جامعة سيدي محمد بن عبد الله بفاس
UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH DE FES
كلية العلوم ظهر المهراز فاس
FACULTE DES SCIENCES DHAR EL MAHRAZ FES

N° d'Ordre : /2022

Formation Doctorale : Sciences et Technologies de l'Information et de Communication (STIC)

Discipline : Informatique

Spécialité : Informatique

Laboratoire d'Informatique, Signaux, Automatique et Cognitivisme

THESE DE DOCTORAT

Présentée par

Abdelmoumni Ouadie

Mise en œuvre d'une plateforme BigData pour l'administration d'une base de connaissances avec fond cartographique représentant l'ensemble du patrimoine culturel constituant « La mémoire d'une ville »

Soutenue le 30 / 11 / 2022 devant le jury composé de :

	Nom et prénom	Etablissement
Président	Pr. Hamid Tairi	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz- Fès
Directeur de thèse	Pr. Noureddine Chenfour	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz- Fès
Rapporteurs	Pr. Ahmed Roukhe	Faculté des Sciences- Meknès
	Pr. Mohammed Lahmer	EST - Meknès
	Pr. Mohamed Benslimane	EST - Fès
Membres	Pr. Mohammed Lamrini	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz- Fès
	Pr. Abdellatif El Abderrahmani	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz- Fès

Année universitaire : 2022-2023

Dédicaces

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail à:

Mes très chers parents pour leur soutien, affection et amour, leur confiance et patience et pour leurs sacrifices infinis, je le dédie aussi à toute ma famille pour laquelle j'exprime mon amour et mon respect le plus dévoué.

Ma sœur et mon frère pour leur encouragement, je leur souhaite une vie pleine de réussite.

Tous mes amis et collègues et particulièrement les plus intimes en témoignage des moments inoubliables, des sentiments purs, et des liens solides qui nous unissent.

Et enfin, tous ceux qui m'ont soutenu et qui me soutiennent encore pour que ce travail soit une déclaration divine de ma profonde estimation et gratitude.

Merci

Remerciements

En tout premier lieu, je remercie le bon DIEU, tout puissant, de m'avoir donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

Je tiens tout d'abord à remercier mon encadrant et professeur, Mr. Noureddine Chenfour sa disponibilité et la confiance qu'il m'a accordé. J'ai profité pendant longtemps du savoir et du savoir-faire dont j'ai pu bénéficier au cours de nombreuses discussions. J'aimerais aussi le remercier pour l'autonomie qu'il m'a accordée, et ses précieux conseils qui m'ont permis de mener à bien ce travail.

Je remercie Mr. El Hassouni Mohammed, directeur du laboratoire d'informatique pour m'avoir accueilli au sein de ces institutions, et pour les conseils stimulants que j'ai eu l'honneur de recevoir de lui.

Je remercie mes dames et messieurs qui ont accepté d'être les rapporteurs de cette thèse, de même que pour leur participation au Jury. Ils ont également contribué par leurs nombreuses remarques et suggestions à améliorer la qualité de ce mémoire, et je leur en suis très reconnaissant.

Messieurs qui m'ont fait l'honneur de participer au Jury de soutenance ; je les en remercie profondément.

Je tiens à remercier également le Centre d'Etudes doctorales de la faculté des sciences Dhar El Mahraz de Fès, pour leurs formations, leurs efforts et leur présence en permanence.

Afin de n'oublier personne, mes vifs remerciements s'adressent à tous ceux qui m'ont aidée à la réalisation de ce travail.

Résumé :

Au cours des dernières années, la transformation digitale a impacté considérablement l'évolution de plusieurs domaines stratégiques de tous les pays du monde. En effet, ce changement vers le digital a bouleversé complètement les méthodes de travail dans certains modèles de développement notamment le modèle économique, financier, touristique, culturel et bien d'autres.

Le Maroc, un des principaux pays émergents africains, qui connait une dynamique économique remarquable, s'est également investi dans la digitalisation de l'ensemble des secteurs clés et domaines stratégiques du pays. L'implication du Royaume a été couronnée par la création du « *Ministère de la Transition Numérique et de la Réforme de l'Administration* », Ministère chargé entre autres de conduire la transition vers le « digitale » dans toutes les disciplines.

Dans notre pays, comme partout ailleurs, la transformation digitale concerne particulièrement un volet important du domaine culturel qui est « la préservation du patrimoine culturel », volet sur lequel nous nous sommes concentrés dans ce travail. En effet, la préservation du patrimoine culturel au fil des temps fût très compliquée. Les guerres, les catastrophes naturelles ou encore la négligence humaine ont participé considérablement à la détérioration du patrimoine culturel mondial.

De ce fait, plusieurs départements, organismes ou encore individus conscients de l'importance de la préservation du patrimoine culturel se sont mobilisés en faveur de ladite préservation. Le challenge se résumait alors aux moyens qui permettraient de répondre à cette fin noble qui n'est autre que la préservation de l'héritage culturel.

De nombreuses études sur ce sujet ont montré que la préservation classique présentait plusieurs contraintes, et qu'elle était très dure et difficilement maintenable, ce qui a poussé à penser « digitalisation du patrimoine culturel », en créant des plateformes permettant le recensement et la consultation de ce patrimoine, qu'il soit matériel ou immatériel. Il a été noté, dans ce sens, l'existence de quelques applications qui offraient, de plus en plus, une visibilité accrue du contenu culturel et qui amélioraient la

contextualisation des informations produites par certains monuments culturels comme les musées ou encore les institutions de recherche dans le domaine, mais ces applications connaissent malheureusement des limitations majeures.

Ainsi, plusieurs modèles de données ont vu le jour (CDOC CRM, CDWA LITE, MUSUEMDAT) visant à permettre de cataloguer et de décrire le patrimoine culturel. Ces modèles visent également à donner une interopérabilité entre les différents systèmes spécialisés, l'accès intégré à l'information et l'intégration de l'information ce qui constitue en soi une demande croissante pour soutenir la recherche, l'administration et la préservation du patrimoine culturel. Néanmoins, chacun de ces modèles présente des limitations importantes, décrites et détaillées dans le deuxième chapitre de ce travail.

Ces limitations font que la gestion de la préservation du patrimoine culturel doit passer par une solution innovante répondant à l'ensemble des contraintes. Notre travail ambitionne donc de créer un modèle de données intelligent qui servira de base conceptuelle pour la création d'une plateforme de digitalisation de la gestion de notre patrimoine culturel. Derrière cette plateforme siège une architecture microservices conçue après identification des technologies adéquates répondantes aux différentes problématiques rencontrées, et offrant ainsi une distribution fonctionnelle et technique qui nous permettra d'aboutir à une gestion de volumétrie et de variété très importante de données.

Mots-clés : patrimoine culturel, modèle de données intelligent, métadonnées, architectures logicielles, big data, nosql, mongodb, traitements distribués.

Abstract:

In recent years, digital transformation has had a significant impact on the evolution of several strategic areas in all countries of the world. Indeed, this shift towards digital has completely changed the working methods in certain development models namely the economic, financial, tourist, cultural and many other models.

Morocco, one of the main emerging African countries and experiencing a remarkable economic dynamic, has also invested in the digitalization of all the key sectors and strategic areas of the country. The Kingdom's involvement was crowned by the creation of the "Ministry of Digital Transition and Administrative Reform", a Ministry responsible of leading the transition to "digital" in all disciplines.

In our country, as everywhere else, digital transformation is particularly an important aspect of the cultural field, which is “the preservation of cultural heritage”, an aspect on which we have focused in this work. The preservation of cultural heritage over time has surely been very complicated. Wars, natural disasters, or even human negligence have contributed considerably to the deterioration of the world's cultural heritage.

Aware of the importance of the preservation of cultural heritage, several departments, organizations or even individuals have been mobilized in favor of the preservation. The challenge then boiled down to the means that would make it possible to meet this noble end, which is no other than the preservation of the current cultural heritage.

Many studies on this subject have shown that traditional preservation has several constraints, very hard and difficult to maintain, which has led to thinking about the "digitalization of the cultural heritage", by creating platforms allowing the inventory and consultation of this tangible or intangible heritage. In this sense, some developed Web applications offered, more and more of an increased visibility of the cultural content, which improved the contextualization of the information produced by certain cultural monuments, such as museums or institutions of research in the field, but these applications had major limitations.

Thus, several data models have emerged (CDOC CRM, CDWA LITE, MUSUEMDAT) to catalog and describe cultural heritage. These models also aim to provide interoperability between the various specialized systems, integrated access to information and the integration of information, which itself is a growing demand to support research, administration and preservation of the cultural heritage. Nevertheless, each of these models has significant limitations, described and detailed in the second chapter of this work.

These limitations mean that the management of the preservation of cultural heritage must go through an innovative solution that meets all the mentioned limitations. Our work, therefore, aims to create an intelligent data model that will serve as a conceptual basis for the creation of a digitalization platform for the management of our cultural heritage. Behind this platform is a microservice architecture designed after identifying the appropriate technologies responding to the various problems encountered, and thus offering a functional and technical distribution that will allow us to achieve a more efficient management of very large volume and variety of data.

Key words : culturel heritage, intelligent data model, metadata, software architectures, big data, nosql, mongodb, distributed treatments.

ملخّص :

خلال السنوات الأخيرة، كان للتحول الرقمي تأثير كبير على تطور العديد من المجالات ذات الطابع الاستراتيجي في شتى أنحاء العالم. في الواقع، أدى هذا التحول نحو الرقمنة إلى تغيير أساليب العمل تمامًا في بعض النماذج التنموية، خاصة النموذج الاقتصادي والمالي والسياحي والثقافي بالإضافة للعديد من النماذج الأخرى.

في هذا الصدد، يعتبر المغرب من بين أهم البلدان الإفريقية الناشئة ذات دينامية اقتصادية ملحوظة، والتي استثمرت في رقمنة جميع القطاعات الرئيسية والمجالات الاستراتيجية. وقد توجت مجهودات المغرب في هذا المجال بإحداث "وزارة الانتقال الرقمي وإصلاح الإدارة"، كوزارة مكلفة بالسهر على رقمنة جل القطاعات بالمملكة.

تجدر الإشارة أنه في بلدنا، وعلى غرار العديد من الدول، يحتل التحول الرقمي حيزا كبيرا من المجال الثقافي، ونخص بالذكر هنا كل ما يتعلق ب "الحفاظ على الموروث الثقافي"، إذ أنه الجانب الذي يتمحور حوله هذا البحث خاصة وأنه لطالما كان الحفاظ على الموروث الثقافي مع مرور الزمن أُمرا معقدًا للغاية.

هذا وقد ساهمت الحروب والكوارث الطبيعية بل وحتى الإهمال البشري بشكل كبير في تدهور وتدمير الموروث الثقافي العالمي. نتيجة لذلك، تجندت العديد من القطاعات والمنظمات والأفراد المدركين لأهمية الموروث الثقافي للحفاظ عليه.

في هذا السياق، أظهرت العديد من الدراسات حول الموضوع أن الطرق التقليدية المستعملة في صون وحماية التراث الثقافي تعترضها العديد من الإكراهات والتي يصعب من خلالها المحافظة عليه. هذا المعطى أدى إلى التفكير في "رقمنة التراث الثقافي"، عبر خلق منصات للاطلاع على التراث المادي واللامادي وكذا جرده. وقد لوحظ في هذا الصدد، وجود بعض التطبيقات الرقمية التي قامت بزيادة إبراز المحتوى الثقافي وكذا حسنت من

طرق استعراض المعلومات التي تنتجها بعض المعالم الثقافية مثل المتاحف أو مؤسسات البحث في هذا المجال، غير أنه وللأسف تواجه هذه التطبيقات عراقيل وقيود كثيرة.

وتجدر الإشارة أن هناك في الوقت الحالي العديد من نماذج البيانات لفهرسة التراث الثقافي ووصفه مثل (CDOC (CRM, CDWA) LITE, MUSUEMDAT ، وتهدف هذه النماذج أيضا إلى توفير إمكانية التشغيل المتبادل بين مختلف النظم المتخصصة، والوصول المتكامل إلى المعلومات، وهو ما يشكل طلبا متزايدا لدعم البحوث وإدارة التراث الثقافي والحفاظ عليه. ومع ذلك، فإن لكل نموذج من هذه النماذج قيودا كبيرة، موصوفة ومفصلة في الفصل الثاني من هذا العمل.

هذه القيود جعلت تدبير حفظ التراث الثقافي يستلزم وجود حلول مبتكرة تستجيب لجميع العراقيل المذكورة أعلاه. لذلك يهدف بحثنا إلى ابتكار نموذج بيانات ذكي سيستخدم كأساس مفاهيمي لإنشاء منصة رقمية لتدبير تراثنا الثقافي مقرونة ببنية خدمات صممت بعد تحديد التقنيات المناسبة التي تستجيب للمشاكل المختلفة التي تمت مواجهتها، وبالتالي تقدم توزيعًا وظيفيًا وتقنيًا يسمح لنا بتدبير حجم وتنوع البيانات الواجب دراستها.

كلمات البحث: التراث الثقافي، نموذج البيانات الذكي، البيانات الوصفية، معماريات البرمجيات، البيانات الضخمة، المعالجة الموزعة، قواعد البيانات غير العلائقية

Table des matières

Dédicaces *1*
Remerciements *2*
Résumé : **3**
Abstract: **5**
Liste des figures **11**
Glossaire **13**
Introduction **15**
Chapitre I : Patrimoine culturel: définition et historique **18**
1.1 Mémoire du monde 18
1.2 Définitions du patrimoine culturel 19
1.3 Types du patrimoine culturel 20
1.3.1 Patrimoine culturel matériel **20**
1.3.2 Patrimoine culturel immatériel **27**
1.4 Protection du patrimoine culturel 34
1.5 Solutions de l'UNESCO 36
1.6 Conclusion 36
Chapitre II : Modèles conceptuels utilisés pour le patrimoine culturel. **38**
2.1 Introduction 38
2.2 Définition et types des métadonnées 39
2.3 Ontologies applicables au patrimoine culturel 41
2.3.1 Dublin Core **41**
2.3.2 CDWA LITE **45**
2.3.3 CIDOC CRM **49**
2.3.4 Fiches d'indexation minimales du conseil de l'Europe **54**
2.3.5 MuseumDat **72**
2.4 Architecture de la plateforme Europeana 73
2.4.1 Présentation de la plateforme **73**
2.4.2 Architecture Technique **74**
2.5 Conclusion 75
Chapitre III: Modèle de données ICHD et choix de stockage **77**
3.1 Etat d'art, objectifs et résultats souhaités 77
3.2 Pourquoi le JSON 80

3.3 Modèle de données ... 81
3.3.1 Documents du modèle de donnée ... **81**
3.3.2 Vue Globale sur le modèle de données ... **90**
3.4 Choix de stockage ... 92
3.4.1 Pourquoi MongoDB ? ... **92**
3.4.2 Organisation de la base de données ... **94**
3.4.3 Le Moteur ICHD ... **95**
3.5 Conclusion ... 104
Chapitre IV: Architecture Logicielle de la plateforme ... **105**
4.1 Architecture microservices vs architecture monolithique ... 105
4.1.1 Architecture monolithique ... **105**
4.1.2 Architecture microservices ... **106**
4.2 Architecture applicative pour le modèle proposé ... 107
4.2.1 L'architecture d'un microservice ... **108**
4.2.2 ICHC query engine ... **110**
4.2.3 ICHC Starter ... **113**
4.2.4 ICHC store manager ... **115**
4.3 Conclusion ... 119
Chapitre V: Surveillance et préservation du Patrimoine Culturel ... **121**
5. 1 L'IOT et la préservation du patrimoine culturel ... 121
5.2 Dégradation du patrimoine culturel matériel et travaux existants ... 121
5.2.1 L'IoT et le patrimoine culturel immobilier ... **122**
5.2.2 L'humidité et la température facteurs clés ... **125**
5.3 L'utilisation de l'IoT dans le monde réel ... 126
5.4 IMCHP Architecture ... 127
5.5 Projection sur un site archéologique ... 132
5.6 Conclusion ... 135
Conclusions finales et perspectives ... **137**
Bibliographie ... **139**

Liste des figures

Figure 1 : Types du patrimoine culturel 20
Figure 2 : Patrimoine culturel mobilier exposé au musée du judaïsme à Casablanca 21
Figure 3 : Université Qarawiyine , patrimoine culturel immobilier au Maroc 22
Figure 4 : Volubilis, site archéologique prêt de la ville de Fès au Maroc 23
Figure 5 : Manifeste d'indépendance du Maroc 26
Figure 6 : Patrimoine culturel matériel 27
Figure 7 : Art culinaire marocain : le plat du couscous Marocain au sept légumes 28
Figure 8 : Médecine traditionnelle Marocaine : plantes médicinales 29
Figure 9 : Baboucherie, un métier traditionnel propre au Maroc 30
Figure 10 : Astrolab d'Umar Ibn Yusuf pour l'étude de l'astronomie 31
Figure 11 : Festival des musiques sacrées de Fès 31
Figure 12 : La tbourida un des rituels festifs les plus connus au Maroc 32
Figure 13 : le Henneh un tatouage marocain propre aux fêtes 33
Figure 14: Patrimoine culturel immatériel 34
Figure 15 : Exemple d'application de dublin Core sur une statue 44
Figure 16 : Eléments descriptifs du tableau du J. Paul La collection du Getty Museum 48
Figure 17 : Application de CDWA lite tableau du J. Paul La collection du Getty Museum 49
Figure 18 : Hiérarchie simplifiée des classes corps CIDOC CRM 52
Figure 19 : Application cidoc crm de la statue de Minerve au Louvre 53
Figure 20 : Schéma de la structure de la fiche minimale pour monuments historiques 55
Figure 21 : Schéma de la fiche minimale pour le patrimoine archéologique 61
Figure 22 : Schéma des attributs obligatoires de l'indexation minimale object ID 70
Figure 23 Schéma des attributs supplémentaires de l'indexation minimale object ID 71
Figure 24 : Architecture technique d' Europeana 75
Figure 25 : Modèle de données du patrimoine culture 91
Figure 26 : Modèle de données du patrimoine culturel 94
Figure 27 : Du relationnel en embarquant des sous-documents JSON 95
Figure 28 : Faire du relationnel en embarquant des sous-documents JSON 96
Figure 29 :Vue d'ensemble de nos collections dans la base de données 98
Figure 30: Représentation du document ICHD dans la base de données 98
Figure 31: Représentation du document Human_resources dans la base de données 99
Figure 32: Représentation du document Organizations dans la base de données 100
Figure 33: Représentation du document Place dans la base de données 101
Figure 34: Représentation du document Attachements dans la base de données 102
Figure 35: Représentation du document Comments dans la base de données 102
Figure 36: Représentation du document Work_renovations dans la base de données 103
Figure 37: Représentation du document Description dans la base de données 103
Figure 38 : De l'architecture Monolithique à l'architecture microservices 107
Figure 39 : Architecture du framework ICHC 108

Figure 40 : Architecture d'un microservice ICHC 109
Figure 41:Flux d'un microservice sur le modèle de données 110
Figure 42 : Vue d'ensemble du ICHC Starter 114
Figure 43 : Architecture Technique du ICHC starter 115
Figure 44 : Principe du pattern Map/Reduce 117
Figure 45 : Distribution des fichiers du système de stockage ICHC 118
Figure 46 : Application du pattern Map/Reduce à une collection ICHC 119
Figure 47 : Architecture IoPCT 127
Figure 48 : Les différentes couches de l'IoT 128
Figure 49 : Architecture IoT du framework IMCHP 132
Figure 50 : Cas précis d'un capteur d'humidité pour un site archéologique 133
Figure 51 : Transport et traitements distribués des messages 134
Figure 52 : Exemple de flux concernant l'état d'une entité culturelle 135

Glossaire :

RDF	**Resource Description Framework**
XML	**Extensible Markup Language**
LIMCicon	**LIMC-France, Lexicon Iconographicum Mythologiae Classicae**
DC	**Dublin core**
OAI	**Ordre des Architectes et des ingénieurs-conseil**
CCO	**Cataloging Cultural Objects**
CIDOC	**Conseil international pour la documentation**
CRM	**Conceptual referential model**
ISO	**International organization for standardization**
ICHD	**Intelligent Culturel Heritage Document**
BSON	**Binary JSON**
GeoJson	**Geographical json**
MP	**Mega pixel**
GRIDFS	**Grid file system**
SIG	**Système d'information géographique**
SKOS	**Simple Knowledge Organization System**
EDM	**Europeana data model**
URI	**Uniform Resource Identifier**
ICHC	**Intelligent cultural heritage of a city**
ETL	**Extract transform load**
IoT	**Internet of Things**
GPIO	**General Purpose Input/Output**

Liste des tableaux

Tableau 1 : Eléments descriptif du Dublin core 43
Tableau 2 : Eléments du CDWA lite.....47
Tableau 3 : Descriptif des éléments MuseumDat.....73
Tableau 4 : Tableau des attributs de l'entité culturelle 83
Tableau 5 : Attributs de la ressource humaine 85
Tableau 6 : Attributs du document organization.....86
Tableau 7 : Attributs du document Attachements. 86
Tableau 8 : Tableau des attributs du document Place. 87
Tableau 9 : Attributs du document Comments.....87
Tableau 10 : Attributs du document Works&Renovations 88
Tableau 11 : Attributs du document Description 90

Introduction

Il va sans dire que la description précise d'un patrimoine culturel constitue la première étape dans sa préservation, toutefois, cette description est devenue plus complexe depuis l'apparition de l'internet. Les applications Web offrent de plus en plus une visibilité accrue du contenu et améliorent la contextualisation des informations produites par tous les départements culturels notamment les musées ou les institutions de recherche [1], mais l'utilisation desdites applications connait des limitations remarquablement désavantageuses. Il est également à noter que dans le temps, ces applications étaient principalement destinées aux utilisateurs "humains" qui devaient deviner, grâce à l'utilisation de moteurs de recherche, le contenu potentiel des bases de données, mais aujourd'hui les machines dotées d'applications plus pertinentes sont techniquement capables de décortiquer et d'interpréter ces informations pour être réutilisables par d'autres services.

