi-formels ou non formels.

En effet, une ontologie est un modèle logique, c'est-à-dire pouvant être décrit par des concepts de la logique des prédicats (LP) [1]. À ce titre, avec les logiques de description (DL) [20], 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 OWL-DL<sup>2</sup> (ontology web language descriptions Logics, pour le langage de description logique des ontologies du web).

Une fois correctement construite, l'ontologie peut être exploitée par le langage d'interrogation SPARQL<sup>3</sup> avec des requêtes permettant d'extraire des connaissances (concepts particuliers,

---

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.

relations explicites ou implicites, etc.).

### 3.2 Construction d'une ontologie formelle

Une ontologie est un modèle de description des connaissances dans un domaine d'intérêt [23]. 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 [23] de sorte à représenter fidèlement un domaine d'intérêt.

Nous proposons dans cet 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 2000<sup>4</sup>. 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 2 montre une visualisation de notre ontologie dans l'éditeur Protégé 2000.

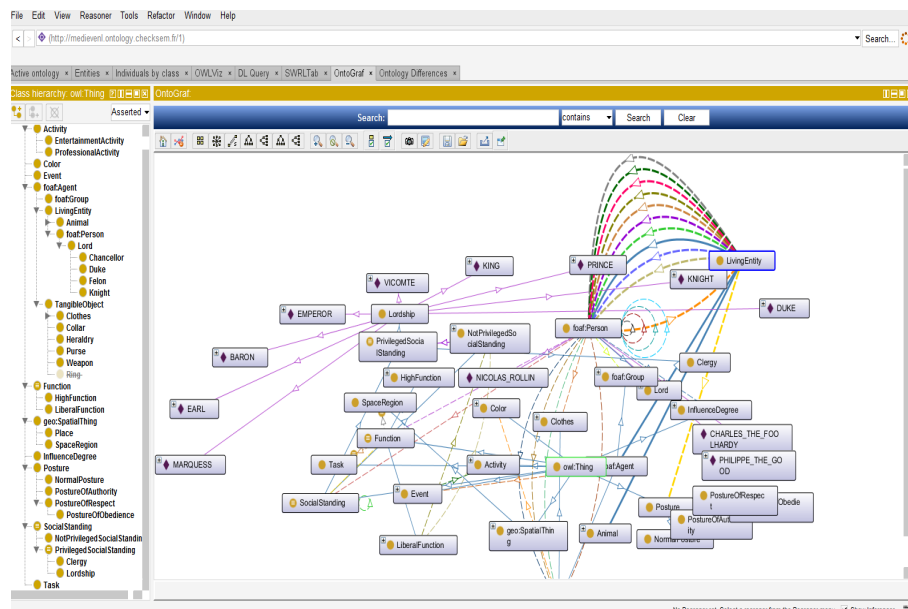


FIGURE 2 – Une visualisation de notre ontologie dans l'éditeur Protégé 2000

Les spécifications et l'approche de construction de cette ontologie sont détaillées dans la section 5.1, mais avant faisons un bref état des lieux des travaux traitant des thématiques connexes aux nôtres.

## IV TRAVAUX CONNEXES

Les collections<sup>5</sup> 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 photo-

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 [16].

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

graphie simple à la reconstruction et analyse par la vision assistée par ordinateur [36, 37], en passant par la description des contenus [28, 34]. Cette dernière s'appuie sur des vocabulaires contrôlés voire des ontologies qui constituent un élément central du schéma du web sémantique [13] et des données ouvertes et liées (LOD) [22].

Par 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) [18, 28]. Avec quatre-vingt-dix (90) concepts (classes) et plus de cent quarante (140) propriétés (voir le [site web 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 [28]. 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 domaine<sup>6</sup>.

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 ontologie.

Étant centrale dans la description des collections du patrimoine culturel [24], 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. En outre, quasiment toutes les enluminures prises en compte dans ce travail sont relatives aux événements de la cour du duc de Bourgogne, Philippe le Bon, bien qu'elles contiennent des entités allégoriques ou décoratives, d'où l'utilisation 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 FOAF<sup>7</sup> (Friend of a friend, traduit par amis des amis) créée par [31]. 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 [38], 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 [15, 21], ou

---

conseil 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. 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 [14, 23].