Il sied donc de signaler que, si l'être humain est capable de déduire les relations implicites entre plusieurs informations relatives à un même objet relevant du domaine culturel, les machines doivent pouvoir rendre accessibles l'ensemble des ressources culturelles ainsi que leurs détails exhaustifs, cela nécessite des structures de métadonnées riches, capables de couvrir l'ensemble des variétés dans les institutions de mémoire (tels que les archives, le matériel bibliographique et électronique) [2]. Ainsi, c'est le rôle même de ces métadonnées dans l'environnement numérique qui vise, entre autres, à décrire les données pour améliorer leur indexation et les enrichir avec les moteurs de recherche mais aussi à rendre possible l'interopérabilité entre différents systèmes [3].

L'interopérabilité est donc un concept clé dans ce qu'on appelle désormais le « data web » car c'est en libérant les données du carcan des applications qu'il est possible de naviguer « avec le flair » et de rebondir sur des informations complémentaires à la ressource initiale [4]. Néanmoins, il faut admettre qu'en créant de plus en plus d'applications web, l'information perd sa contextualisation et devient alors indispensable de la documenter en ajoutant ces mêmes métadonnées qui l'accompagneront entre les systèmes via le protocole http. Les normes jouent donc un rôle essentiel dans ce contexte d'interopérabilité car elles garantissent l'unicité de la syntaxe et du vocabulaire dans les échanges entre systèmes. Que ces normes de catalogage soient du XML ou RDF ou autres [5], selon les technologies utilisées, ils unifient la manière d'exprimer les données.

Nous visons donc, dans le cadre de cette thèse, à travailler sur un modèle de données propre au patrimoine culturel visant à relier les informations adéquates de manière exhaustive, tout en mettant en valeur la ressource humaine. Il sied de préciser dans ce sens, qu'en décrivant et cataloguant le patrimoine culturel on s'est rendu compte de l'existence de plusieurs contraintes relatives à la conception et au développement du Framework résultant, dont notamment :

- L'énorme quantité de données (Volume) que représente le patrimoine culturel.
- La variété des données et des types de données (image, texte, informations géographiques, etc …), ou encore les différentes formes sous lesquelles peut se manifester le patrimoine culturel.
- La vitesse (Vélocité) : le temps de réponse offert par la solution mise en place pour répondre aux deux premiers points.

Tenant compte de ce qui précède, le sujet que nous souhaitons traiter, dans le cadre de ce travail, se place idéalement dans un contexte « Big data » devant être combiné avec l'utilisation des technologies adéquates et des bases de données NoSql plus aptes au stockage dit « Big data », qui constitue le stockage nécessaire pour traiter la quantité énorme du patrimoine culturel devant être gérée [6].

L'un des objectifs principaux de notre système final sera donc d'inclure l'ensemble du patrimoine culturel (matériel et immatériel) sur une plateforme consultable, ainsi que de mettre en lumière l'étroite relation entre le patrimoine culturel et la ressource humaine. Tout cela avec un fond cartographique pour des fins de géolocalisation des différentes entités culturelles constituant la richesse d'une ville.

Afin de mettre en place une bonne mise en œuvre, il était nécessaire de travailler sur une spécification détaillée et un descriptif très exhaustif du patrimoine culturel à travers des métadonnées. Ceci permettra de mettre en place un modèle de données pertinent pour chaque type de patrimoine culturel, permettant ainsi de décrire chaque entité du patrimoine culturel de la meilleure façon possible, de l'indexer géographiquement et surtout le la relier aux différentes ressources humaines qui interagissent avec elle.

Ce document contient donc en son sein cinq chapitres principaux :

- **Chapitre 1 :** Ce chapitre est réservé à la description du patrimoine culturel et à la compréhension des différents types dudit patrimoine. La bonne maîtrise du patrimoine culturel et de l'ensemble de ses types facilitera remarquablement la conception du modèle de données du Framework résultant de notre travail.
- **Chapitre 2 :** Ce chapitre décline quelques différents modèles de données visant à recenser et à cataloguer le patrimoine culturel. Par conséquent plusieurs méthodes de catalogages seront évoquées et plusieurs modèles de données déjà existants seront abordés et indiqués (CDWA, CDWA LITE, MUSUEMDAT, CIDOC-CRM). Ce chapitre évoque également la plateforme « Europeana » qui concerne le patrimoine culturel numérique européen
- **Chapitre 3 :** Ce chapitre expose une présentation détaillée du modèle de données proposé dans le cadre du Framework résultant de ce travail, outre une description des différents attributs et relations qui constituent idéalement le patrimoine culturel. Ce chapitre présente également une proposition pour l'implémentation du modèle de données final dans une base de données NoSql (MongoDB), ainsi que la manière d'utilisation des différentes fonctionnalités en vue de répondre aux divers besoins de traitement et de conception. Ce chapitre décrit donc la conception choisie outre les fonctionnalités qui argumentent certains choix dont celui de la base de données en particulier.
- **Chapitre 4 :** Ce chapitre englobe les différentes briques de l'architecture technique proposée dans le cadre de ce sujet de thèse. Ce chapitre concerne également les choix technologiques adoptés en adéquation avec le modèle de données proposé. Chaque brique de l'architecture sera décortiquée et expliquée dans ce chapitre, ainsi que l'ensemble des protocoles de communication utilisés et les différents composants représentés.
- **Chapitre 5 :** Ce chapitre évoque la problématique de la détérioration du patrimoine culturel et met en valeur l'utilisation d'une bonne architecture IoT visant à surveiller et préserver le patrimoine culturel. Ce chapitre mixera donc entre technologies propres à l'IoT (MQTT, capteurs etc…) et solutions big data permettant le traitement distribué et les traitements massifs (Kafka, Apache Storm) remontant ainsi les différentes données propres à l'état de conservation du patrimoine culturel.

Chapitre I : Patrimoine culturel: définition et historique

1.1 Mémoire du monde

La Mémoire du monde est définie comme étant la mémoire documentée et collective de l'ensemble des peuples du monde - leur patrimoine documentaire - qui représente une part importante du patrimoine culturel mondial. Elle rend compte de l'évolution de la pensée, des découvertes et réalisations de la société humaine, et constitue le legs transmis par le passé à la communauté mondiale présente et future.

L'ensemble de ces legs constitue que ce soit pour des communautés, des villes, des pays ou le monde un patrimoine culturel riche permettant de définir une civilisation à travers le temps et l'histoire.

L'UNESCO a mis en place le programme mémoire du monde en 1992. Cette mise en œuvre est d'abord née de la prise de conscience de l'état de préservation alarmant du patrimoine documentaire et de la précarité de son accès dans différentes régions du monde. La guerre et les troubles sociaux, conjugués à une grave pénurie des ressources nécessaires aux activités de préservation et de conservation, ont ajouté à des difficultés vieilles de plusieurs siècles. D'importantes collections dans le monde ont souffert de dommages divers : pillage et dispersion, trafic illicite, destruction, locaux et financements inappropriés ont contribué à mettre ce patrimoine en péril. De nombreux documents ont disparu à jamais ; de nombreux autres sont en péril. Il arrive heureusement que des documents manquants réapparaissent.

Plusieurs personnes et organismes ont essayé de digitaliser cette mémoire en mettant en place des plateformes recensant et cataloguant le patrimoine culturel, sauf que pour la création d'une plateforme conservatrice de ce patrimoine, il ne suffit pas de s'attaquer au recensement et au catalogage ce qui déjà en soit constitue une tâche très compliquée à décrire, notamment pour le patrimoine culturel immatériel qui demande des moyens colossaux pour pouvoir l'étudier vu la volatilité dont il souffre, mais aussi de mettre en place des architectures basées sur des modèles de données, ontologies et métadonnées compliqués visant à décrire au mieux le patrimoine culturel.

1.2 Définitions du patrimoine culturel

Depuis longtemps, la culture a été considérée comme un trait caractéristique de l'humanité, des pays, des villes ou encore des hommes. En effet, la capacité de l'homme à la culture est liée à sa capacité à l'histoire, c'est sa capacité à transmettre et accumuler des connaissances, des techniques, des valeurs, et à se transformer au gré de l'évolution.

« La culture fait l'homme ».
Fameux proverbe français

Les différences culturelles entre les différents pays du monde sont donc révélatrices de l'unicité de chaque culture, cette même unicité est considérée comme un facteur majeur distinguant un pays par rapport à un autre et faisant une différence énorme notamment en matière d'attraction de touristes.

Le terme patrimoine tire son origine du mot latin « patrimonium» qui signifie « biens hérités du père » [7]. Au sens propre, le patrimoine concerne, d'une manière générale l'Ensemble des biens matériels ou immatériels soit de personnages historiques, de lieux et d'événements historiques, de documents, d'immeubles, d'objets et de sites patrimoniaux, de paysages culturels patrimoniaux et de patrimoine immatériel ayant une importance artistique et/ou historique certaine, et qui appartiennent soit à une entité privée soit à une entité publique .Cet ensemble de bien culturel est généralement préservé, restauré, sauvegardé et montré au public.

Le Maroc à titre d'exemple, pays de l'Afrique du Nord distingué par plusieurs spécificités notamment par sa culture, connaît, en effet, des pratiques culturelles observables pour environs 38 117 678 d'habitants selon [8]. Faisant partie des villes impériales du Maroc, et étant la capitale spirituelle du Royaume avec un rayonnement international passé faisant d'elle l'une des capitales de la civilisation arabo-musulmane aux côtés de Bagdad, Damas, Istanbul, ou encore Jérusalem, la ville de Fès peut être considérée comme une ville de culture par excellence, Ceci outre le fait qu'elle soit, valeur aujourd'hui riche en projets, événements, manifestations et lieux culturels.

A titre d'exemple, l'UNESCO a inscrit en 1981, la ville de Fès comme patrimoine mondiale de cette organisation onusienne pour l'éducation, la science et la culture (et ce, selon le site web officiel de l'UNESCO https://www.unesco.org/fr).

Cette sauvegarde ou préservation s'inscrit notamment dans un cadre de forte digitalisation de tout le patrimoine culturel. Sauf que digitaliser le patrimoine culturel veut également dire le recenser, le cataloguer et bien le décrire.

1.3 Types du patrimoine culturel

Le patrimoine culturel comme décrit dans la figure 1, peut être divisé essentiellement en deux catégories [2] :

Le patrimoine matériel : Toute sorte de patrimoine culturel dit tangible comme : archéologie, muséologie, sites géologiques, objets d'arts et mobilier et patrimoine industriel et aussi quelques aménagements des espaces agricoles ou forestier etc….

Le patrimoine immatériel : Tout ce qui peut être considéré comme intangible. Patrimoine oral, composé de chants, coutumes, traditions gastronomiques, arts et métiers traditionnels, fonds sonores, mythes, contes manuscrits, documents d'écrits et archives. C'est aussi les pratiques sociales, rituels et évènements festifs etc ….

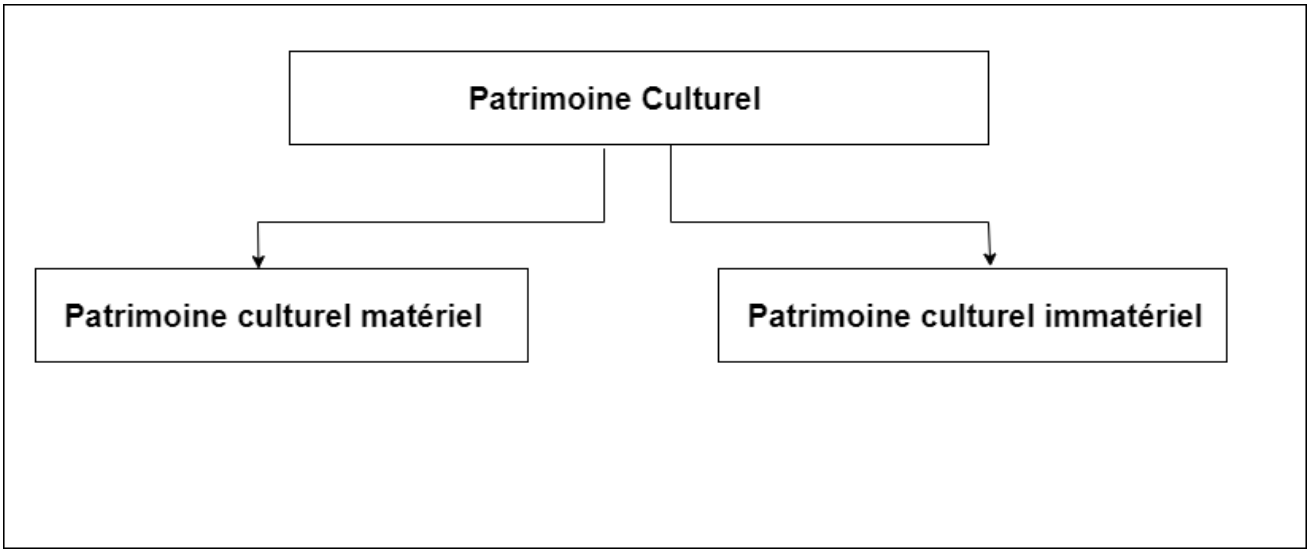


Figure 1 : Types du patrimoine culturel

1.3.1 Patrimoine culturel matériel

Le Patrimoine dit matériel est composé de toutes sortes d'artefacts, monuments, sites archéologique et tout chose tangible qui a permis à un moment ou un autre de tracer tangiblement l'histoire d'une mémoire collective (communautés, villes, pays etc…).

Patrimoine mobilier

Les vestiges archéologiques, les objets ethnographiques comme ceux présentés comme exemples dans la figure 2, les créations artistiques, les œuvres artisanales, les œuvres de culture populaire, les archives, les manuscrits, les collections privées et publiques qui, du point de vue scientifique, historique, anthropologique, artistique, esthétique ou traditionnel, ont une valeur nationale et/ou universelle, qu'ils soient des éléments isolés ou des collections [9]

La loi 19. 05 qu'a mis L'UNESCO en place, spécifique au mobilier, précise les dispositions de l'article premier de la loi 22.80 en ce qui concerne : « le mobilier dont les documents, les archives et les manuscrits qui, eu égard à leur nature archéologique, scientifique, artistique, esthétique ou artisanale, ont une valeur nationale ou universelle » [10]



Figure 2 : Patrimoine culturel mobilier exposé au musée du judaïsme à Casablanca

Patrimoine immobilier

Les monuments, œuvres architecturales, œuvres de sculpture ou de peinture monumentale, éléments ou structures à caractère archéologique, tels que inscriptions, gravures ou peintures rupestres, grottes, monuments funéraires ou tout autre élément, qui présentent une valeur pour l'art, l'histoire ou la civilisation nationale et/ou universelle.

Les sites : œuvres de l'homme ou œuvres conjuguées de l'homme et de la nature, y compris les paysages culturels et sites archéologiques qui présentent pour l'art, l'histoire ou la tradition une valeur nationale et/ou universelle [10]. A titre d'exemple l'université Qarawiyine , dont une photo de l'intérieur dans la figure 3, est un des sites les plus visités dans la ville de Fès, cette université considérée comme une des plus anciennes permet d'accroître le nombre de touristes dans l'ancienne médina .



Figure 3 : Université Qarawiyine , patrimoine culturel immobilier au Maroc

Patrimoine archéologique

Ensemble des vestiges et des traces qui peuvent témoigner de l'occupation ou de l'utilisation passée (préhistorique ou historique) d'un territoire par une population humaine. Le site archéologique marocain de Volubilis, montré dans la figure 4 [11], constitue un exemple frappant du patrimoine archéologique.

Le patrimoine archéologique est constitué de biens et de sites archéologiques. Ce sont des vestiges matériels du passé laissés sur place par des humains, après l'occupation d'un lieu

Le patrimoine archéologique permet de reconstituer l'histoire des peuples et des individus qui ont occupé un territoire, de la préhistoire jusqu'à des époques plus récentes.

Les biens et les sites archéologiques sont le plus souvent découverts lors de travaux de recherche archéologique. Ces travaux permettent aux archéologues de mettre à jour et de comprendre le contexte culturel dans lequel les biens et les sites ont été abandonnés.



Figure 4 : Volubilis, site archéologique prêt de la ville de Fès au Maroc

Patrimoine archiviste

Les archives sont l'ensemble des documents, quels que soient leur date, leur forme et leur support matériel, produits ou reçus par toute personne physique ou morale et par tout service ou organisme public ou privé [12].

La qualité d'archive est indépendante de :

- La date : tous les documents sont considérés comme des archives dès leur élaboration ou leur réception,
- La forme : un document d'archives peut être aussi bien un document manuscrit qu'un texte imprimé ou dactylographié, un plan, une affiche, un fichier,
- Support matériel : papier, photographies, documents audiovisuels, documents informatiques…

Le patrimoine archiviste consiste en deux types :

Archives publiques :

Toutes archives gardées par des organismes publics qui les communiquent au public conformément aux règles en cours dans les services d'archives publiques [13].

Les archives publiques selon l'article 3 de la loi sur les archives au Maroc sont :

- ✓ les documents qui procèdent de l'activité de l'Etat, des collectivités locales, des établissements et des entreprises publiques, dans l'exercice de leurs activités.

- ✓ Les documents qui procèdent de l'activité des organismes privés chargés de la gestion d'un service public pour la partie de leurs archives découlant de l'exercice de ce service public.
- ✓ Les répertoires des notaires et adouls, les registres de l'état civil et de l'enregistrement. Les archives publiques sont imprescriptibles et inaliénables.

Les archives publiques sont des archives courantes, intermédiaire ou définitives Les archives courantes sont Les documents cités ci-dessus qui sont couramment utilisés pour une période déterminée, dans le cadre de l'exercice de leurs activités, par les personnes, les organismes et les établissements

Archives privées :

Toutes archives gardées par son propriétaire, sachant que certaines d'entre elles représentent un intérêt énorme pour l'histoire et peuvent faire l'objet d'une acquisition comme archives publiques [13].