7. 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 [31].



pour fournir à leurs données modélisées plus de lisibilité pour l'humain et pour les systèmes informatiques [29].

**ArCo** 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.). [30] donne quelques idées sur comment, quand et pourquoi 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.

## V 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 WebVOWL<sup>8</sup>.

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.

### 5.1 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 [3, 6]. Une attente très fréquente est la mise à disposition d'une base de connaissances uniforme sur le domaine. En effet,

---

8. WebVOWL est un outil de visualisation d'ontologie.

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, deux 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.

## **5.2 Étapes de construction de *mediev'Enl* : choix des enluminures et questions de compétences**

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 1 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 compétences auxquelles l'ontologie finale devrait répondre. Ces questions sont présentées dans le tableau 1. Nous rappelons qu'il faut également que l'ontologie contienne des connaissances qui représentent suffisamment les attentes décrites dans la section 5.1.

## **5.3 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.

<p>Quelles sont les caractéristiques du duc ? Qui sont les seigneurs ?</p> <p>Quelles relations le duc entretenait-il avec les seigneurs ? Qui est subordonné au duc ?</p> <p>Qui est fidèle au duc ?</p> <p>Quelles sont les activités d'un événement ? Quelles sont les caractéristiques d'un félon ? Qui sont proches du duc ? Quels sont les ateliers d'enluminures ?</p> <p>Quelles enluminures sont réalisées par quel enlumineur ou atelier ?</p>	<p>Qui sont les chevaliers ? Pourquoi le duc a-t-il choisi de les représenter à ses côtés ?</p> <p>Dans quelles institutions travaillaient les seigneurs ? Quels objets représentent l'influence sociale ? Quels sont les territoires gouvernés par une personne ? Quels objets représentent quel groupe ?</p> <p>Qui sont les personnes qui ont occupé une fonction donnée ? Qui sont les enlumineurs ? Quels sont les animaux représentés dans une enluminure ? Qui sont les membres d'un groupe spécifié ?</p>
--	---

TABLE 1 – Questions de compétences auxquelles mediev'Enl doit répondre.

### 5.3.1 Ontologies externes utilisées

Les ontologies externes utilisées dans mediev'Enl sont listées dans le tableau 2. Pour les réutiliser, nous travaillons avec certains de leurs termes (classes et propriétés).

Préfixe	Description	Espace de nom
<b>FOAF</b>	Est l'ontologie de référence pour la description des relations sociales entre personnes.	<a href="http://xmlns.com/foaf/0.1#">http://xmlns.com/foaf/0.1#</a>
<b>EVENT</b>	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.	<a href="http://purl.org/NET/c4dm/event.owl#">http://purl.org/NET/c4dm/event.owl#</a>
<b>TIME</b>	Décrit le temps et son organisation en composants comme des intervalles, des durées, etc. Nous l'utilisons via l'ontologie EVENT.	<a href="http://www.w3.org/2006/time#">http://www.w3.org/2006/time#</a>
<b>GEO</b>	Décrit la position géographique d'un élément. Il est également utilisé via l'ontologie EVENT.	<a href="http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#">http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#</a>
<b>DUL</b>	Décrit le temps et son organisation en composants comme des intervalles, des durées, etc. Nous l'utilisons via l'ontologie EVENT.	<a href="http://www.ontologydesignpatterns.org/ont/dul/DUL.owl#">http://www.ontologydesignpatterns.org/ont/dul/DUL.owl#</a>

TABLE 2 – Ontologies externes utilisées dans mediev'Enl.

### 5.3.2 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 développée dans cette langue pour plus de visibilité.

La figure 3 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 exprimer 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 de 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.