Les archives privées peuvent provenir d'individus, de familles, d'associations ou d'entreprises Les archives intermédiaires sont les documents qui ont cessé d'être considérés comme archives courantes, qui peuvent être utilisés occasionnellement par les organismes qui les ont constitués alors que leur sort final n'est pas encore fixé. Les archives privées sont toutes les archives qui ne revêtent pas le caractère légal d'archives publiques ; on peut y rattacher ainsi les papiers de famille et les documents personnels, les archives d'entreprise, associatives, politiques, les archives d'avocat ou encore les archives religieuses. Elles peuvent être données, léguées ou confiées en dépôt à des services d'archives publiques ou privés et leur communication peut obéir alors à des règles particulières fixées par leur propriétaire. La conséquence naturelle de ce principe est que les archives privées ne sont pas imprescriptibles, qu'elles peuvent faire l'objet d'une transaction.

En France, certaines archives privées peuvent faire l'objet d'une mesure de classement comme « archives historiques ». Elles restent propriétés de leurs détenteurs originels, mais l'administration publique des archives doit être avisée de tout ce qui pourrait affecter leur intégrité.

Aussi selon l'article 23 de la loi sur les archives au Maroc : Les archives privées sont l'ensemble des documents définis à l'article premier ci-dessus qui n'entrent pas dans le champ d'application de l'article 3 de la présente loi La distinction entre les archives privées et les archives publiques

est parfois difficile à établir. Les papiers d'un homme politique par exemple, peuvent comporter des documents en rapport avec ses fonctions officielles, qui sont donc des archives publiques, et des documents découlant de ses activités de parlementaire et de responsable d'un parti, qui sont des archives privées.

Patrimoine Documentaire

Le patrimoine documentaire est l'ensemble des biens documentaires transmis à la communauté au fil des générations qui constituent un héritage commun et cimentent l'identité d'une nation, le manifeste d'indépendance du Maroc présenté dans la figure 5 constitue un exemple pertinent.

Le patrimoine documentaire fait donc partie intégrante du patrimoine d'une nation et est intimement lié à tous les autres patrimoines puisqu'il les documente, les situe dans un contexte, les authentifie [14].

Un document est censé être doté de deux composantes : le contenu de l'information et le support sur lequel elle repose. Les deux peuvent être d'une grande variété et revêtent une importance égale en tant que parties constitutives de la mémoire. Il peut s'agir par exemple :

- De documents textuels comme les manuscrits, les livres, les journaux, les affiches, etc. Dans ce cas, le contenu textuel peut être fixé à l'encre, au crayon, au pinceau entre autres moyens. Le support peut être notamment du papier, du plastique, du papyrus, du parchemin, des feuilles de palmier, de l'écorce, du tissu de matière textile ou de la pierre.
- De documents non-textuels, tels que les dessins, les gravures, les cartes et les partitions musicales.
- De documents audiovisuels comme les films, les disques, les bandes et les photographies - enregistrés en mode analogique ou numérique, ou bien par des moyens mécaniques, électroniques ou autres. Ces documents se composent d'un support physique porteur d'une couche où réside le contenu de l'information.
- De documents virtuels comme les sites Web qui sont accessibles auprès des serveurs : le support peut être un disque dur ou une bande ; le contenu se compose de données électroniques

Un élément du patrimoine documentaire peut correspondre à un unique document de tout ordre. Ou il peut également s'agir d'un groupe de documents, comme une collection, un fonds (holding) ou un fonds d'archives. Une collection est un ensemble de documents sélectionnés indépendamment les uns des autres. Un fonds (holding) est une collection ou un ensemble de

collections détenu par une institution ou un particulier, ou un ensemble ou groupe organisé de documents détenu par un dépôt d'archives. Parmi les institutions qui détiennent des collections ou des fonds figurent les bibliothèques, les dépôts d'archives, les organisations telles qu'organismes éducatifs et religieux et institutions historiques, les musées, les administrations publiques et les centres culturels.



Figure 5 : Manifeste d'indépendance du Maroc

L'étude descriptive du patrimoine culturel matériel et la définition de ses différents types permettent la schématisation de ce dernier en différentes sous-catégories, toutes ces catégories sont schématisées de manière simplifiée dans la figure 6, qui est en soit une figure englobant les différentes catégories identifiées du patrimoine culturel matériel.

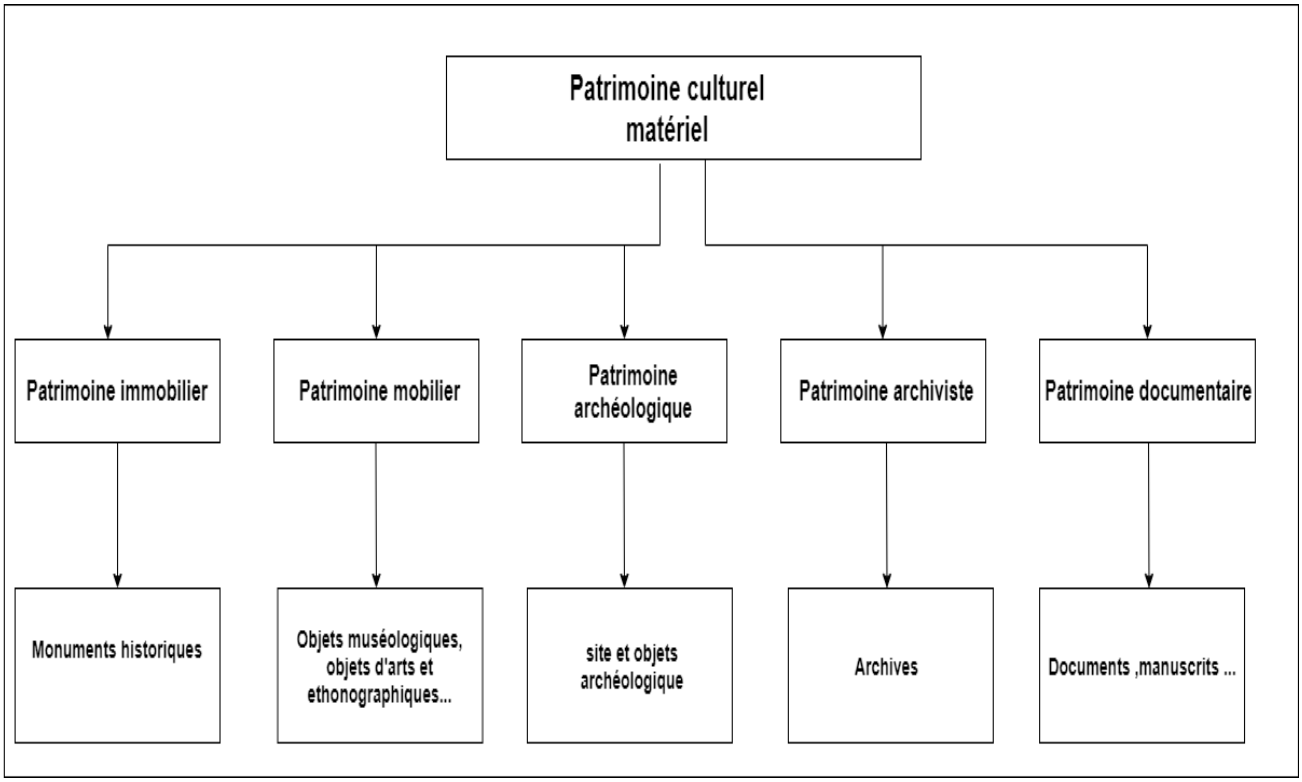


Figure 6 : *Patrimoine culturel matériel*

Chaque sous-catégorie (patrimoine immobilier, mobilier, archéologique, archiviste ou documentaire) a été détaillée au maximum avec des exemples parlants du patrimoine culturel marocain. Les recherches établies sur ces sous-catégories permettront par la suite la mise en place de différents attributs dits ‘métadonnées ‘ permettant un catalogage assez précis et net pour chaque type, un catalogage découlant sur un modèle de données descriptif et détaillé.

1.3.2 Patrimoine culturel immatériel

Le patrimoine culturel immatériel est composé de toutes les manifestations immatérielles de la culture, il représente la variété du patrimoine vivant de l'humanité ainsi que le vecteur le plus important de la diversité culturelle. Les principaux « facteurs constitutifs » du patrimoine culturel sont représentés par « l'auto-identification » de ce patrimoine en tant qu'élément essentiel de l'identité culturelle de ses créateurs et détenteurs [15].

La communauté internationale a récemment pris conscience que le patrimoine culturel immatériel a besoin et mérite une sauvegarde internationale, déclenchant un processus juridique qui a abouti à l'adoption en 2003 de la Convention de l'UNESCO sur la sauvegarde du patrimoine culturel immatériel [16]. Cette Convention met correctement en évidence les

principaux éléments du patrimoine culturel immatériel et repose sur une juste logique philosophique, mais sa partie opérationnelle – structurée sur le modèle de la Convention du patrimoine mondial de 1972 [17] apparaît insuffisante pour assurer une sauvegarde appropriée des spécificités du patrimoine immatériel.

Le patrimoine culturel immatériel ne peut pas être vraiment classé ou recensé, c'est tellement vaste, hétérogène et surtout volatile qu'on ne peut pas vraiment cataloguer tous les types du patrimoine culturel immatériel, ceci dit on trouvera ci-dessous un bon nombre d'exemples.

Patrimoine ethnologique :

C'est l'héritage commun d'une collectivité se caractérisant par les artefacts et toute documentation liée à l'étude des civilisations et de leur évolution [18]. Il peut se présenter sous divers types :

Arts culinaires : L'art culinaire d'un pays est un trésor et une richesse dont les peuples sont fiers, l'ensemble des recettes et rituels pour préparer un repas diffèrent d'un pays à un autre [19].

La cuisine marocaine pour exemple est connue pour son raffinement et sa diversité. Outre les plats « nationaux » que sont le tagine et le couscous, l'art culinaire marocain s'est enrichi, au fil du temps, de multiples affluents : cuisine méditerranéenne, cuisine andalouse et morisque, cuisine arabe (certaines recettes remonteraient à l'époque des Abbassides).



Figure 7 Art culinaire marocain : le plat du couscous Marocain au sept légumes

Médecine traditionnelle : La médecine traditionnelle regroupe l'ensemble des savoirs, pratiques, méthodes et procédés en matière de santé, de traitement et de guérison des maladies. A des fins médicales, elle implique l'usage de plantes, de minéraux et de techniques manuelles pour diagnostiquer, soigner et prévenir les maladies ou pour rétablir et préserver la santé [20].

Ce savoir-faire ancestral s'appuie sur la richesse des pays en plantes aromatiques et médicinales. Les herboristes et les guérisseurs en perpétuent l'usage aujourd'hui grâce à leurs connaissances du corps humain, des techniques de guérison et des plantes, transmises de génération en génération



Figure 8 Médecine traditionnelle Marocaine : plantes médicinales

Métiers traditionnels et savoir-faire artisanales : L'artisanat à fort contenu culturel représente environ 16% des emplois du secteur, dont les deux-tiers en milieu urbain. On dénombre une multitude de métiers dont les savoir-faire font aujourd'hui partie intégrante du patrimoine culturel immatériel national : broderie, poterie, tissage, brocart, vannerie, armurerie, bijouterie et orfèvrerie, briqueterie, cordonnerie et baboucherie, dinanderie et ferblanterie, ferronnerie, marbrerie, marqueterie, menuiserie, passementerie, travail de la pierre, plâtrerie, reliure d'art, sellerie, maroquinerie, tapisserie, vannerie, zellige, architecture… A l'origine basés sur la transmission de maître à apprenti, ces savoir-faire se perpétuent grâce à un système de formation formelle dans les centres mis en place par le département de tutelle. La Stratégie nationale de l'artisanat 2015 entend développer ce secteur créateur d'emplois et de richesse.



Figure 9 : Baboucherie, un métier traditionnel propre au Maroc

Patrimoine linguistique :

L'ensemble des langues et expressions orales qui définissent un peuple, elles peuvent se présenter sous forme de : langues, dialectes, poésie, prose etc… [21]

Au Maroc par exemple L'arabe, darija, amazigh et le français représentent les variétés hautes. Ils occupent un rang privilégié dans la hiérarchie et des usages linguistiques. Certes l'arabe (dialectal) et l'amazighe représentent des variétés plus basses auxquelles font défaut la légitimité et le soutien de la logistique institutionnelle. Ceci dit avec tous les efforts pour les promouvoir une montée en puissance peut nettement être observé.

Patrimoine scientifique :

C'est le développement de l'histoire s'agissant des sciences et des techniques. Comme pour tout patrimoine, transmettre le patrimoine scientifique sert à permettre au plus grand nombre de comprendre le passé et le présent, pour construire l'avenir.

Le patrimoine scientifique prend des formes extrêmement variées ce qui rend difficile la tâche de recensement, analyse, classification et sauvegarde de cet ensemble néanmoins on peut recenser quelques supports de ce patrimoine :

- Cahiers de laboratoires ;
- Matériel biologique ;
- Bibliographie (articles, monographies, thèses, titres et travaux …) ;
- Instruments (objets issus de laboratoires) et souvenirs scientifiques ;
- Cours sous format imprimé ;

- Photographie, vidéos, toiles, gravures, illustrations ;
- Correspondance, dédicace ;
- Archives des laboratoires et services administratifs.



Figure 10 : Astrolab d'Umar Ibn Yusuf pour l'étude de l'astronomie

Patrimoine audiovisuel et artistique :

Arts lyriques ou arts du spectacle :

Les arts lyriques et chorégraphiques sont les chants et danses utilisant la musique et produits par les communautés citadines et rurales. Ce sont des productions collectives dont on ignore souvent le créateur individuel. Ils comportent trois catégories : rurale, citadine et confrérique.



Figure 11 : Festival des musiques sacrées de Fès

Pratiques et rituels festifs :

Toutes les cérémonies ou fêtes religieuses comme dans le cas du Maroc (Achoura, Aid El kbir, Ramadan …etc) ou des rites de passage comme les mariages, circoncisions, funérailles etc …

La fantasia est une tradition équestre pratiquée essentiellement au Maroc, se manifestant par la simulation d'assauts militaires. Cet art est notamment appelé « jeu de la poudre » ou « jeu des chevaux » en français, et aussi appelé ‘ tbourida’ localement (au Maroc)



Figure 12 : La tbourida un des rituels festifs les plus connus au Maroc

Techniques du corps et arts paraitres : Tout ce qui touche au corps de la communauté et son paraitre comme le maquillage, habillement, tatouage, coiffure etc … [22].

Le henné par exemple est un arbuste de la famille des Lythraceae. Le broyage de ses feuilles produit une poudre qui libère une molécule aux propriétés fortifiantes et colorantes. Au Maroc, on trouve cet arbuste principalement dans la région d’Azzemour.

Selon les coutumes, la cérémonie du henné se tient une semaine avant le mariage religieux. Mais d’autres familles l’organisent une nuit avant le mariage. Elle se déroule au domicile des parents de la future mariée. C’est une fête qui réunit les membres féminins de la famille (mère,

tantes, cousines, nièces) et les amies de la future mariée, pour but de tatouer ‘ le plus fréquemment les mains ‘ pour le but d’art paraitre.



Figure 13 : le Henneh un tatouage marocain propre aux fêtes

La définition du patrimoine culturel immatériel est donc des plus compliquées, mélanges entre mœurs, chant, vêtements, musiques, poésie et tout ce qui est intangible, son recensement et catalogage et d’autant plus compliqué au vu du nombre d’informations colossal à collecter pour pouvoir avoir un modèle de donné le décrivant et tenant la route.

Pourtant la définition ne réside vraiment pas dans ces séries de domaines exemplaires, Le patrimoine culturel immatériel ne s’identifie pas qu’avec des éléments ou pratiques culturelles d’intérêt « ethnologique ». Les pratiques, représentations, expressions, savoir-faire et connaissances, ainsi que les instruments, objets, artefacts et espaces culturels qui leur sont associés aux domaines listés ne pourraient être considérés comme patrimoine culturel immatériel que s’ils :

- ✓ sont reconnus comme faisant partie de leur patrimoine culturel par des communautés, des groupes et, le cas échéant, des individus ;
- ✓ sont transmis de génération en génération ;
- ✓ sont recréés en permanence par les communautés et groupes en fonction de leur milieu, de leur interaction avec la nature et de leur histoire ;
- ✓ leur procurent un sentiment d’identité et de continuité ;

- ✓ sont conformes aux instruments internationaux existants relatifs aux droits de l'homme, ainsi qu'à l'exigence du respect mutuel entre communautés, groupes et individus, et d'un développement durable

L'étude descriptive du patrimoine culturel immatériel et la définition de ses différents types permettent la schématisation de ce dernier en différentes sous-catégories, toutes ces catégories sont schématisées de manière simplifiée dans la figure 7, qui est en soit une figure englobant les différentes catégories identifiées du patrimoine culturel immatériel.

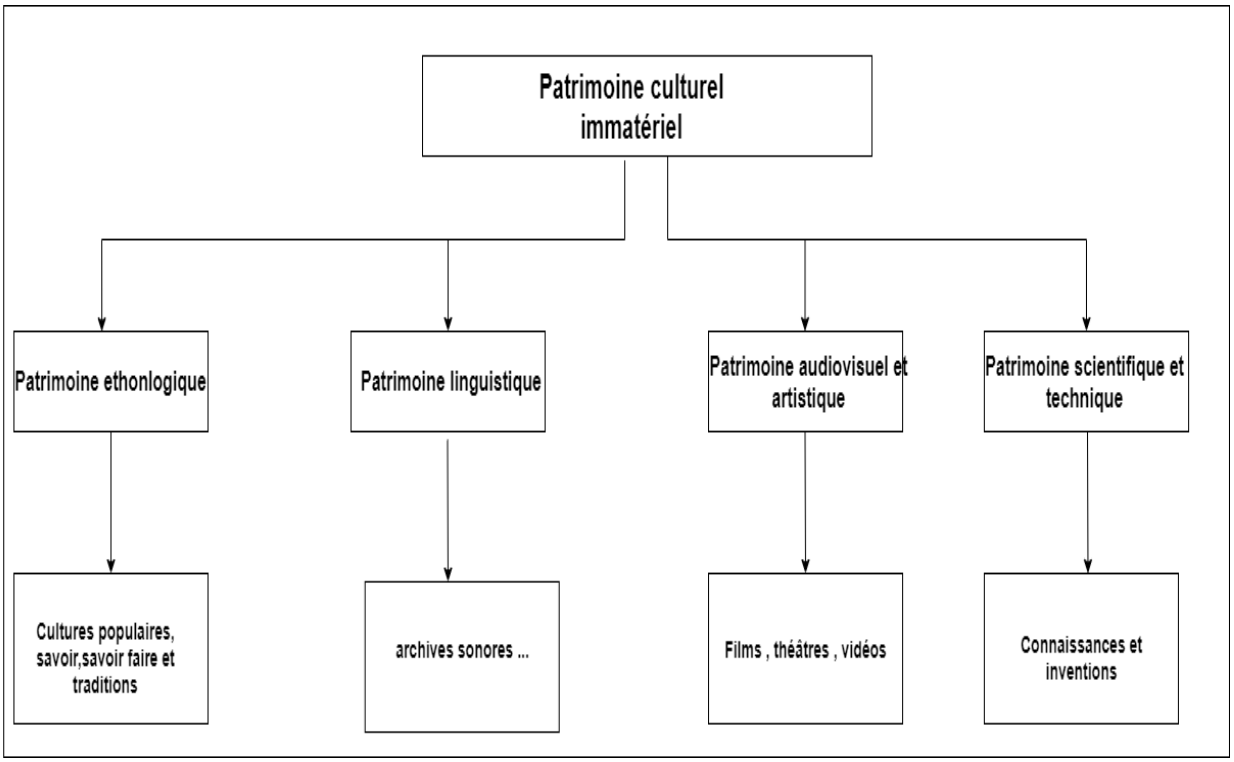


Figure 14: Patrimoine culturel immatériel

1.4 Protection du patrimoine culturel

La préservation du patrimoine culturel passe inévitablement par le fait de garder intacts les artefacts et les traditions d'une communauté contre les facteurs qui tentent de les modifier ou de les éroder. Certains exemples courants se trouvent dans la restauration de bâtiments historiques, la transmission d'un ancien métier ou l'enregistrement de contes traditionnels. Le patrimoine culturel est donc d'une importance cruciale pour toutes les communautés, il leur

donne un moyen de revenir sur l'histoire d'une manière qui informe leur identité actuelle. Cela offre également aux communautés de nouvelles chances de prospérer.