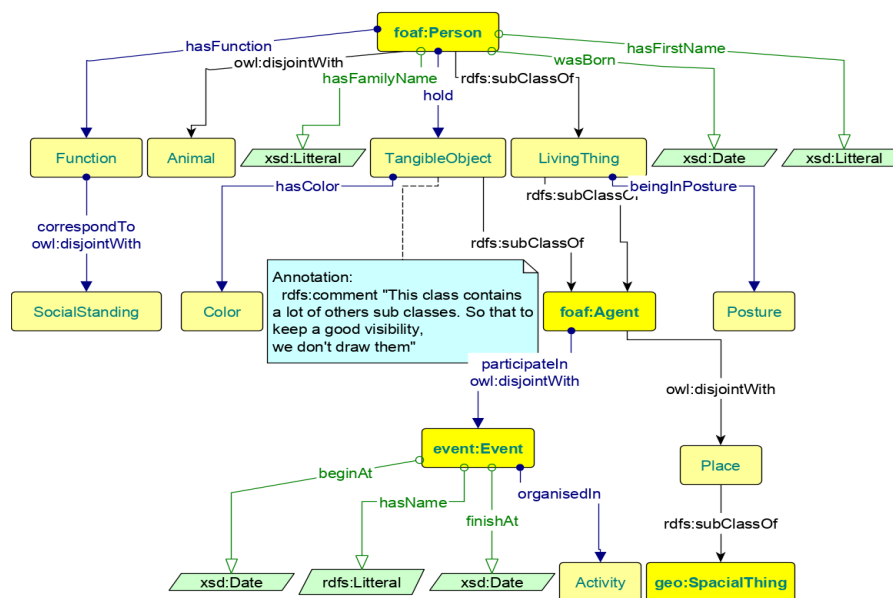


FIGURE 3 – Une vue de mediev'Enl avec ses super classes.

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 4 présente une vue de l'ontologie dans l'outil WebVOWL. Elle offre une vue élargie sur les termes de l'ontologie.

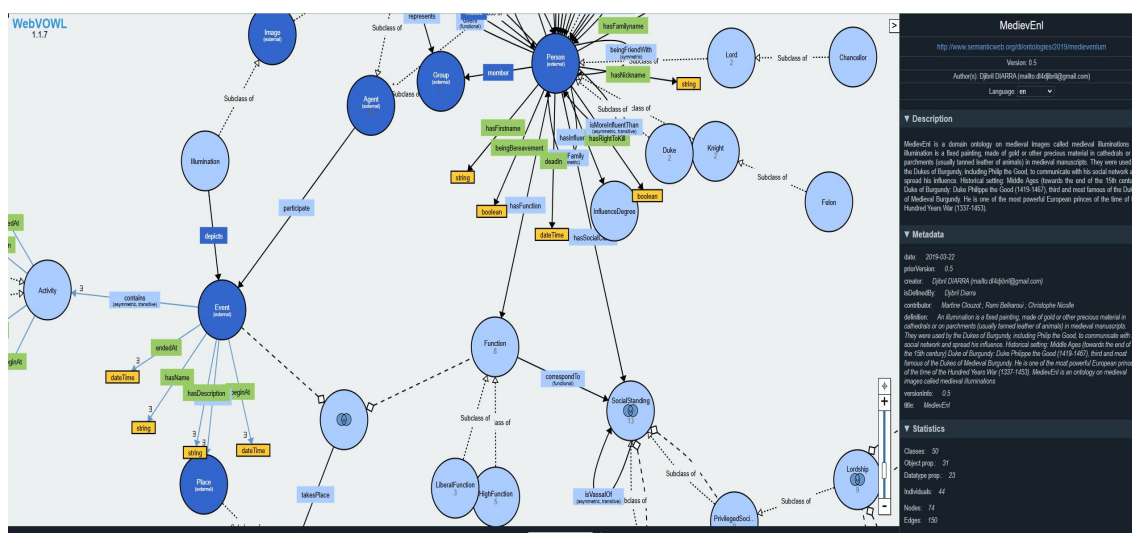


FIGURE 4 – Une vue de mediev'Enl dans WebVOWL.

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 ou créés dans le modèle. 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 5.2).

Une bonne organisation de l'ensemble des connaissances décrites dans mediev'Enl est une condition sine qua none pour satisfaire les questions de compétences 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 3.

#### 5.4 Raisonnement dans l'ontologie mediev'Enl

L'expressivité<sup>9</sup> 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) [27, 35]. 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.

9. 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.

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 Horn<sup>10</sup> [19, 26]. Certaines règles d'inférence formulées dans *mediev'Enl* sont présentées dans le tableau 3.

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 x, y, etc. La réponse à la question posée ci-dessus à propos du félon est donnée par la règle 6 du tableau 3.