De nombreuses personnes derrière les programmes de conservation culturelle donnent la priorité à rester local et à aider leurs communautés autant que possible. Souvent, les personnes vivant dans la pauvreté ou celles en marge de la société sont les premières à bénéficier de ces opportunités. Dans ce sens, la préservation du patrimoine réduit la pauvreté et aide les communautés en donnant aux gens un emploi et une éducation.

Il est à constater que le patrimoine culturel et le patrimoine naturel sont de plus en plus menacés de destruction non seulement par les causes traditionnelles de dégradation mais encore par l'évolution de la vie sociale et économique aggravée par des phénomènes d'altération ou de destruction encore plus redoutables, considérant aussi que la dégradation ou la disparition d'un bien du patrimoine culturel et naturel constitue un appauvrissement néfaste du patrimoine de tous les peuples du monde, et considérant que la protection de ce patrimoine à l'échelon national reste souvent incomplète en raison de l'ampleur des moyens qu'elle nécessite et de l'insuffisance des ressources économiques, scientifiques et techniques du pays sur le territoire duquel se trouve le bien à sauvegarder.

De ce fait, un bon nombre d'organismes , d'institutions et même de pays ont mis des moyens colossaux pour préserver le patrimoine culturel que ce soit au travers de la digitalisation du patrimoine qui vise à le sauvegarder de manière plus sure , ou de la mise en place d'outils et de systèmes de surveillance qui permettent non seulement la surveillance d'un site , monument ou œuvre d'art mais aussi la prédiction de la détérioration de ceux-ci pour pouvoir mettre en place des solutions afin d'éviter cette altération.

Il sied de préciser que le patrimoine matériel et le patrimoine immatériel nécessitent des approches différentes en matière de préservation et de sauvegarde, ce qui a été l'une des principales motivations à l'origine de la Convention de l'UNESCO de 2003 pour la sauvegarde du patrimoine culturel immatériel. La Convention stipule l'interdépendance entre le patrimoine culturel immatériel et le patrimoine culturel matériel, et reconnaît le rôle du patrimoine culturel immatériel en tant que source de diversité culturelle et moteur du développement durable. Reconnaissant la valeur des personnes pour l'expression et la transmission du patrimoine culturel immatériel, l'UNESCO a été le fer de lance de la reconnaissance et de la promotion des trésors humains vivants, « des personnes qui possèdent à un très haut degré les connaissances

et les compétences requises pour représenter ou recréer des éléments spécifiques du patrimoine culturel immatériel. Patrimoine.

1.5 Solutions de l'UNESCO

Conformément à l'esprit de sa constitution (1945) exigeant « la conservation et la protection du patrimoine mondial de livres, d'œuvres d'art et de monuments de l'histoire et de la science », l'UNESCO gère principalement trois programmes patrimoniaux :

- ✓ Le patrimoine mondial (1972-).
- ✓ La mémoire du patrimoine mondial (1992-).
- ✓ Le patrimoine culturel immatériel (2003-).

On zoom rapidement sur le programme du patrimoine mondial qui représente le programme phare bien établi de l'UNESCO, et son étendue mondiale représente le rôle culturel distinct que l'UNESCO joue dans la société internationale. Depuis que la Convention concernant la protection du patrimoine mondial culturel et naturel (Convention du patrimoine mondial) a été adoptée par la Conférence générale de l'UNESCO en 1972, la société internationale en est venue à accepter la liste du patrimoine mondial de l'UNESCO comme prestigieuse et crédible, garantissant dans la plupart des cas une publicité internationale. Et/ou des opportunités économiques dans le tourisme et l'aide extérieure pour la conservation et la préservation. En tant que prédécesseur réussi de la mémoire du patrimoine mondial, le patrimoine mondial est un point de référence important pour comprendre le rôle de l'UNESCO dans le domaine du patrimoine.

1.6 Conclusion

Il a été présenté dans ce chapitre que le patrimoine culturel est l'héritage du passé dont nous profitons aujourd'hui et que nous transmettons aux générations à venir. Le patrimoine culturel est aussi une source irremplaçable de vie et d'inspiration. Les sites du patrimoine mondial appartiennent à tous les peuples du monde, sans tenir compte du territoire sur lequel ils sont situés. Par conséquent ce patrimoine doit être protégé, recensé, présenté et mise en valeur pour les différents partis voulant le consulter.

Recenser et cataloguer le patrimoine culturel commence donc par classer ses différents types :

- Matériel :
  - Patrimoine mobilier : Monuments historiques
  - Patrimoine immobilier : Objets muséologique, objets d'art …
  - Patrimoine archéologique : Sites archéologiques
  - Patrimoine archiviste : Archives
  - Patrimoine documentaire : Documents
- Immatériel :
  - Patrimoine ethnologique : Cultures populaires, savoir-faire et traditions…
  - Patrimoine linguistique : Archives sonores …
  - Patrimoine audiovisuel et artistique : Films, Théâtres, etc…
  - Patrimoine scientifique et technique : Connaissances et inventions.

Les différents types du patrimoine culturel montrent à quel point c'est un domaine vaste et par conséquent difficile à classifier et à cataloguer. Sachant que pour pouvoir mettre en place une solution qui recense et présente le patrimoine culturel il faut d'abord créer un modèle de données regroupant les différents attributs et les différentes relations et ressources interagissant avec le patrimoine culturel.

Ce chapitre s'est également arrêté sur quelques différents programmes mis en place par l'UNESCO, des programmes référence pour chaque personne ou organisme désirant faire des recherches sur le patrimoine culturel.

Chapitre II : Modèles conceptuels utilisés pour le patrimoine culturel.

2.1 Introduction

De nos jours, à l'ère de la numérisation, il devient de plus en plus pertinent d'avoir une utilisation raisonnable du contenu numérique. Cette considération devrait également s'appliquer au patrimoine culturel, et pas seulement à la conservation. Dans le contexte de la mondialisation, des actions intelligentes pour l'utilisation des contenus devraient être menées pour assurer la pérennité des identités nationales. Au cours des dernières décennies, de nouvelles technologies et de nouveaux modèles conceptuels ont été développés et utilisés pour la conservation numérique sous la forme de modèles informatique, partant de très petites expositions de musée et se terminant par les plus grandes mosquées, cathédrales ou châteaux.

Les avantages des modèles informatiques sont indéniables. Ces modèles permettent de bâtir des applications informatiques qui permettent dans le cas du patrimoine culturel de cataloguer chaque type de patrimoine, les stocker et même les exposer à travers des photos ou même des représentations en trois dimensions.

Ceci dit pour mettre en place un modèle conceptuel permettant de décrire de manière très exhaustive le patrimoine culturel est très compliquée, il faudrait distinguer entre les différents types existants et surtout mettre en place un modèle qui permet de gérer un nombre énorme d’interactions et d’attributs. Un nombre croissant d'institutions du patrimoine culturel publient des données en ligne. Les ontologies peuvent être utilisées pour structurer les données publiées, augmentant ainsi l'interopérabilité.

Pour parvenir à une adoption généralisée des ontologies, les institutions telles que les bibliothèques, les archives et les musées doivent être en mesure d'évaluer si une ontologie peut capturer de manière adéquate des informations sur leurs artefacts.

Ce chapitre se consacrera à étudier certaines ontologies existantes, qui permettent de décrire et recenser le patrimoine culturel, et expliquer les différentes métadonnées recensées dans le modèle conceptuel.

2.2 Définition et types des métadonnées

2.2.1 Définition des métadonnées

C’est un ensemble structuré d'informations décrivant une ressource quelconque, ou comme on peut l’entendre parfois c’est tout simplement des données sur les données. En d'autres termes, ce sont des données décrivant d'autres données. Le concept de métadonnées s'adapte facilement à une métaphore du fonctionnement d'une bibliothèque : les « données » sont formées à partir des collections qui y sont hébergées, et les « métadonnées » à partir des catalogues utilisés pour les décrire [23].

Bien que le terme lui-même ait une provenance d'un demi-siècle seulement, les métadonnées ont clairement depuis beaucoup plus longtemps et a eu une vie bien avant que l'ordinateur ne soit inventé. Un groupe qui le produit en grande quantité depuis des millénaires est bibliothécaires : ils répertorient et cataloguent leurs collections depuis l’historique enregistré. Le concept de métadonnées s'adapte facilement à une métaphore de la façon avec laquelle travaille une bibliothèque : ses « données » sont constituées des collections qu'elle abrite, ses « métadonnées » des catalogues utilisés pour les décrire. Parce que la création des métadonnées a toujours été au cœur du travail d'un bibliothécaire, il n'est pas surprenant de trouver que le nombre des innovations de son histoire trouvent leur origine dans les bibliothèques. Les bibliothèques ont donc d'abord utilisé des métadonnées pour récupérer et localiser leurs produits dans leur stockage. Ainsi, les métadonnées visaient principalement à aider les utilisateurs à localiser des informations et à découvrir des ressources.

De plus, les métadonnées sont primordiales pour organiser électroniquement les ressources et les préserver numériquement. Ainsi, plusieurs départements et organisations, conscients de l’importance des métadonnées y investissent très sérieusement notamment dans le domaine culturel.

Le terme a été rapidement adopté par les praticiens de l'informatique et apparaît fréquemment dans des articles de recherche et des publications à partir des années 1970. C'est même devenu suffisamment reconnu en dehors de cette communauté pour devenir le titre d’un film d'animation réalisé par l'Office national du film du Canada en 1971.

2.2.2 Types des métadonnées

Les métadonnées peuvent servir un assortiment complexe d'objectifs, mais la plupart d'entre elles se divisent en trois catégories claires : cette division tripartite peut être utile pour nous aider à comprendre ce qu'un type particulier de métadonnées essaie de faire. Chacune d'elles mérite d'être examinés en détail.

La première, généralement appelée métadonnées descriptives, est celle qui nous est peut-être la plus familière car elle tend à être la plus visible. C'est les métadonnées conçues pour nous aider à découvrir et à localiser les données auxquelles il se réfère.

Les métadonnées descriptives sont peut-être la variété avec laquelle nous sommes le plus familiers, mais elles sont souvent éclipsées en taille et en portée par un autre type qui est nécessaire pour garder tout système d'information (électronique ou autre) en fonctionnement. C'est ce qu'on appelle généralement les métadonnées administratives, les informations de base qui garantissent que les données peuvent être stockées, conservées et consultées en cas de besoin. Les métadonnées de ce type ont toujours été nécessaires : chaque bibliothèque a dû tenir des registres pour permettre à son administration de fonctionner.

Un dernier type de métadonnées n'est pas non plus toujours évident pour l'utilisateur mais est souvent indispensable. Elles sont appelées les métadonnées structurelles car elles définissent des structures qui rassemblent des composants simples en quelque chose de plus grand qui a un sens pour un utilisateur. C'est ce qui transforme un assortiment de pages autrement aléatoire en quelque chose que nous pouvons reconnaître comme un livre. Informations de ce type est inhérent même à un livre physique dans les numéros de page et l'ordre dont les feuilles sont collées dans la colonne vertébrale. Dans le monde numérique, il doit être enregistré plus explicitement si un objet de quelque complexité que ce soit va avoir un sens comme quelque chose plus qu'un tas de données incohérentes [24].

Ces trois types de métadonnées, descriptives, administratives et structurelles, montrent qu'une définition simple qui la considère comme « information transactionnelle » ne couvre qu’une petite partie de ce qu'il peut faire. Les métadonnées sont certainement un domaine compliqué mais sont également indiscutable à ce sujet à quel point il est fondamental pour l'homme et les manières dont leurs connaissances et leur culture se construisent.

Ces métadonnées nous permettront de décrire plus en détails les attributs de chaque entité culturelle qui constituera l'ontologie qui répondra au besoin auquel on aura à faire durant ce travail.

2.3 Ontologies applicables au patrimoine culturel

Les métadonnées sont utilisées pour décrire les ressources en termes d'éléments et pour faciliter la découverte et l'accès facile à l'information. Les ontologies définissent des entités à un niveau abstrait, dans le but de conceptualiser un domaine d'intérêt. Ils ne fournissent pas d'éléments spécifiques pour la description d'une ressource, mais un aperçu général des notions de base d'un domaine d'intérêt et les relations entre ces notions [25].

Pour participer à un méta-portail, les métadonnées des différents contributeurs réunis autour d'un catalogue collectif doivent être interopérables c'est-à-dire parler un langage commun. C'est ce qui a conduit plusieurs communautés à créer des ontologies afin de faciliter la communication entre les différents systèmes d'informations.

2.3.1 Dublin Core

Le Dublin Core est un schéma de métadonnées générique qui permet de décrire des ressources numériques ou physiques et d'établir des relations avec d'autres ressources. Il comprend officiellement 15 éléments de description formels (titre, créateur, éditeur), intellectuels (sujet, description, langue, …) et relatifs à la propriété intellectuelle.

Le Dublin Core fait l'objet de la norme internationale ISO 15836, disponible en anglais et en français depuis 2003. Il est employé par l'Organisation mondiale de la santé, ainsi que d'autres organisations intergouvernementales.

Le Dublin Core est donc le standard international utilisé actuellement pour permettre de faire parler entre elles des notices issues de catalogues les plus variés. En 15 champs fondamentaux (tableau 1), il rassemble les informations nécessaires à l'identification d'un document. Le Dublin Core a été conçu au départ pour des documents écrits. Une table de concordance est donc nécessaire pour faire converger nos champs de catalogages, spécifiques à nos fiches d'indexation, vers ceux du Dublin Core [26].

Ci-après un aperçu sur les différents éléments descriptifs du Dublin Core, consolidés dans le tableau numéro 1 :

Élément	Élément (anglais)	Commentaire
Titre	Title	Titre principal du document
Créateur	Creator	Nom de la personne, de l'organisation ou du service à l'origine de la rédaction du document
Sujet	Subject	Mots-clefs, phrases de résumé, ou codes de classement
Description	Description	Résumé, table des matières, ou texte libre. Raffinements : table des matières, résumé
Editeur	Publisher	Nom de la personne, de l'organisation ou du service à l'origine de la publication du document
Contributeur	Contributor	Nom d'une personne, d'une organisation ou d'un service qui contribue ou a contribué à l'élaboration du document. Chaque contributeur fait l'objet d'un élément Contributor séparé
Date	Date	Date d'un événement dans le cycle de vie du document
Type de ressource	Type	Genre du contenu
Format	Format	Type MIME ou format physique du document
Identifient de la ressource	Identifier	Identificateur non ambigu : il est recommandé d'utiliser un système de référencement précis, afin que l'identifiant soit unique au sein du site, par exemple les URI ou les numéros ISBN.
Source	Source	Ressource dont dérive le document : le document peut découler en totalité ou en partie de la ressource en question. Il est recommandé d'utiliser une dénomination formelle des ressources, par exemple leur URI
Langue	Language	
Relation	Relation	Lien avec d'autres ressources.

Couverture	Coverage	Couverture spatiale (point géographique, pays, régions, noms de lieux) ou temporelle
Droits	Rights	Droits de propriété intellectuelle, Copyright, droits de propriété divers

Tableau 1 : Eléments descriptif du Dublin Core

Ceci dit le Dublin Core, même dans sa version qualifiée, ne permet de traiter qu'une partie des informations liées à un objet du patrimoine archéologique ou muséal, et cela en appauvrissant certaines des notions sélectionnées. À titre d'exemple, une notice sur un objet de musée a été rédigée de façon à faire ressortir les limites de l'emploi des quinze éléments de description Dublin Core Simple pour rassembler, et surtout restituer, les informations riches et variées relatives à une entité culturelle.

Prenons l'exemple d'une statue antique conservée au Musée du Louvre et représentant à l'origine Minerve, au 12ème siècle tout en spécifiant la restauration, en passant aussi par l'enregistrement qui lui est consacré dans le corpus numérique LIMCicon, voir à sa photographie numérique (figure 8)

<dc:title>*Statue de Minerve*</dc:title>
<dc:title>*Statue de Rome*</dc:title>
<dc:title>*Paris, Musée du Louvre MR 341, Ma 1056*</dc:title>
<dc:creator>*atelier romain?*</dc:creator>
<dc:creator>*inconnu*</dc:creator>
<dc:creator>*Francuccio Francucci*</dc:creator>
<dc:creator>*LIMC-France*</dc:creator>
<dc:subject>*Minerve ; Athéna ; Rome ; Antiquité ; sculpture ; archéologie…*</dc:subject>
<dc:description>*statue en porphyre de Minerve*</dc:description>
<dc:description>*statue en porphyre et bronze de Minerve*</dc:description>
<dc:description>*statue en porphyre et bronze de Rome*</dc:description>
<dc:description>*Personnage féminin assis, le bras droit levé*</dc:description>
<dc:publisher>*LIMC* </dc:publisher>
<dc:contributor> *LIMC-France*</dc:contributor>
<dc:date>*Empire romain*</dc:date>
<dc:date>*IIe s. apr. J.-C.*</dc:date>
<dc:date>*XVIIe-XVIIIe s. apr. J.-C.*</dc:date>
<dc:date>*2011/08/20*</dc:date>
<dc:date>*2012/09/27*</dc:date>
<dc:type>*objet physique, statue*</dc:type>
<dc:type>*dataset*</dc:type>
<dc:format>*ressource électronique*</dc:format>
<dc:identifier>*http://www.limc-france.fr/objet/14804*</dc:identifier>
<dc:source>*http://www.limc-france.fr*</dc:source>
<dc:language>*fr*</dc:language>
<dc:relation> *www.limc-france.fr/image/... 0FR19638*</dc:relation>
<dc:coverage>*Rome; Paris, Louvre; Antiquité; Empire romain ; IIe s. apr. J.-C.; XVIIe-XVIIIe s. apr. J.-C. ;* **2011/08/20; 2012/09/27**</dc:coverage>
<dc:rights>*domaine public*</dc:rights>
<dc:rights>*LIMC-France*</dc:rights>



Cliché: A.-V. Szabados

Figure 15 : Exemple d'application de dublin Core sur une statue

Dans le cas de cette statue pourraient être privilégiées, soit les informations relatives au document numérique – l'enregistrement – traitant de l'objet (en caractères gras dans l'exemple), soit celles qui concernent l'œuvre en soit, ou encore le thème représenté.

Ici, les balises « dc:date » reçoivent des notions différentes sans les différencier, en l'occurrence les périodes de fabrication et de modification de la statue (IIe s. apr. J.-C. ; Empire romain ; XVIIe -XVIIIe s. apr. J.-C.), la date de création (2011/08/20) et la date de modification de l'enregistrement (2012/09/27).

On aurait également pu ajouter la date de la découverte de l'objet lors de la fouille archéologique, ou encore celle de son entrée au Louvre.

Francuccio Francucci, qui l'a rénovée et complétée, est proposé comme dc:creator, ainsi que le terme inconnu, qui pourrait être automatiquement extrait du champ « créateur de l'objet » (artiste antique) de la ressource numérique d'origine. L'auteur de l'enregistrement numérique – l'équipe LIMC-France – pourrait également être le dc:creator.

Quant à la balise dc:coverage (couverture), elle mêle plusieurs informations temporelles et géographiques, la notion de couverture géographique pouvant concerner les lieux de création et de trouvaille de l'objet aussi bien que ses divers lieux de conservation, collections passées et actuelles.

Si l'on se limite à la statue antique, il est également impossible, avec dc:title et dc:description, de distinguer les divers états de la statue et les deux identifications : Minerve et Rome.