Une dernière étape dans la construction d'une ontologie est son évaluation [3, 6]. 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.

## VI 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.

### 6.1 Réponses aux questions de compétences 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 3 est requise pour déterminer les personnes subordonnées du duc.

La règle 2 indique que si la variable y (?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 cette personne (?y) est un subordonné 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.

---

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

---

```

#Quelles sont les caractéristiques du duc dans l'enluminure ?
1. Person(?x) ^ PostureOfAuthority(?p) ^
beingInPostureCentral(?x, ?p) -> Duc(?x)

2. Person(?x) ^ TangibleObject(COMMAND_STICK) ^
détient(?x, COMMAND_STICK) -> Duc(?x)

#Qui obéit au duc de l'enluminure ?
3. Person(?x) ^ Person(?y) ^ differentFrom(?x, ?y) ^
PostureOfRespect(?p) ^ êtreEnPosture(?x, ?p) ^
êtreParCôtéDe(?x, ?y) -> 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) .

```

---

TABLE 3 – Code SWRL de quelques règles d'inférence dans mediev'Enl.

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.

## 6.2 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 5.1 et 5.2. 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 clairement 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.

L'ontologie proposée est facilement extensible, et donc adaptable pour décrire d'autres domaines plus ou moins connexes à celui des enluminures médiévales du duc de Bourgogne. Toutefois, il serait intéressant de faire une étude sur l'adaptabilité du modèle pour décrire une autre collection de tableaux équivalente dans un contexte culturel proche ou plus éloigné géographiquement ou temporellement.

## VII 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 [38]. 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 d'expressivité.

L'ontologie proposée, 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.

## RÉFÉRENCES

- [1] J. B. GRIZE. *Logique des propositions et des prédicats, tables de vérité et axiomatisation*. Walter de Gruyter GmbH Co KG, 1971, page 79. ISBN : 978-9027968739.
- [2] J. J. ALEXANDER. *Medieval Illuminators and Their Methods of Work*. Yale University Press, 1992, page 214.
- [3] T. R. GRUBER. « A translation approach to portable ontology specifications ». In : *Knowledge Acquisition* 5 (2 1993), pages 199-220. ISSN : 10428143.
- [4] M. P. BROWN. « Section 1 ». In : *British Li. J. Paul Getty Museum in association with the British Library*, 1994, pages 13-33. ISBN : 78-0-89236-217-2.
- [5] C. D. HAMEL. *A history of illuminated manuscripts*. Phaidon Pr. Phaidon Press London, 1994, page 280. ISBN : 978-0-7148-9037-1.