Le choix des données à insérer dépendant fortement du contexte de production et d'utilisation ou de réutilisation des données, la nature et la granularité de l'information sur le document peuvent être bien différentes dans les métadonnées d'une photographie d'une banque d'images généraliste et dans celles, par exemple, d'une ressource numérique élaborée par des spécialistes de la statuaire antique. L'éventail des éléments couramment envisagé par les spécialistes de l'étude des objets culturels est ici réduit. Les notions retenues sont mises au même niveau, dans le schéma de métadonnées DC. Les requêtes sur cette notice sélectionneront bien l'enregistrement demandé mais la restitution de l'information sera-t-elle détaillée assez précisément pour être utilisée par l'internaute ou par un autre système informatique ?

Si le référentiel de métadonnées DC est adapté aux informations sur la ressource numérique elle-même et peut rassembler une sélection d'éléments pertinents pour des besoins particuliers, par exemple pour un entrepôt OAI ou pour des requêtes posées lors de recherches généralistes, il faudrait recourir à des standards développés pour des domaines spécifiques aux GLAM **(Gallery Library Archive Museum)** afin d'élaborer des ressources numériques ou des schémas de métadonnées plus riches sémantiquement et mieux adaptés à ce type de notions [27]. L'ontologie CIDOC CRM qu'on va détailler par la suite permettrait de modéliser ces connaissances et de restituer des données en tenant compte de l'évolution de l'œuvre, de son parcours, de son contexte historique et de son environnement culturel.

2.3.2 CDWA LITE

Le CDWA (Categories for the Description of Works of Art (CDWA), (Catégories pour la Description des Objets d'Art en français) décrit le contenu des bases de données artistiques en articulant un cadre conceptuel pour la description et l'accès à l'information sur les œuvres d'art, l'architecture, la culture matérielle, les groupes et collections d'œuvres et les images connexes. Le CDWA fournit donc un cadre pour la cartographie des systèmes d'information existants et qui peut être développé dans un environnement ouvert.

CDWA Lite est un schéma XML qui décrit les principaux enregistrements d'œuvres d'art et de culture matérielle basés sur les CDWA et la norme de contenu Cataloguing Cultural Objects (CCO). Les enregistrements CDWA Lite sont destinés à la contribution aux catalogues collectifs et autres référentiels à l'aide du protocole de récolte Open Archives Initiative (OAI)/

En outre, les discussions au CDWA identifient les ressources de vocabulaire et les pratiques descriptives résidants dans différents systèmes à la fois plus compatibles et plus accessibles. L'utilisation du cadre CDWA contribuera à l'intégrité et à la longévité des données et les rendra relativement plus facilement exploitables. Surtout, il contribuera à donner à l'utilisateur final un accès cohérent et fiable à l'information, quel que soit le système dans lequel il réside [28].

Le CDWA Lite est un schéma XML pour décrire les enregistrements de base des œuvres d'art et de la culture matérielle basée sur les catégories pour la description des œuvres d'art et le catalogage des objets culturels, c'est un guide à la description des objets culturelles et de leurs images.

Il est basé aussi sur les éléments de données et les directives dans les Catégories pour la description des travaux de l'art, un cadre pour documenter et organiser des informations sur les

œuvres culturelles et images. La spécification recommande l'utilisation de lignes directrices de CCO pour aider à la sélection, à la commande, et formatage des données utilisées pour remplir ses éléments [29].

Cette initiative basée sur les normes est née d'un besoin identifiable dans la communauté muséale pour un modèle plus efficace et durable pour contribuer aux collections et aux catalogues syndicaux et aux référentiels numériques. L'équipe qui a développé CDWA Lite a reconnu l'absence de structure de données pour des œuvres culturelles uniques avec un format technique pour exprimer ces données dans un format lisible par machine

En outre, les membres qui ont conçu le CDWA Lite ont réalisé qu'une solution était nécessaire pour éliminer la surcharge qui est généralement associée en contribuant aux catalogues syndicaux; assurer une méthode pour pouvoir fournir des informations actualisées et précises sur les œuvres accessibles dans l'environnement en ligne; promouvoir l'idée que l'intégrité et la précision des données devraient se produire à la source primaire ou au référentiel de la collection; et créer un mécanisme pour ramener les utilisateurs à une ressource dans son environnement natif.

CDWA Lite est composé de 22 éléments (tableau 2), dont 19 sont pour les métadonnées descriptives ; seuls 9 éléments sont requis [29]. Les éléments reflètent la documentation descriptive de base traditionnellement capturée sur des œuvres dans des collections du patrimoine culturel. Une caractéristique unique de CDWA Lite est qu'il crée une division entre les éléments d'affichage et d'indexation, ce qui est conforme aux recommandations du catalogage d'objets culturels.

CCO recommande que certaines données d'affichage soient encapsulées pour la présentation en pensant à l'utilisateur final. Cela pourrait impliquer concaténer des valeurs de divers champs ou supprimer certaines informations sensibles ou données administratives à des fins locales, afin de réaliser des informations descriptives pour l'utilisateur final. En outre, les champs d'affichage permettent l'expression de l'incertitude ou ambiguïté, commune aux informations artistiques.

Les éléments d'indexation, en revanche, fournissent valeurs traditionnellement issues de vocabulaires contrôlés ou autorités, ce qui assure la cohérence et l'exactitude avec une récupération plus efficace. Avec des éléments d'indexation, CDWA Lite permet aux attributs d'avoir un URI (source de termes et ID de source de termes), qui crée l'occasion d'identifier un terme dans le contexte plus large d'un vocabulaire contrôlé.

Un exemple d'application de CDWA Lite peut être décrit en regardant un tableau du J. Paul La collection du Getty Museum, qui a été récoltée selon CDWA Lite de la bibliothèque numérique ARTstor,comme illustré à la figure 9.

Object/Work Type	Display Creation date
Title	Indexing date
Display creator	Location /repository
Indexing creator	Indexing subject
Display measurment	Classification
Indexing Measurement	Description / descriptive note
Display Material /technique	Inscriptions
Indexing material. technique	Related Work
Display state /Edition	Rights for work
Style	Record
Culture	Ressources

Tableau 2 : Eléments du CDWA lite



Image Information	
Creator	Titian (Tiziano Vecellio) (Italian, about 1487 - 1576)
Culture	Italian
Title	Portrait of Alfonso d'Avalos, Marchese del Vasto, in Armor with a Page
Work Type	Paintings
Date	probably January - February 1533
Material	Oil on canvas
Measurements	Unframed: 110 x 80 cm (43 5/16 x 31 1/2 in.)
Repository	The J. Paul Getty Museum at the Getty Center 2003.486
Related Item	http://www.getty.edu/art/gettyguide/artObjectDetails?artobj=252638
Subject	Commanding Officers Alfonso d'Avalos, Marchese del Vasto
Collection	The Image Gallery
Source	Data From: J. Paul Getty Museum
Rights	For permission to reproduce images for uses not covered by the Terms and Conditions, please contact Rights and Reproductions, Registrar's Office, The J.Paul Getty Museum http://www.getty.edu/legal/image_request.html
Download Size	1024,1024

Figure 16 : Eléments descriptifs du tableau du J. Paul La collection du Getty Museum

Cette peinture contient une description exhaustive informations dans la collection du J. Paul Getty Museum système de gestion de l'information. Cependant, Le schéma CDWA Lite n'est pas destiné à recréer tous les éléments descriptifs d'une œuvre, mais plutôt servir comme un ensemble minimal d'informations nécessaires pour faciliter l'accès à une ressource dans un environnement « syndical ».

Dans cette peinture une quantité limitée d'informations a été mise à disposition par l'organisation ARTstor qui construit et distribue la bibliothèque numérique. On peut bien voir dans la figure 17 que les seul les attributs axés sur le créateurs été abordés à savoir son nom, son gendre, date de naissance et date de décès…etc . Sans pour autant avoir de vraies informations qu'on peut qualifier de second niveau, telles que les relations de ce créateur avec d'autres ressources humaines, d'autre entités culturelles ou même d'autres institutions.

```
<cdwalite:displayCreator> Titian (Tiziano
Vecellio) (Italian, about 1487 - 1576)
</cdwalite:displayCreator>
<cdwalite:indexingCreatorSet>
<cdwalite:nameCreatorSet> <
cdwalite:nameCreator type=''personalName''
termsource=''ULAN'' termsourceID=''
ulan500031075"> Titian </
cdwalite:nameCreator>
<cdwalite:nameCreatorSet>
<cdwalite:nameCreatorSet> <
cdwalite:nameCreator type=''personalName''
termsource=''ULAN''
termsourceID=''ulan500031075"> Vecellio,
Tiziano </cdwalite:nameCreator>
<cdwalite:nameCreatorSet>
<cdwalite:nationalityCreator>Italian</
cdwalite:nationalityCreator>
<cdwalite:vitalDatesCreator
birthdate=''1487'' deathdate=''1576"> about
1487 - 1576 </cdwalite:vitalDatesCreator>
<cdwalite:genderCreator> male </
cdwalite:genderCreator>
<cdwalite:roleCreator termsource=''AAT''
termsourceID=''aat300025136">painter </
cdwalite:roleCreator>
</cdwalite:indexingCreatorSet>
</cdwalite:indexingCreatorWrap>
```

Figure 17 : Application de CDWA lite tableau du J. Paul La collection du Getty Museum

2.3.3 CIDOC CRM

C'est une ontologie qui représente la sémantique sous-jacente des structures de la documentation du patrimoine culturel et un modèle de référence est utilisé pour représenter les collections afin d'améliorer le partage d'information sur ces collections et ces entités.

Une ontologie est la formalisation des connaissances, elle représente les concepts fondamentaux d'un domaine d'information et les relations qui les unissent.

Dans le domaine du patrimoine culturel ces concepts fondamentaux sont les objets (matériau, décor, inscriptions), leur création et leur évolution (conservation, modifications qu'ils ont subies etc.), leurs intervenants, leur localisation, leur documentation [30].

On peut dire que le CIDOC CRM est une ontologie empirique, ce qui veut dire qu'elle est basée sur la documentation des modèles et des pratiques d'institutions et organismes culturels.

Cela permet en effet d'interpréter les descriptions produites par les musés et nous donne une explication partagée de la sémantique du patrimoine culturel [31].

Elle a fait l'objet en 2006 d'une normalisation auprès de l'organisation internationale de normalisation (ISO) sous la référence ISO 21127. En décembre 2014, est parue une nouvelle version basée sur la version 5.0.4 du CIDOC CRM.

Ce modèle conceptuel de référence signifie deux choses

- Il est général (cependant, il peut être spécifié par des extensions précisant certains concepts).
- Il est indépendant de toute implémentation technique. En effet, la conception d'une représentation des connaissances ne doit pas être basée sur ou dépendante d'une technologie particulière. Toutefois, il est généralement employé avec le RDF (Resource Description Framework), le standard du Linked Data.

Le CIDOC CRM n'est pas prescriptif, il ne dicte pas une structure commune de données (pas de champs ou de valeurs obligatoires). Il ne se préoccupe pas des différentes terminologies utilisées par les institutions culturelles, tout en permettant de "brancher" des terminologies locales.

L'ontologie CIDOC CRM, qui émane du monde des musées, pourrait couvrir les informations attachées à un document culturel, ou portées par celui-ci, en les « contextualisant » et en évitant les ambiguïtés précédemment présentées. Elle fournit en effet des définitions et un modèle pour décrire les notions et les relations permettant de documenter le patrimoine culturel [32].

La définition de cette norme ISO rappelle son usage pour l'interopérabilité des données, signale l'exigence de qualité de l'information traitée – notamment que le CRM est destiné « à supporter le niveau de détail et de précision exigés par des professionnels des musées et des chercheurs dans le domaine » – et précise le périmètre de son application : sont concernées les informations relatives au patrimoine culturel (Cultural Heritage), matériel et immatériel, à savoir « tout type

de matériel rassemblé et exposé par des musées et des institutions apparentées », y compris « des collections, des sites et des monuments en rapport avec des domaines tels que l'histoire sociale, l'ethnographie, l'archéologie, les beaux-arts et les arts appliqués, l'histoire naturelle, l'histoire des sciences et de la technologie. ». La définition souligne également la capacité du modèle à prendre en compte les « informations contextuelles (c'est-à-dire historiques, géographiques et théoriques qui donnent aux collections de musée leur signification culturelle et leur valeur). »

Ce dernier point et la large couverture du CRM permettent de l'envisager comme moyen de rassembler, de façon normalisée, des informations et des données sur des « objets » culturels aussi divers qu'une fouille archéologique, une pratique culturelle attachée à des objets ethnologiques (la coiffe de plume d'un amérindien et sa symbolique), un personnage historique et les événements qui lui sont liés (Napoléon…), des courants de pensée ou artistiques et leurs acteurs comme le groupe des artistes ayant participé en 1913 à l'Armory Show de New York et l'impact décisif de l'événement sur l'art américain du XXe siècle, ou même des phénomènes indicibles entre deux expressions artistiques comme l'influence du cabaret le Bœuf sur le toit sur l'introduction du jazz dans la musique française.

L'ontologie définit environ cent « Classes » (codées E…), qui correspondent à des notions, des concepts, et près de cent cinquante « Propriétés » (P…) qui sont des interactions entre les Classes (prédicats exprimés sous forme de verbe) [33].

Exemple :

Par exemple, l'information d'une « statue est en porphyre » pourrait être reformulée : Classe *E24_Physical_ManMade_Thing = statue* | *Propriété P45_consists_of* | *Classe E57_Material = porphyre*

La granularité de l'information est assurée par une organisation hiérarchique des Classes, les définitions étant de plus en plus de précises au fil des « sous-classes ». La norme précise également les associations Classes/Propriétés (concepts/verbes) possibles, sachant qu'une sous-classe hérite des propriétés de ses classes parentes. Plusieurs de ces interactions et relations sont schématisées dans une série de diagrammes disponibles sur le site du CIDOC.

Dans ce sens, la figure 18, ci-dessous montre une hiérarchie simplifiée des classes corps CIDOC CRM.

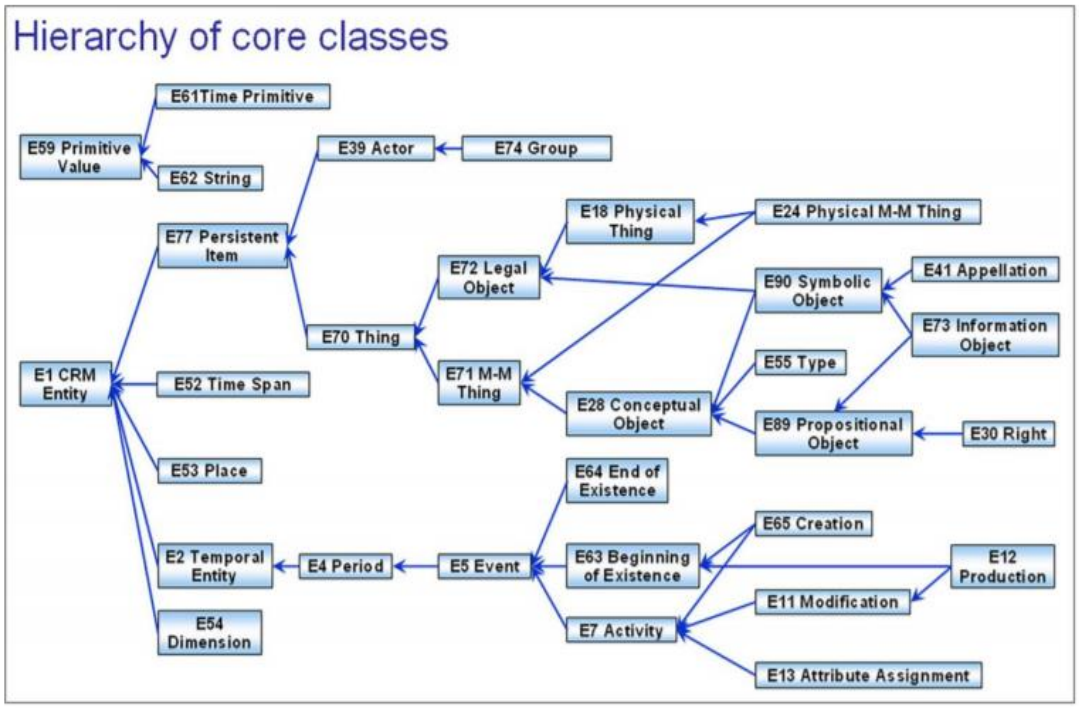


Figure 18 : Hiérarchie simplifiée des classes corps CIDOC CRM

À ces notions-clés s'ajoutent d'autres éléments permettant de traiter notamment les dimensions et l'état de l'objet, les droits, la documentation, la gestion de collections, etc. Le modèle est extensible et d'autres notions peuvent être librement ajoutés afin de couvrir des besoins particuliers, à condition de respecter les règles de l'ontologie, notamment l'héritage de la hiérarchie. Dans la mesure où l'ontologie a acquis le statut de norme ISO, et grâce à l'ensemble de ses définitions, le document de référence devient un outil pour documenter les applications fondées sur son utilisation [33]. Ci-dessous dans la figure 19 on trouve une illustration de cette ontologie sur la même statue de minerve.

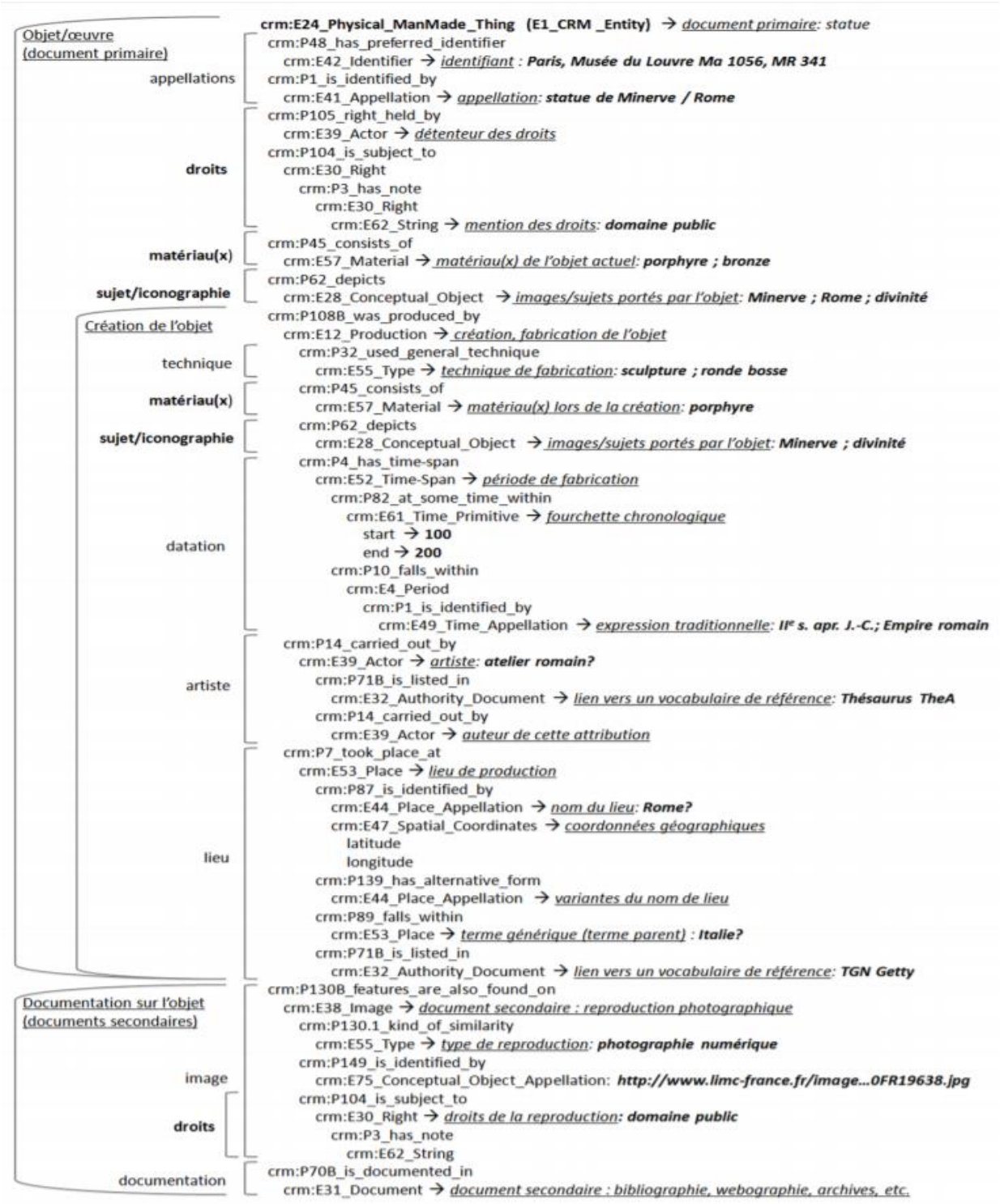


Figure 19 : Application cidoc crm de la statue de Minerve au Louvre

2.3.4 Fiches d'indexation minimales du conseil de l'Europe

C'est un modèle de données basé sur des données récupérées des différents types de patrimoine culturel qu'ils soient matériels ou immatériel. Dans le cadre du plan européen pour l'archéologie du Conseil de l'Europe [34], parmi les actions principales de ce programme, figurait l'élaboration d'une fiche minimale pour l'indexation des sites archéologiques en trois sortes de fiches :

- La fiche d'indexation minimale des monuments historiques et des édifices du patrimoine architectural.
- La fiche internationale d'indexation minimale pour les sites archéologiques.
- La fiche d'indexation des objets

L'objectif principal de ces fiches est de permettre de classifier les édifices et les sites par nom, localisation, genre de fonction, date, architecte ou client, matériaux de construction et techniques, état de conservation, statut juridique de protection …etc.

Fiches d'indexation minimales pour les monuments historiques et des édifices du patrimoine architectural

Elle a été créée en 1992 pour identifier les catégories d'information nécessaires à l'enregistrement des édifices d'intérêt historique et architectural, conçue de manière à permettre le renvoie à une information plus détaillée au sujet d'un édifice.

Les quatre rubriques obligatoires d'Indexation Minimale des Monuments Historiques et des Édifices du Patrimoine Architectural sont : Nom et numéro de référence de l'édifice, les autres sont optionnelles et peuvent varier selon la nature de l'enregistrement et les exigences spécifiques de l'institution.

La Figure 20, ci-dessous, présente donc un schéma de la structure de la fiche minimale pour monuments historiques.

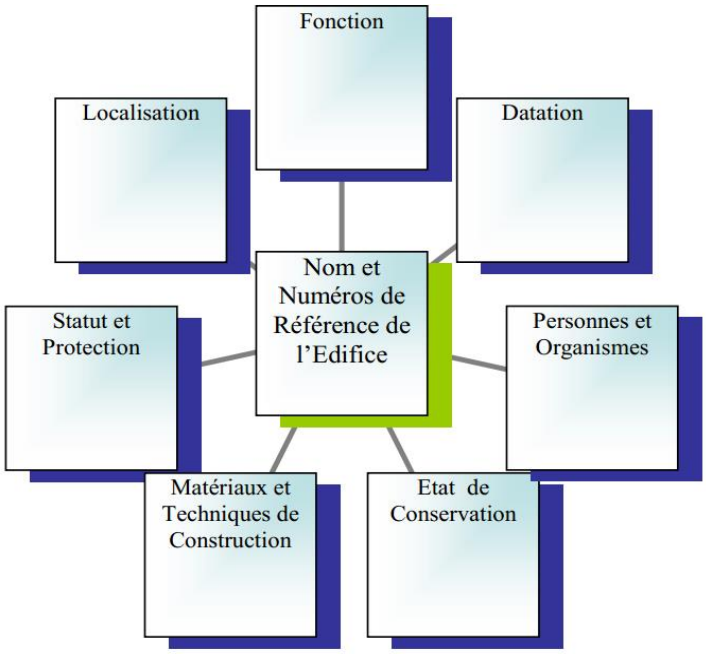


Figure 20 : Schéma de la structure de la fiche minimale pour monuments historiques

Chaque rubrique contient une multitude de métadonnées la décrivant, ces métadonnées sont représentées comme suite :

1. *Nom de l'édifice et références*

1.1 Nom de l'édifice : Texte libre permettant d'identifier l'édifice par son nom ou ses appellations usuelles. Il s'agit moins d'un champ d'indexation que d'édition, à utiliser pour compléter l'information donnée en localisation administrative (2.1), en adresse (2.2) et en fonction de l'édifice (3.1). (Alphanumérique, texte libre, multivaleur, facultatif)

1.2 Numéro unique de référence : Numéro propre à chaque édifice, qui permet d'identifier l'œuvre de façon univoque et de le rechercher à l'intérieur d'un répertoire. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

1.3 Date de rédaction : Date de rédaction de la notice qualifie les informations indexées. Cette date est modifiée lorsque la notice est remise à jour. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

1.4 Organisme auteur de la notice : Nom de l'organisme ou de l'institution auteur de la notice. Il permet d'authentifier la provenance de chaque notice. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

1.5 Renvoi à d'autres fiches du même fichier (fiches reliées) : Numéros éventuels de renvoi à d'autres fiches du même fichier, par exemple le renvoi d'une fiche "partie d'édifice" ou vice-versa. (Alphanumérique, multivaleur, facultatif)

1.5.1 Type de la relation : Ce champ indique le type de relations entre fiches reliées, comme par exemple une relation hiérarchique de type "fiche mère-fiche fille" reliant une partie d'édifice à un édifice. (Alphanumérique, multivaleur, facultatif)

1.6 Renvoi aux fiches correspondantes au décor porté (objets immeubles par nature ou par destination). Ce champ permet de faire référence aux fiches objets liées à l'édifice, par exemple les vitraux, les peintures murales, le décor sculpté, etc. (alphanumérique, multivaleur, facultatif)

1.7 Renvoi à la documentation : Référence de la documentation associée à la notice. On peut distinguer:

- **1.7.1** Renvoi à la documentation photographique (alphanumérique, multi valeur, facultatif)
- **1.7.2** Renvoi à la documentation graphique (alphanumérique, multivaleur, facultatif)
- **1.7.3** Renvoi aux sources textuelles (archives)(alphanumérique, multivaleur, facultatif)
- **1.7.4** Renvoi à la documentation bibliographique (alphanumérique, multivaleur, facultatif)

1.8 Renvoi aux fiches archéologiques : Pour relier, par exemple, des notices de fouilles aux structures encore debout sur le même site. (Alphanumérique, multivaleur, facultatif)

1.9 Renvoi aux fiches liées à l'environnement afin d'associer la fiche monument avec d'autres fiches de fichiers détaillant par exemple la protection du site, du secteur ou de la localité au titre de l'environnement. (Alphanumérique, multivaleur, facultatif)

2. *Localisation :*

2.1 Localisation administrative

2.1.1 Etat : l'état général de l'entité culturelle (alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

2.1.2 Division géopolitique : A utiliser pour indiquer les divisions géographiques et politiques des Etats membres. (Alphanumérique, monovaleur, facultatif)

2.1.3 Subdivision géographique : Selon la structure administrative de chaque état membre, il peut être nécessaire d'utiliser plusieurs valeurs. (Alphanumérique, multivaleur, facultatif)

2.1.4 Sous-subdivision géographique : Selon la structure administrative de chaque état membre, il peut être nécessaire d'effectuer plusieurs entrées pour ce champ. (Alphanumérique, multivaleur, facultatif)

2.2 Adresse

2.2.1 Désignation postale : Seulement si elle est différente du nom usuel noté en 1.1. (Alphanumérique, monovaleur, facultatif)

2.2.2 Numéro de la voie (alphanumérique, monovaleur, facultatif)

2.2.3 Nom de la voie et type de voie (alphanumérique, monovaleur, facultatif)

2.2.4 Toponyme, secteur urbain ou lieu-dit : A utiliser pour les noms de hameaux, écarts, quartiers ne correspondant pas à une entité administrative. (Alphanumérique, monovaleur, facultatif)

2.2.5 Ville ou village : A n'utiliser que si le nom diffère de la subdivision ou de la sous-subdivision administrative. (Alphanumérique, monovaleur, facultatif)

2.2.6 Code postal (alphanumérique, monovaleur, facultatif)

2.3 Références cartographiques : Ces champs sont utilisés pour indiquer en coordonnées cartésiennes à deux dimensions la localisation spatiale de l'édifice par rapport au système de projection cartographique utilisé par l'état membre.

2.3.1 Coordonnée X : latitude (numérique, multivaleur, facultatif)

2.3.2 Coordonnée Y : longitude (numérique, multivaleur, facultatif)

2.3.3 Système cartographique : Utilise (par ex. UTM, Lambert, GPS, Ordnance Survey) (numérique, monovaleur, facultatif)

2.4 Références cadastrales : Ce champ permet d'indiquer les références des parcelles cadastrales concernées. (Alphanumérique, multivaleur, facultatif)

3. *Fonction et catégorie architecturale*

3.1 Fonction de l'édifice : Type précis de l'édifice défini par sa fonction (ex.: église, école, ferme). La zone peut être répétée pour tenir compte de fonctions successives dans le temps. Un

contrôle du vocabulaire par thésaurus est souhaitable (Alphanumérique, multivaleur, obligatoire).

3.1.1 Dates : Dates de la fonction mentionnée en 3.1. (Alphanumérique, multivaleur, facultatif)

3.2 Catégorie : La catégorie place l'édifice dans un regroupement fonctionnel, tandis que le type spécifique le définit avec précision. Ex : architecture religieuse (catégorie) église paroissiale (fonction). Un contrôle du vocabulaire par thésaurus est souhaitable. (Alphanumérique, multivaleur, obligatoire)

4. Datation

4.1 Datation par période : Un contrôle du vocabulaire par thésaurus est souhaitable. Ex : paléolithique. (Alphanumérique, multivaleur, facultatif)

4.2 Datation par siècles : Ex : 17e siècle (alphanumérique, multivaleur, facultatif)

4.3 Datation par intervalle de dates

4.3.1 Entre : début de la date

4.3.2 Et : fin de la date

Ex : entre 1640 et 1660 (numérique, multivaleur, facultatif)

4.4 Date ponctuelle : Ex : 1652 (numérique, multivaleur, facultatif)

5. ***Personnes et organismes associés à l'histoire de l'édifice***

5.1 Personnes ou organismes : Nom, prénom, ou nom de l'organisme. (Alphanumérique, multivaleur, facultatif)

5.2 Rôle dans l'histoire de l'édifice : Le rôle peut se définir par rapport à l'édifice : sa construction, son remaniement, sa démolition, etc. Ex : architecte. (Alphanumérique, multivaleur, facultatif)

5.2.1 Dates : Dates liées au rôle des personnes ou organismes dans l'histoire de l'édifice, ex : 1652. (Alphanumérique, multivaleur, facultatif)

6. *Matériaux de construction et techniques*

6.1 Matériaux et techniques du gros œuvre : Par gros œuvre on entend les murs extérieurs à l'exclusion des murs de refend, cloisons, et parties horizontales. Un contrôle du vocabulaire par thésaurus est souhaitable. (Alphanumérique, multivaleur, facultatif)

6.2 Matériaux de couverture : Matériaux de toiture uniquement. Un contrôle du vocabulaire par thésaurus est souhaitable. (Alphanumérique, multivaleur, facultatif)

7. *Etat de conservation*

7.1 Etat général de conservation : Sert à noter l'état d'intégrité de l'édifice (démoli, à l'état de vestiges, remanié ou restauré), et son état (bon, assez bon, assez mauvais, ou mauvais). Un contrôle du vocabulaire par thésaurus est souhaitable. (Alphanumérique, multivaleur, facultatif)

8.0 *Protection/statut juridique*

8.1 Type de protection (alphanumérique, multivaleur, facultatif)

8.2 Niveau de protection (alphanumérique, multivaleur, facultatif)

8.3 Date de protection (alphanumérique, multivaleur, facultatif)

9. *Notes*

9.1 Commentaire historique : Ce champ facultatif permet de rédiger une brève notice permettant de préciser et de relier les informations relevées dans la fiche d'indexation en les situant dans un ordre chronologique. Ce champ n'est pas obligatoire mais il est particulièrement utile si les fonctionnalités du système informatique utilisé ne permettent pas d'associer aisément les informations des zones 3 et 5.

Fiches d'indexation minimales pour les sites archéologiques

Elle a été créée en 1995 pour identifier les catégories nécessaires à la documentation du patrimoine immobilier archéologique, conçue de manière à permettre d'enregistrer les catégories minimales d'information requises pour arriver à une évaluation raisonnablement complète.

La fiche d'indexation minimale a été élaborée sur la base d'un cadre théorique comportant quatre éléments :

- ✓ **Pièce archéologique**

Une pièce archéologique est l'élément de base dont traite la base de données. Ces pièces peuvent être des fragments de poteries ou des outils en pierre ; des "écofaits" tels que graines ou ossements ; des éléments de construction tels que murs ou trous faits par des pieux ; ou des monuments comme des temples ou des habitations. L'importance qui sera donnée à l'article archéologique et les attributs enregistrés dans la notice dépendront des objectifs de la base de données.

- ✓ **Groupement archéologique**

Un groupement archéologique est un ensemble de pièces archéologiques formant une construction mentale de haut niveau. Ces groupements d'articles ont un plus grand pouvoir interprétatif ou descriptif que les pièces individuelles. On pourrait prendre comme exemple les écailles de silex, les outils et le noyau formant un nodule de silex après sa remise en état, ou bien les tessons d'un vase de céramique. Des objets archéologiques dissemblables peuvent également être groupés ensemble : tumulus, caveau et fosse pour les articles de construction ; bijouterie, outils de pierre et poterie.

- ✓ **Espace physique**

L'espace physique est une division du monde réel dans laquelle se trouvent les pièces archéologiques. Cet espace peut prendre n'importe quelles dimensions ou formes et peut se définir de n'importe quelle manière qui convienne au travail archéologique. Les espaces physiques utilisés par exemple dans une notice de fouilles désigneraient les contextes dégagés, et dans un inventaire de site, des parcelles ou terrains sous protection statutaire. Les espaces physiques ne doivent pas se chevaucher. Toutefois, des considérations se rapportant à la mise en œuvre de ces dispositions, surtout lorsque les données sont imprécises ou inexactes, sembleraient requérir un assouplissement. Il est recommandé de ne le faire qu'exceptionnellement.

- ✓ **Groupement physique**

Un groupement physique est un ensemble d'espaces physiques plus étendus dans lesquels peuvent se trouver des articles et des groupements archéologiques. On pourrait citer comme exemple des terrains qui forment un monument sous protection statutaire, ou bien le groupement de niveaux de fouilles ou de contextes qui forment une fosse et son contenu. Il

n’est pas nécessaire qu’ils soient contigus, comme lorsque des segments d’un ensemble linéaire sont divisés par des intrusions modernes qui détruisent complètement l’archéologie.

Les relations entre les différents éléments sont gouvernées par les règles suivantes :

- Une pièce archéologique existe dans un ou plusieurs espaces physiques.
- Une pièce archéologique peut exister seule ou faisant partie d’un groupement ou de plusieurs groupements archéologiques.
- Un espace physique ne devrait pas empiéter sur d’autres espaces physiques, bien que cela paraisse être le cas, mais rarement, lorsque les données sont imprécises ou inexactes.

Le figure ci-après, numérotée 21, constitue donc un schéma de la fiche minimale pour le patrimoine archéologique

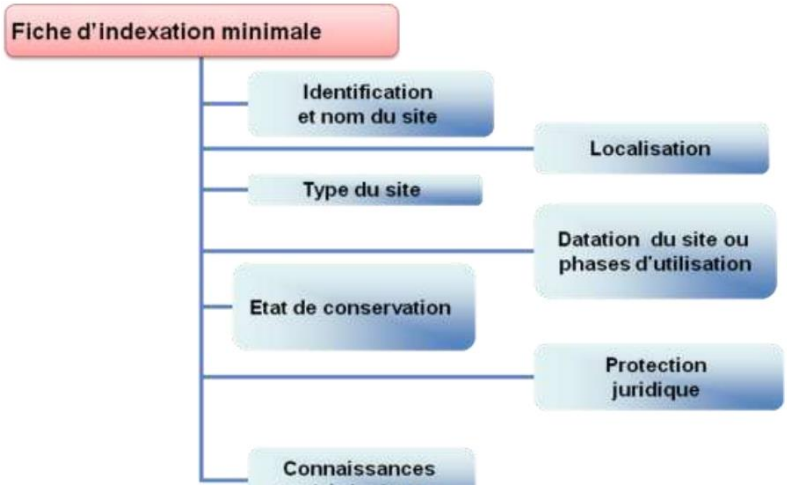


Figure 21 : Schéma de la fiche minimale pour le patrimoine archéologique

Ci-dessous la définition des sections, sous-sections et champs proposés dans la fiche minimale. Certaines rubriques sont obligatoires. D’autres sont facultatives et peuvent donc être ou non remplies suivant la pertinence des informations disponibles et les objectifs poursuivis par chaque organisme ou institution.

1. Identification et nom du site :

1.1 Numéro d'identification : Numéro ou combinaison de caractères identifiant de manière univoque chaque site inventorié par l'organisation dans sa base de données, par exemple 615649. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

1.2 Nom du site : Texte libre permettant d'identifier le site par son nom ou son appellation usuelle. (Alphanumérique, monovaleur, facultatif)

1.3 Date de rédaction et date de dernière mise à jour : Sous-section permettant d'indiquer la date de rédaction de la fiche et sa date de dernière mise à jour.

1.3.1 Date de rédaction : Date à laquelle la fiche a été rédigée. L'usage de la norme ISO pour les dates est recommandé, par exemple 1986-06-22. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

1.3.2 Date de dernière mise à jour : Dernière date à laquelle l'enregistrement a été créé ou modifié. L'usage de la norme ISO pour les dates est recommandé, par exemple 1993-07-12. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

1.4 Producteur de la référence : Nom de la personne ou de l'organisme responsable de l'enregistrement. Cette information permet d'établir la provenance de chaque fiche lors des échanges de données, par exemple Royal Commission on the Historical Monuments of England. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

1.5 Renvoi à d'autres fiches du même fichier : Cette sous-section permet des renvois à d'autres fiches du même fichier, par exemple pour indiquer une relation entre un site individuel et un ensemble, comme entre une maison et un habitat. Elle est facultative, et peut être répétée en tant que de besoin.

1.5.1 Numéro d'identification : Numéro ou combinaison de caractères identifiant de manière unique chaque enregistrement lié, par exemple SM97342. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

1.5.2 Type de la relation : Ce champ indique le type de relation entre fiches reliées, comme parexemple une relation hiérarchique de type "parent-enfant" reliant un complexe archéologique à un site individuel. Le qualificatif sera l'un des suivants : "fait partie de", "contient" ou "est en liaison avec". Dans le cas de l'enregistrement d'une maison, la relation à un habitat sera "fait partie de". Dans l'enregistrement de l'habitat, la relation à la maison sera

“contient”. La maison peut aussi avoir une relation “est en liaison” avec une autre maison appartenant au même groupe d’habitat. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

1.5.3 Producteur de la référence : Nom de la personne ou de l’organisme responsable de l’enregistrement, par exemple Sous-direction de l’archéologie. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

1.6 Renvoi aux collections et aux objets archéologiques : Cette sous-section permet de faire référence aux collections archéologiques provenant du site. Elle est facultative, et peut être répétée en tant que de besoin.

1.6.1 Numéro d’identification : Numéro ou combinaison de caractères identifiant de manière unique chaque collection ou objet relié au site, par exemple 57486. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

1.6.2 Producteur de la référence : Nom de la personne ou de l’organisme responsable de l’enregistrement,par exemple Musée des Antiquités Nationales. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

1.7 Renvoi à la documentation : Cette sous-section permet de faire référence aux sources documentaires, publiées ou non, associées au site. Elle est facultative, et peut être répétée autant que de besoin.