- [6] T. R. GRUBER. « **Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing** ». In : *International Journal of Human - Computer Studies* 43 (5-6 1995), pages 907-928. ISSN : 10959300.
- [7] M.-L. MUGNIER et M. CHEIN. « Représenter des connaissances et raisonner avec des graphes ». In : *Revue d'intelligence artificielle* 10 (1 1996), pages 7-56.
- [8] J. J. ALEXANDER. « **Art History, Literary History, and the Study of Medieval Illuminated Manuscripts** ». In : *Studies in Iconography* 18 (1997), pages 51-66.
- [9] T. H. DAVENPORT. « **Ten principles of knowledge management and four case studies** ». In : *Knowledge and process Management* 4 (3 déc. 1997), pages 187-208. ISSN : 1092-4604.
- [10] M. BOONE, W. BLOCKMANS et M.-T. CARON. *Le prince et le peuple: images de la société du temps des ducs de Bourgogne 1384-1530, W. Prevenier (réd.), Anvers, 1998.* 1998.
- [11] P.-A. MULLER et N. GAERTNER. « La notation d'UML ». In : 3<sup>e</sup> édition. Eyrolles Paris, 2000, pages 83-150. ISBN : 2-212-09122-2.
- [12] O. PÄCHT. *L'enluminure médiévale : une introduction.* Macula. Macula, 2000, page 222. ISBN : 978-2-86589-054-5.
- [13] T. BERNERS-LEE, J. HENDLER et O. LASSILA. « **The semantic web** ». In : *Scientific american* 284 (5 2001), pages 34-43.
- [14] N. F. NOY et D. L. MCGUINNESS. *Ontology development 101 : A guide to creating your first ontology.* 2001.
- [15] M. DOERR, J. HUNTER et C. LAGOZE. « **Towards a core ontology for information integration** ». In : *Journal of Digital Information* 4 (1 2003), page 169. ISSN : 13687506.
- [16] N. F. NOY, M. CRUBÉZY, R. W. FERGERSON, H. KNUBLAUCH, S. W. TU, J. VENDETTI et M. A. MUSEN. « Protégé-2000 : An Open-Source Ontology-Development and Knowledge Acquisition Environment ». In : *AMIA... annual symposium proceedings.* 2003, pages 953-953.
- [17] R. J. BRACHMAN et H. J. LEVESQUE. « **Chapter 3 - Expressing Knowledge** ». In : Morgan Kaufmann, 2004, pages 31-47. ISBN : 978-1-55860-932-7.
- [18] M. DOERR. « **Ontologies for Cultural Heritage** ». In : *Handbook on Ontologies* (2004), pages 463-486.
- [19] I. HORROCKS, P. F. PATEL-SCHNEIDER, H. BOLEY, S. TABEL, B. GROSOFF et M. DEAN. « **SWRL : A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML** ». In : *W3C Member submission 21 21* (May 2004 2004), pages 1-20.
- [20] F. BAADER, I. HORROCKS et U. SATTLER. « Description logics as ontology languages for the semantic web ». In : Springer, 2005, pages 228-248.
- [21] C. KAKALI, I. LOURDI, T. STASINOPOULOU, L. BOUNTOURI, C. PAPTAEODOROU, M. DOERR et M. GERGATSOULIS. « **Integrating Dublin Core metadata for cultural heritage collections using ontologies** ». In : *International Conference on Dublin Core and Metadata Applications.* 2007, pages 128-139. ISBN : 9789810587963.
- [22] C. BIZER, T. HEATH, K. IDEHEN et T. BERNERS-LEE. « **Linked data on the web (LDOW2008)** ». In : *Proceeding of the 17th International Conference on World Wide Web 2008, WWW'08* 369 (2008), pages 1265-1266. ISSN : 16130073.
- [23] N. GUARINO, D. OBERLE et S. STAAB. « **What is an ontology?** » In : *Handbook on ontologies* 1 (2 2009), pages 1-17.
- [24] E. HYVÖNEN. « **Semantic portals for cultural heritage** ». In : Springer, 2009, pages 757-778. ISBN : 978-3-540-92673-3.