1.7.1 Numéro d’identification : Numéro ou combinaison de caractères identifiant de manière unique chaque document, par exemple DD27483. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

1.7.2 Type de document : Type de source associée au site. Un vocabulaire contrôlé est souhaitable, par exemple source photographique, graphique, écrite non publiée, bibliographique, électronique, cartographique. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

1.7.3 Producteur de la référence : Nom de la personne ou de l’organisme responsable de l’enregistrement de la documentation associée, par exemple service régional de l’Inventaire Général. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

1.8 Renvoi à des opérations archéologiques : Cette sous-section permet de relier, par exemple, les fiches des opérations de fouille ou de relevés dont le site a fait l’objet. Lorsque plusieurs opérations ont eu lieu sur un même site, par exemple une prospection suivie d’une fouille, on remplira plusieurs entrées séparées. Cette sous-section est facultative, et peut être répétée en tant que de besoin.

1.8.1 Numéro d'identification : Numéro ou combinaison de caractères identifiant de manière unique chaque enregistrement d'opération reliée au site, par exemple FP1995/6. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire).

1.8.2 Type d'opération : Nature de l'opération, par exemple fouille, prospection. Pour plusieurs opérations, utilise des entrées séparées. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire).

1.8.3 Date de début de l'opération : Date à laquelle l'opération a commencé. L'usage de la norme ISO pour les dates est recommandé, par exemple 1896-06-04. (Alphanumérique, monovaleur, facultatif).

1.8.4 Date de fin de l'opération : Date à laquelle l'opération s'est terminée. L'usage de la norme ISO pour les dates est recommandé, par exemple 1896-07-30 (alphanumérique, monovaleur, facultatif).

1.8.5 Producteur de la référence : Nom de la personne ou de l'organisme responsable de l'enregistrement de l'opération, par exemple service des fouilles. (Alphanumérique, monovaleur, facultatif).

2.Localisation : Cette section obligatoire définit la localisation spatiale du site à l'aide d'informations administratives, postales, géographiques et cartographiques.

Toute combinaison de sous-sections définies ci-dessous peut être utilisée pour identifier la localisation d'un site. Il est possible d'utiliser plusieurs types de sous-sections pour préciser la localisation. Il est à noter qu'il est obligatoire de renseigner au moins une sous-section, mais qu'aucune n'est obligatoire.

2.2.1 Localisation administrative : Sous-section facultative qui peut être répétée si besoin est.

2.2.1.1 Pays ou nation : Nom du pays ou de la nation où le site est situé, par exemple France. (Alphanumérique, monovaleur, facultatif (obligatoire pour les échanges de données entre pays))

2.2.1.2 Division géopolitique : A utiliser pour indiquer la division géographique ou politique du pays où le site est localisé, comme par exemple les régions en France, les LŠnder en Allemagne, les comtés en Grande-Bretagne. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

2.2.1.3 Subdivision administrative : A utiliser pour indiquer les autres subdivisions administratives dont relève le site. Selon la structure administrative de chaque pays, il peut être nécessaire d'indiquer plusieurs valeurs, comme en France où la région est divisée en départements, arrondissements, cantons et communes. Exemple: Morbihan, Lorient, Quiberon, Carnac nécessiterait quatre entrées. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire).

Il est à noter qu'il est essentiel de distinguer les différents niveaux de subdivisions administratives dont dépend le site, par exemple locales ou régionales.

2.2.2 Localisation du site : Sous-section facultative permettant une description en texte libre de la localisation du site.

2.2.2.1 Description de la localisation : Champ en texte libre permettant une courte description de la situation afin d'aider à l'identification sur le terrain, et de fournir une localisation plus précise dans les territoires peu peuplés ou mal cartographiés. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

2.2.3 Adresse : Permet l'enregistrement de la localisation de site par une adresse, essentiellement en milieu urbain. Cette sous-section est facultative et peut être répétée si besoin est. Tous les champs sont facultatifs, mais au moins l'un d'entre eux doit être renseigné.

2.2.3.1 Désignation postale : A utiliser pour l'adresse postale du site. (Alphanumérique, monovaleur, facultatif)

2.2.3.2 Numéro dans la voie : A utiliser pour le numéro du site dans la rue, par exemple 27 bis. (Alphanumérique, monovaleur, facultatif)

2.2.3.3 Nom de la voie : A utiliser pour le nom de la rue.(Alphanumérique, monovaleur, facultatif)

2.2.3.4 Localité : A utiliser pour les unités non administratives, comme les noms de hameaux ou les lieux dits, par exemple Pincevent. (Alphanumérique, monovaleur, facultatif)

2.2.3.5 Commune : A utiliser pour le nom de la ville ou du village. (Alphanumérique, monovaleur, facultatif)

2.2.3.6 Code postal, ou tout autre code national d'identification postale : Utiliser ce champ pour le code servant à l'adressage, par exemple 67000,K1A OC8. (Alphanumérique, monovaleur, facultatif)

2.2.4 Références cadastrales : Certains pays utilisent un système attribuant des numéros à chaque parcelle de terrain. Les références des parcelles cadastrales contenant le site peuvent être indiquées ici. Cette sous-section est facultative et peut être répétée en tant que de besoin.

2.2.4.1 Référence cadastrale : Permet le renvoi au système de numérotation des parcelles utilisé dans certains pays, par exemple 941\278. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

2.2.5 Références cartographiques : Sous-section facultative à utiliser pour indiquer en coordonnées cartésiennes la localisation spatiale du site par rapport au système de projection cartographique utilisé par le pays. Les champs 2.2.5.5 jusqu'à 2.2.5.8 peuvent être répétés pour chaque série de coordonnées.

2.2.5.1 Identifiant : Identifiant de l'entité cartographique qui va être décrite, lorsque le site est formé de plusieurs entités de ce type. Par exemple polygone 1. (Alphanumérique, monovaleur, facultatif)

2.2.5.2 Système de référence utilisé : Par exemple UTM, Lambert, GPS, Ordnance Survey. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

2.2.5.3 Topologie : Indique si les coordonnées sont relatives à un point, une ligne ou une aire, par exemple P, L, A. (alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

2.2.5.4 Précision : Permet d'indiquer la précision et la fiabilité des coordonnées cartographiques par exemple approximatives, centrées, etc. Un vocabulaire contrôlé est souhaitable. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

Les quatre champs suivants peuvent être répétés pour chaque coordonnée.

2.2.5.5 Numéro d'ordre : Lorsqu'un site archéologique est de forme linéaire ou polygonale, il peut être préférable d'entrer les coordonnées de plusieurs points plutôt que d'un seul, comme, par exemple, son point central. Ces points doivent alors être saisis dans l'ordre. C'est le numéro d'ordre du point qu'il faut indiquer ici pour chaque jeu de coordonnées, par exemple 1 pour un point, 1, 2 pour une ligne, 1, 2, 3 pour un polygone. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

2.2.5.6 Coordonnée Z : Valeur ou identifiant de la coordonnée, permet de localiser un site par rapport à un référentiel d'altitude, par exemple 250m au-dessus du niveau N.G.F. (alphanumérique, monovaleur, facultatif)

2.2.5.7 Coordonnée X : Valeur ou identifiant de la coordonnée, sur un axe est-ouest. (Numérique, monovaleur, obligatoire)

2.2.5.8 Coordonnée Y : Valeur ou identifiant de la coordonnée, sur un axe nord-sud. (Numérique, monovaleur, obligatoire)

2.3 Type : Cette section permet d'indexer un site à l'aide de critères descriptifs ou fonctionnels. Une entrée au moins est obligatoire, et doit être liée à celles de la section2.4 (Datation), par exemple villa/époque romaine. Un vocabulaire contrôlé est indispensable, comprenant le terme "inconnu". Cette section peut être répétée afin de rendre compte des changements survenus dans le temps.

2.3.1 Type du site : Terme d'indexation. Il s'agit normalement de l'interprétation de l'édifice par la fonction ou la forme, par exemple villa; ouvrage de terre linéaire. Un vocabulaire contrôlé est souhaitable. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

2.3.2 Catégorie du site : Grande catégorie fonctionnelle ou descriptive à laquelle le type appartient, par exemple habitat. Un vocabulaire contrôlé est souhaitable. En cas d'utilisation d'un thésaurus hiérarchisé, ce champ est facultatif. (Alphanumérique, monovaleur, facultatif)

2.4 Datation : Cette section obligatoire permet de donner des dates précises quand elles sont connues, ou des datations par intervalles ou périodes. Cette section peut être répétée. Toute entrée dans cette section doit être liée à une entrée dans la section 2.3. La sous-section 2.4.1 est obligatoire, mais toute combinaison de sous-sections définies ci-dessous peut être utilisée pour préciser la datation d'un site.

2.4.1 Période culturelle : Sous-section obligatoire permettant l'indexation du site en fonction de la période culturelle à laquelle il appartient.

2.4.1.1 Période culturelle : Période culturelle à laquelle appartient le site, ou une partie du site, par exemple Néolithique. Un vocabulaire contrôlé est souhaitable, contenant le terme "inconnu". (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

2.4.2 Siècle : Sous-section facultative permettant d'indiquer le siècle auquel le site, ou une partie du site, appartient.

2.4.2.1 Siècle : Ce champ ne convient que pour les sites des périodes historiques. Exemple : 17e siècle. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

2.4.3 Intervalle de dates : Sous-section facultative permettant d'indiquer les dates d'occupation du site, ou bien une période d'activité humaine particulière sur le site.

2.4.3.1 Entre : La date la plus ancienne, par exemple 1640. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

2.4.3.2 Et : La date la plus récente, par exemple 1660. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

2.4.4 Datation absolue : Cette sous-section facultative permet d'indiquer une datation précise obtenue à l'aide de sources documentaires (archives, inscription), ou d'une méthode scientifique. (Radiocarbone, dendrochronologie, etc.).

2.4.4.1 Datation : Date absolue attribuée au site, par exemple 1580-1410 Cal BC (HAR-1234). (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

2.4.4.2 Méthode : Permet d'indiquer par quelle méthode la datation a été attribuée au site, par exemple carbone-14, dendrochronologie. Un vocabulaire contrôlé est souhaitable. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

2.5 Etat de conservation : Cette section permet d'indiquer quel est l'état de conservation physique du site, et à quelle date cet état a été constaté. Elle est facultative et peut être répétée. Pour assurer un suivi de l'état de conservation du site, il peut être utile de conserver ces données dans le temps. Ceci permettra de noter toute atteinte ou destruction du site. Il peut être aussinécessaire, en fonction des missions de l'organisme, d'ajouter des champs concernant la gestion du site.

2.5.1 Etat de conservation : Ce champ rend compte de l'intégrité physique du site, par exemple intact, détruit, arasé, démoli, ruiné, remanié, restauré, inconnu, etc. Un vocabulaire contrôlé est souhaitable. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

2.5.2 Date de vérification : Date à laquelle l'état a été constaté. Nous recommandons l'utilisation de la norme ISO pour les dates, par exemple 1994-10-27. (Alphanumérique, monovaleur, facultatif)

2.6 Protection juridique : Section facultative permettant de préciser si l'édifice est protégé ou inscrit sur une liste, et si oui, le type de protection ou d'inscription, et la date à laquelle elle a été accordée. Cette section peut être répétée.

2.6.1 Type de protection : Indique le type de mesure de protection. Un vocabulaire contrôlé est souhaitable pour préciser le niveau de protection, par exemple classement Monument Historique, Patrimoine Mondial. (Alphanumérique, monovaleur, obligatoire)

2.6.2 Date de protection : Date à laquelle la protection a été légalement accordée. Nous recommandons l'utilisation de la norme ISO pour les dates, par exemple 1992-11-27. (Alphanumérique, monovaleur, facultatif)

2.6.3 Numéro d'identification : Numéro de référence de la mesure de protection, par exemple SSS147. (Alphanumérique, monovaleur, facultatif)

2.6.4 Producteur de la référence : Nom de la personne ou de l'organisme responsable de l'enregistrement. Ce champ est obligatoire si un numéro d'identification est indiqué. (Alphanumérique, monovaleur, facultatif)

2.7 Commentaire archéologique : Cette section facultative permet une description rapide du site en texte libre. (Alphanumérique, monovaleur, facultatif)

Fiches d'indexation minimales des objets culturels 'Object ID '

Cette fiche d'indexation a été élaborée pour servir de norme internationale applicable à l'information nécessaire à l'identification des objets culturels, en réponse à la menace posée par le commerce illicite du patrimoine mobilier. Elle est organisée en catégories et catégories supplémentaires comme montré par les deux catégories suivantes :

1. Catégories

1.1 Photographies : Les photographies sont d'une importance fondamentale pour l'identification et la récupération des objets volés. En plus des vues d'ensemble, photographier de près toutes les inscriptions, marques, dommages ou réparations.

1.2 Type d'objet : Il s'agit d'un terme ou d'une expression servant à décrire l'objet, comme, par exemple, masque, pendant d'oreille de guerrier. Pour la mise en œuvre d'Object ID dans un système automatisé, il est conseillé de faire en sorte que cette information puisse être récupérée au minimum sur deux niveaux (ex.: Niveau 1: poterie, Niveau 2: portrait de tête en forme de jarre).

1.3 Dimensions : La taille et le poids d'un objet, en précisant l'unité de mesure (ex.: 30,5 cm sur 30,5 cm sur 76 cm).

1.4 Matières et techniques : Les matières, techniques de fabrication, processus, ou méthodes utilisées pour créer un objet.

1.5 Inscriptions et marques : Les marques ou inscriptions qui se trouvent ou ont été appliquées sur les objets (par exemple une signature, une dédicace, un titre, un poinçon, l'indication du degré de pureté, le nom du propriétaire).

1.6 Date ou époque : Une indication de l'âge de l'objet, soit une date précise, soit un intervalle entre deux dates (ex.: 1872, 1527-1580), soit une période culturelle (ex.: bas âge du Bronze).

1.7 Fabricant : Le nom du fabricant d'un objet, soit le nom d'une personne, d'une société ou d'un groupe culturel.

1.8 Sujet : Ce qui est dépeint ou représenté sur l'objet (ex.: paysage, champ de bataille, femme tenant un enfant).

1.9 Titre : Titre assigné à un objet, soit au moment de sa création, soit après (ex.: Le cri).

1.10 Éléments distinctifs : Toute particularité de l'objet permettant de l'identifier d'une manière unique (par exemple dommages, réparations ou défauts de fabrication).

1.11 Description : Texte décrivant brièvement l'objet créé à partir des catégories ci-dessus, pouvant aussi inclure tout renseignement supplémentaire permettant de l'identifier (ex.: couleur et forme de l'objet, lieu de fabrication)

La figure, ci-après (Figure 22), présente le schéma des attributs obligatoires de l'indexation minimale object ID

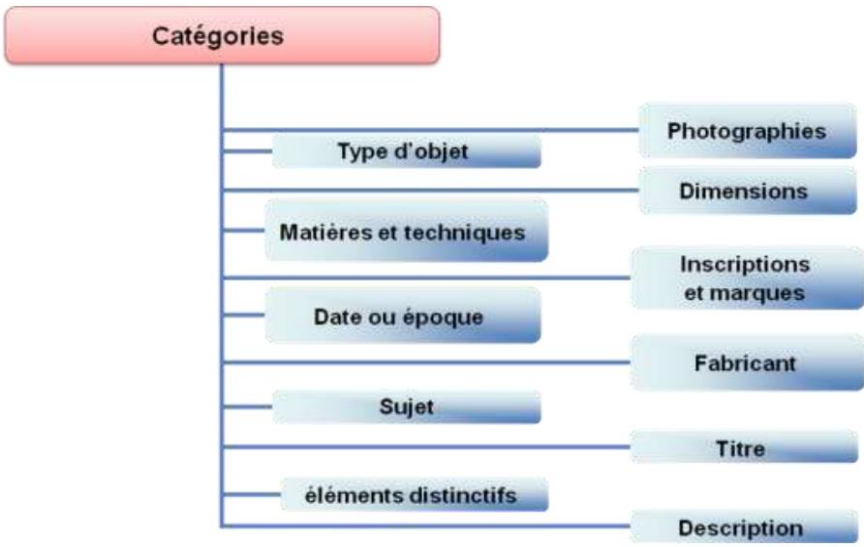


Figure 22 : Schéma des attributs obligatoires de l'indexation minimale object ID

2. Catégories supplémentaires (recommandées) :

Les cinq catégories d'information suivantes ne furent pas sélectionnées pour Object ID en raison de l'absence d'un consensus général en faveur de leur inclusion, bien que considérées comme importantes par une vaste majorité de répondants à l'enquête, issus d'au moins quatre communautés sur six. Il est recommandé à ceux qui installent des systèmes de documentation automatisés de penser à inclure ces catégories.

2.1 Numéro d'Object ID : Identificateur numérique ou alphanumérique comme en utilisant beaucoup de musées (quelquefois appliqué sur l'objet même).

2.2Écrits apparentés : Références, y compris citations, à d'autres écrits apparentés à un certain objet (ex.: catalogues édités, articles, rapports sur l'état).

2.3 Lieu d'origine ou de découverte : Le lieu d'où provient un objet et/ou l'endroit où il a été trouvé (ex.: un lieu de fabrication, ou un site archéologique).

2.4 Renvoi à d'autres objets apparentés : Indication que l'objet est apparenté à plusieurs autres objets (ex.: partie d'une paire, pièce de vaisselle).

2.5 Date de la rédaction du document : Date à laquelle a été rédigée la description de l'objet.

La figure, ci-après (Figure 23), présente le schéma des attributs supplémentaires de l'indexation minimale object ID

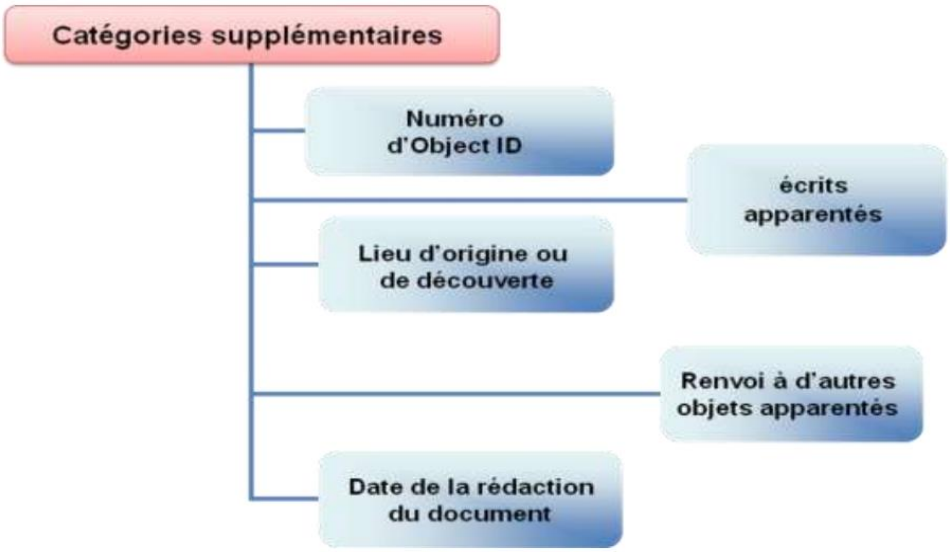


Figure 23 Schéma des attributs supplémentaires de l'indexation minimale object ID

2.3.5 MuseumDat

L’un des plus importants développements apportés à CDWA Lite est celui apporté par le comité de documentation de l’association des musées allemands via la création du schéma XML museumdat et qui développe le schéma CDWA lite afin qu’il inclue les collections historiques ou d’histoire naturelle et classe [35]. Museumdat fournit une sémantique cadre et traitement des événements entourant un objet en ajoutant un élément supplémentaire pour les événements à CDWA Lite, ce qui porte le nombre total d'éléments à 23, puis reconfigure les éléments pour représenter la meilleure approche basée sur les événements. Cependant ce schéma réduit également le nombre d'éléments requis à seulement trois.