- [25] M. CLOUZOT. « Images des musiciens (1350-1500). Typologies, figurations et pratiques sociales ». In : *Bulletin du Centre d'études médiévales d'Auxerre* 1 (12 2010), pages 0-4. ISSN : 1623-5770.
- [26] D. ALLEMANG et J. HENDLER. « Chapter 5 - Querying the Semantic Web—SPARQL ». In : Second Edi. Morgan Kaufmann, 2011. ISBN : 978-0-12-385965-5.
- [27] F. BAADER. « What's new in Description Logics ». In : *Informatik-Spektrum* 34 (5 oct. 2011), pages 434-442. ISSN : 1432-122X.
- [28] N. CROFTS, M. DOERR, T. GILL, S. STEAD et S. MATTHEW. *Definition of the CIDOC Conceptual Reference Model*. 2011.
- [29] M. DAMOVA et D. DANNÉLLS. « Reason-able view of linked data for cultural heritage ». In : *Third International Conference on Software, Services and Semantic Technologies S3T 2011*. Springer Berlin Heidelberg, 2011, pages 17-24.
- [30] E. HYVÖNEN. « Publishing and using cultural heritage linked data on the semantic web ». In : *Synthesis Lectures on the Semantic Web : Theory and Technology* 2 (1 2012), pages 1-159.
- [31] D. M. LIBBY BRICKLEY. *FOAF Vocabulary Specification 0.98*. 2012.
- [32] J.-Y. PRAX. « Chapitre 4. Les dimensions humaines du KM ». In : Dunod, 2012, pages 97-119. ISBN : 9782100793730.
- [33] J.-Y. PRAX. « Chapitre 9. Knowledge Management et développement des compétences ». In : Dunod, 2012, pages 275-286. ISBN : 9782100793730.
- [34] J. A. HASSAN, O. A. ODÉJÓBÍ, B. A. ÒGÚNFOLÁKÀN et A. ADÉJÙWÓN. « Ontology Engineering in Yorùbá Cultural Heritage Domain ». In : *African Journal of Computing ICT* 6 (5 2013), pages 181-198.
- [35] F. BAADER, I. HORROCKS, C. LUTZ et U. SATTTLER. « A Basic Description Logic ». In : Cambridge University Press, 2017, pages 10-48.
- [36] I. AICARDI, F. CHIABRANDO, A. M. LINGUA, F. NOARDO, A. M. LINGUA et F. NOARDO. « Recent trends in cultural heritage 3D survey: The photogrammetric computer vision approach ». In : *Journal of Cultural Heritage* 32 (2018), pages 257-266. ISSN : 12962074.
- [37] O. M. MACHIDON, M. DUGULEANA et M. CARROZZINO. « Virtual humans in cultural heritage ICT applications: A review ». In : *Journal of Cultural Heritage* 33 (2017 2018), pages 249-260. ISSN : 12962074.
- [38] D. DIARRA, R. BELKAROUI, M. CLOUZOT et C. NICOLLE. « Illumination3.0: A Semantic Annotation Platform Based on Ontology for Medieval Illuminations ». In : *30es Journées Francophones d'Ingenierie des Connaissances, IC 2019*. Sous la direction de N. HERNANDEZ. 2019, pages 231-234.
- [39] D. DIARRA, M. CLOUZOT et C. NICOLLE. « Causal reasoning and symbolic relationships in Medieval Illuminations ». In : *Journal of Data Mining and Digital Humanities Special Is* (2019). ISSN : 2416-5999.
- [40] D. DIARRA, M. DIAWARA et S. COULIBALY. « Modélisation des systèmes de culture à base de coton au Mali avec une ontologie formelle de domaine ». Français. In : *Workshop sur la modélisation des systèmes complexes, 2ème édition, 25-27 Avril 2024, Bobo-Dioulasso, Burkina Fasso*. 2. Bobo-Dioulasso, Burkina Fasso : Université Nazy Bony (UNB), avr. 2024.
- [41] B. nationale de FRANCE. *Le mécénat princier*. 2024.

## A REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le service de coopération et des actions sociales (SCAC) de l'ambassade de France à Bamako et le gouvernement de la République du Mali pour le co-financement de ces travaux. Pour ses efforts de

lecture et suggestions de corrections, nous saluons et remercions M. Sékou Maïga.

## B BIOGRAPHIE DES AUTEURS

Institut Universitaire de Développement Territorial (IUDT), Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako (USSGB), BP : E2918, Bamako, Mali.

Ph.D en Informatique et Assistant Professeur à l'Université USSGB, les domaines d'intérêt de recherche de **Djibril DIARRA** sont entre autres : l'IA, la datascience, la représentation des connaissances, la modélisation sémantique.

Email : [dl4djibril@gmail.com](mailto:dl4djibril@gmail.com), Orcid : [0000-0001-5285-5607](https://orcid.org/0000-0001-5285-5607)



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

Professeure titulaire à l'Université de Bourgogne avec **plus de treize (13) livres**, **Martine CLOUZOT** travaille dans les domaines de 1- l'histoire culturelle et sociale de la musique et des musiciens (royaumes de France et d'Angleterre, principautés bourguignonnes - XIIIe-XVe siècles) : jongleurs, ménestrels, fous; 2- l'anthropologie des images et de la musique.

Email : [martine.clouzot@u-bourgogne.fr](mailto:martine.clouzot@u-bourgogne.fr)

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

Professeur titulaire à l'Université de Bourgogne en informatique, et Directeur Exécutif du laboratoire de recherche **CIAD**, les recherches de **Christophe NICOLLE** portent sur l'ingénierie des connaissances et plus particulièrement sur le raisonnement causal, l'IA symbolique et connexionniste.

Email : [christophe.nicolle@u-bourgogne.fr](mailto:christophe.nicolle@u-bourgogne.fr), Orcid : [0000-0002-8118-5005](https://orcid.org/0000-0002-8118-5005)