Museumdat est structuré en cinq catégories principales, conforme au CIDOC avec les mêmes éléments de métadonnées de base. Il apporte également des éléments, ajoute des attributs qui introduisent le multilinguisme dans le format, et fournit un mécanisme de contrôle de conversion de données [29]. De côté de ces changements, museumdat maintient beaucoup l'accent et l'intention de CDWA Lite. Par exemple, le document de spécification pour museumdat garde les lignes directrices du catalogage des objets culturels pour les éléments de remplissage intacts, le cas échéant, et aussi conserve la possibilité à la fois pour l'affichage et l'indexation des éléments [36].

Le schéma XML de museumdat (Tableau 3) a été publié en 2007 et dans un court laps de temps a vu un niveau d'adoption et d'enthousiasme similaire à celui de CDWA Lite. Museumdat est devenue le format de livraison standard pour les données d'objets de musée du portail Bibliotheken Archive und Museen (BAM), qui permet d'effectuer des recherches dans les bibliothèques, les archives et collections de musées en Allemagne. Utilisé par le réseau de musées régionaux Digicult Schleswig-Holstein et les archives d'images Bildarchiv Foto Marburg, et est considéré comme accepté.

Object classification		**EVENT**
1.Object/Work Type	2.Classification	Indexing Event
Identification		Indexing Actor
Title or Object Name		Indexing Date
Inscription and other marks		Indexing Location
Custordy / Repository location		Indexing Measurments

Description	Indexing material/Technique
Display creator	Style
Display creation date	Culture
Display creation location	**Relation**
Display measurments	Indexing subject
Display materials / technique	Related work
Display state /Edition	Administration
Display event	Right for work
Description/Descriptive Note	Record /Resource

Tableau 3 : Descriptif des éléments MuseumDat

2.4 Architecture de la plateforme Europeana

2.4.1 Présentation de la plateforme

Europeana (https://www.europeana.eu/en) est une plateforme numérique européenne lancée en novembre 2008 par la Commission européenne. Elle donne accès à des ressources numériques (livres, matériel audiovisuel, photographies, documents d'archives, etc…). C'est une plateforme numérique qui travaille avec des milliers (plus de 3500) de bibliothèques, archives et musées européens comme la British Library à Londres, le Rijksmuseum à Amsterdam ou le Louvre à Paris. À cette fin, les États membres s'engagent à numériser leur contenu, à le rendre accessible sur le web et à assurer sa préservation sous forme numérique pour les générations futures [59]. Bien que le projet Europeana utilise le modèle de données européen (EDM) qui utilise lui-même certaines des ontologies de référence déjà disponibles [60], telles que le système d'organisation des connaissances simple (SKOS) sponsorisé par le W3C. Les données sont représentées dans le modèle de données Europeana (EDM) et les ressources décrites sont adressables et peuvent être référencées par leurs URI [61]. Les liens entre Les ressources d'Europeana et d'autres ressources du Linked Data Web permettront la découverte de ressources liées sémantiquement. Nous avons développé une approche qui permet aux fournisseurs de données Europeana d'opter pour que leurs données deviennent des données liées et convertit leurs métadonnées en GED,

en bénéficiant des efforts d'Europeana pour les lier à des ressources liées sémantiquement sur le Web.

Malheureusement, ces solutions ne mettent pas assez en valeur la ressource humaine et sa relation étroite avec la ressource du patrimoine culturel, la relation s'arrête au premier niveau, celui ou l'humain peut juste relier directement à l'entité culturelle, mais pas sa famille, son mouvement politique, ses amis ou d'autres relations humaines. La plateforme ne fournit pas non plus de moteur ou de plates-formes intelligentes permettant de lier intelligemment les ressources du patrimoine culturel entre elles, encore une fois en ne se basant pas que sur les relations du premier niveau, ou relations directes

2.4.2 Architecture Technique

En guise de solution, Europeana a décidé de créer le pilote Europeana Linked Data. Il est techniquement découplé du système de production Europeana et permet aux fournisseurs de données qui souhaitent rendre leurs données disponibles en tant que Linked Open Data, d'opter pour que leurs métadonnées soient publiées ouvertement sur le Web. Pour amorcer l'adoption de l'EDM, Europeana a mis en place une procédure simple qui convertit les données Europeana actuelles en EDM. Europena inclue également des liens générés à partir de L'effort d'Europeana d'enrichir les enregistrements de métadonnées existants avec des liens vers des Ressources

Son objectif était d'organiser les processus techniques derrière le pilote Europeana Linked Open Data aussi ouvert et transparent que possible. Tous les scripts de conversion et configuration ESE2EDM requis les fichiers de configuration de http://data.europeana.eu sont open source et disponibles sur https://github.com/behas/ese2edm. Ils peuvent être librement réutilisés ou étendus. D'un point de vue technique, comme le montre la figure 24, l'Europeana LOD Pilot fonctionne en parallèle au système de production Europeana mais est basé sur la même base de métadonnées au format ESE

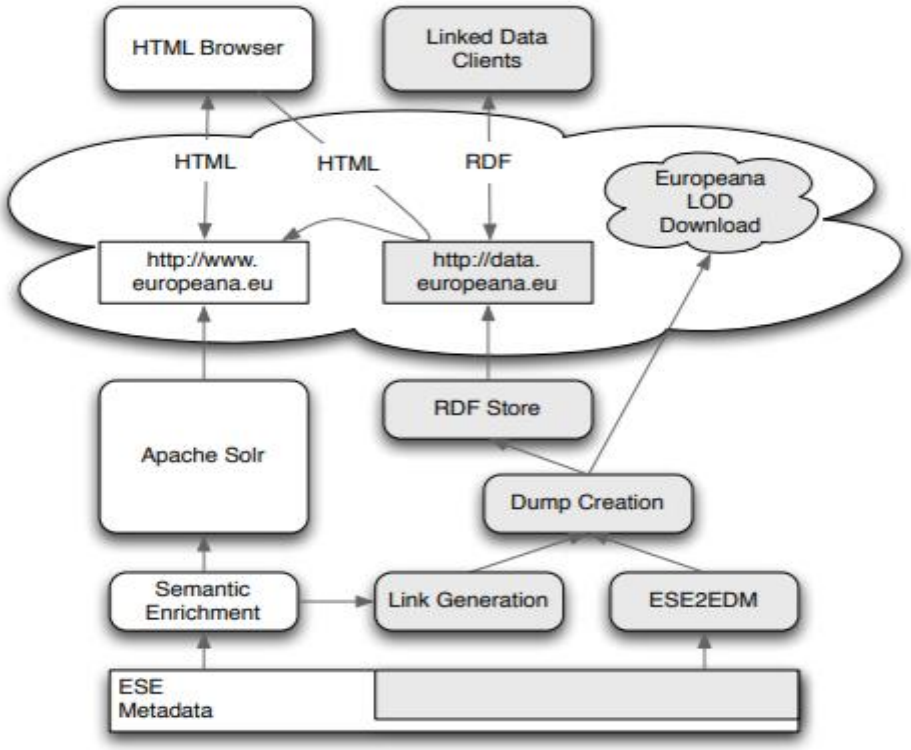


Figure 24 : Architecture technique d' Europeana

2.5 Conclusion

Le deuxième chapitre de ce rapport était concentré sur les différentes ontologies existantes permettant de décrire le patrimoine culturel à travers des métadonnées, parfois même pas que le patrimoine culturel comme dans le cas du dublin Core qui est plus général et peut être appliqué à une ressource en général.

Ce chapitre a parlé également de l'émergence des schémas XML CDWA Lite et museumdat (propres au patrimoine culturel) qui ont réussi à fournir un modèle qui identifie un ensemble minimal d'informations nécessaires pour faciliter la découverte de ressources, et une solution qui sert de moyen peu contraignant pour les institutions de participer à la contribution des collections des œuvres d'arts et du patrimoine culturel. Ces deux initiatives ont reconnu que les attentes croissantes pour la découverte universelle signifie qu'il doit y avoir des moyens pour tout le monde de pouvoir participer à la mise à disposition du patrimoine culturel en ligne.

Les normes existantes peuvent donc être utilisées avec succès pour y parvenir, CDWA Lite a ouvert la voie dans ce domaine effort, mais museumdat a élargi le champ d'application à être

plus inclusif de diverses collections, et plus flexible en permettant de décrire des concepts et relations dans la documentation du patrimoine culturel.

Les créateurs de CDWA Lite ont rapidement reconnu les réalisations de museumdat en combinant les meilleurs aspects de l'événement, de la multidisciplinarité approche de CIDOC CRM, et la relative simplicité et éléments de base offerts par CDWA Lite. Le potentiel de combiner les efforts de CDWA Lite et museumdat dans un schéma commun a été identifié comme une opportunité idéale. Le groupe a été établi avec des intervenants clés des deux initiatives, et chargé de créer un nouveau schéma qui repose sur la base de CDWA Lite, et intègre les améliorations de museumdat. Le résultat final sera un schéma englobant des informations de la bibliothèque, des archives, du musée et de la bibliothèque d'images collections à mettre à disposition dans un format standardisé pour la contribution à l'environnement en réseau, et pour faciliter la découverte de ressources.

Ce chapitre a également mis en lumière la plateforme européenne « EUROPEANA » dédiée à la découverte du patrimoine culturel numérique européen. Ce chapitre a mis un accent particulier sur l'architecture de la plateforme susmentionnée.

Il est à préciser que malgré tout ce qui a été dit dans le deuxième chapitre de ce rapport, lesdites ontologies ne sont pas porteuses d'assez d'informations pour permettre l'implémentation d'une solution pertinente qui permettrait à un utilisateur final d'interroger une application dans sa globalité, tout en recensant maximum de métadonnées possible et surtout en mettant l'accent sur les différentes relations que puisse avoir une entité culturelle avec d'autres et avec la ressource humaine. Ceci constitue un désavantage contraignant pour les différentes ontologies citées, et pousse à réfléchir sérieusement à une solution alternative, solution qui fera objet des chapitres III et IV.

Chapitre III: Modèle de données ICHD et choix de stockage

3.1 Etat d'art, objectifs et résultats souhaités

Actuellement, les solutions existantes concernant la gestion et la préservation du patrimoine culturel, permettent de satisfaire avec succès un certain nombre de besoins dans la matière. Néanmoins, il est à noter qu'il n'existe toujours pas de solution exhaustive qui permettrait de gérer avec efficacité la quantité impressionnante des données et des informations impliquées dans ce domaine, tout en prenant en considération la diversité de leur types et formats. Le nombre d'informations, de métadonnées et de relations entre les différentes entités constitue vraisemblablement un énorme volume de données à traiter, sans parler de la variété de données à gérer dans le cadre du patrimoine culturel surtout pour le patrimoine culturel immatériel vu que les métadonnées le décrivant diffèrent énormément en matière de types (les mœurs, traditions, rituels …etc) et ne peuvent nullement être décrits de la même manière

L'objectif de ce travail est donc de proposer une nouvelle technologie permettant de réaliser un système de gestion du patrimoine culturel très particulier, et permettant de gérer de manière efficace l'ensemble des données et des informations nécessaires pour ce faire, tout en tenant compte de la variété des données à administrer. L'ICHD (Intelligent Cultural Heritage Document) représente donc le nom donné au Framework résultant de ce travail, et qui ambitionne d'être une solution pertinente et efficace face aux contraintes susmentionnées.

Le Framework ICHD est basé à la fois sur une représentation JSON intelligente et sur les principes des systèmes de données liés. Il s'agit d'un ensemble d'applications, d'API et de ressources externes associées, fournissant des mécanismes puissants, simples permettant d'interroger et d'administrer une quantité massive de données avec des types disparates de données stockées dans une base de données NoSQL.

Ainsi, le modèle de données proposé orbitera, de manière intelligente, toutes les métadonnées et toutes les autres entités. Toute entité portera un ensemble d'attributs et de relations cataloguées nécessaires, que ce soit à partir d'ontologies déjà existantes ou de patrimoine culturel étudié qu'il soit matériel ou immatériel. Les différentes entités contiendront par conséquent un nombre incalculable d'attributs de tous les types (numériques, data, chaine de caractère, …etc) pour mieux cerner la description de chaque champ.

Aussi, ledit modèle de données propose une architecture finale répondant aux 3Vs du Big data, au recensement et au catalogage fait du patrimoine culturel. Cette architecture distribuée et très performante restera maintenable quel que soit la dimension que prendra la base de données au fur et mesure des éventuelles mises à jour et de l'implémentation, et assurera le découplage nécessaire entre le volet technique et fonctionnel.

Au final, notre base de données contiendra une grande quantité de données, sous différents formats (audio, vidéo, texte et image…) et bien d'autres types de ressources utilisées pour décrire et compléter les informations. De plus, les informations peuvent changer de taille et d'intérêt d'un document à l'autre, d'où le choix d'une architecture basée sur les données JSON, fournissant une capacité de stockage et d'intégration de données très puissante, robuste et illimitée.

Il sied de préciser, dans ce sens, que le Framework proposé présente un nombre important d'avantages dont notamment:

- Concept de stockage intelligent offrant une nouvelle technique de stockage NoSQL utilisée pour la représentation des données.
- Représentation pertinente des différentes métadonnées cataloguées et recensées.
- Importance majeure accordée à la ressource humaine englobant tous les niveaux et pas uniquement le premier niveau de relation, ce qui permet de naviguer librement entre les différentes ressources humaines et entités culturelles.
- Implémentation facile dans une base de données NoSQL, permettant un volume de stockage volumineux avec une bonne vélocité de traitement de requêtes.
- Représentation sous format JSON, permettant de gérer l'ensemble des données de la base de données (orienté document (BSON)), sans oublier que valeur aujourd'hui, le format d'échange favorisé est le REST (basé sur du JSON), ce qui rendra l'échange de donnés plus fluide.
- Modèle hybride pour une base de données NOSQL (Modèle relationnel avec JSON) permettant ainsi de procéder à des requêtes combinées, ce qui constitue une nouvelle technologie pour réaliser et créer des données liées.
- L'information géographique peut facilement être descriptible via les marqueurs géographiques de géo JSON.

- Architecture distribuée et contexte Bigdata permettant de distribuer les responsabilités métiers et techniques sur différentes briques.
- Présence de brique dédiée principalement à la gestion de l'information géographique
- Implémentation et déploiement basés sur des outils gratuits : Apache Tomcat Server, Servlet API, développement Java et stockage MongoDB/JSON

3.2 Pourquoi le JSON

Ce format de données est dérivé du langage de programmation JavaScript. Il est indépendant du langage de programmation dans lequel nous échangeons des informations avec des serveurs. Évidemment, cela rend l'utilisation de JSON bénéfique pour toutes les personnes impliquées [37]. C'est pourquoi le format JSON est devenu très populaire. Par exemple, lorsqu'une requête est envoyée à une API, les données sont souvent renvoyées sous forme de JSON.

Le format JSON repose sur 3 concepts clés :

- Facile pour les humains de lire, d'écrire et de comprendre
- Facile à traiter et à générer pour les programmes, quel que soit le langage de programmation
- Ecrit sous format texte

La plupart des modèles de données qu'on a étudié dans le précédent chapitre se base sur de l'XML qui est un autre standard très utilisé dans le monde de l'informatique. Donc la question c'est quoi la différence entre les deux standards.

Ils se présentent tous deux sous une forme lisible par l'homme et peuvent représenter les mêmes objets et informations. Cependant, JSON est moins complexe que XML, car il utilise moins de mots dans un format plus simple pour transmettre les mêmes informations. Il est également beaucoup plus facile à traduire en code. XML a besoin d'analyseurs spécialisés et lents qui l'intègrent dans votre programme, et c'est son principal inconvénient. C'est pourquoi JSON est entrain de remplacer XML petit à petit dans les appels AJAX et autre interactions client-serveur [38].

Aussi le JSON offre la possibilité de manipuler l'information géographique à travers du GeoJSON [39] ou encore du BSON [40] (sur lequel est basé MongoDB la base de données NoSql orientée documents) de part ces avantages aussi on peut plus facilement manipuler un document JSON et plus simple à requêter.

Le format JSON est un document composé d'ensemble de clés-valeurs qui par la suite seront les métadonnées pour le patrimoine culturel. Pour chaque clé on a une valeur qu'elle soit numérique, chaine de caractère, tableau, un autre document JSON ou même un tableau de documents JSON.

3.3 Modèle de données

Après l'étude des différentes techniques de catalogage existantes (MUSUEMDAT, CDWA LITE, CIDOC CRM …etc) et avoir également étudié une multitude d'informations concernant différents types et objets du patrimoine culturel. Un modèle de données 'Hybride' a pu voir le jour, ce modèle met en évidence les différentes métadonnées qui peuvent décrire le patrimoine culturel, il enrichit la relation entre l'entité culturelle et la ressource humaine tout en ne pas oubliant tout ce qui gravite autour, à savoir les différentes entités qui peuvent être liées aux deux afin de nous donner une base de données qui peut être largement interrogeable par l'application voulant mettre en place.

L'étude fonctionnelle du sujet a permis de comprendre que la gestion globale du patrimoine culturel, qu'il soit matériel ou immatériel, relève d'un vaste domaine d'études. Le nombre d'informations, de métadonnées et de relations entre les différentes entités constitue vraisemblablement un énorme volume de données à traiter, sans Parler de la **variété** de données à gérer surtout du côté du patrimoine culturel immatériel vu que les métadonnées pour le décrire diffèrent énormément selon le types (les mœurs , traditions , rituels …etc) changent et ne peuvent être décrit de la même manière .Enfin ces contraintes ne devraient pas impacter la **vélocité** pour traiter ce modèle de données par une plateforme [41].

Le volume, la variété et la vélocité sont les trois piliers d'un contexte big data ce contexte oblige à adapter le modèle de données d'une manière à pouvoir l'utiliser facilement pour un stockage adéquat. Ce stockage devra être matérialisé par la suite dans une base de données NoSql .

Le modèle de données est basé sur du JSON qui est un langage léger d'échange de données textuelles. Pour les ordinateurs, ce format se génère et s'analyse facilement. Le JSON a aussi été choisi parce qu'il offre une multitude de choix.

Le modèle est composé de huit entités (huit documents JSON ce qu'on appellera par la suite le modèle **ICHD**. Chaque document contiendra ses propres métadonnées que ça soit ses identifiants, titre, localisation ou même relations vers d'autres documents.

3.3.1 Documents du modèle de donnée

Comme mentionné le modèle de données est basé sur du JSON et se compose de huit entités, chaque entité est porteuse des métadonnées qui la décrivent et aussi des relations et différentes

références aux autres documents. Ce qui permet de créer un modèle à la fois complexe et complet facilement interrogeable après implémention par l'utilisateur final.

Cultural heritage type (entité culturelle) :

L'entité principale du modèle de donnée, celle sur laquelle tout gravite. Elle est décrite par les attributs suivants :

attribut	Description	type
id	Identifiant unique de l'entité culturelle	Chaine de caractère
title	Le nom de l'entité culturelle (nom de peinture, site archéologique etc)	Chaine de caractère
creation_date	Date de création de l'entité culturelle	Date
discovery_date	Date de découverte	Date
destruction_date	Date de destruction	Date
Legal_statut	Si l'entité est protégée et si oui, le type de protection et la date à laquelle elle a été accordée.	Sous document JSON
type_protection	Type de protection (légal, juridique …Etc)	Chaine de caractère
level_protection	Selon les niveaux de protection définis par L'UNESCO	Numérique
date_protection	La date de la protection	Date
type	Type du patrimoine culturel (matériel ou immatériel)	Sous document JSON
tangible	Pour le patrimoine matériel et ça sera une énumération prédéfinie (Documentaire, archéologique, archives …Etc) sachant que toutes les données descriptives et propres au	Chaine de caractère

	patrimoine matériel seront cités dans le document Description	
intagible	Pour le patrimoine immatériel (et ça sera une énumération prédéfinie (festival, médecine traditionnelle, art culinaire …etc) sachant que toutes les données descriptives et propres au patrimoine immatériel seront cité dans le document Description	Chaine de caractère
Place	Document décrivant la localisation	Document JSON
Work_renovation	Document décrivant les actions sur l'entité culturelle	Document JSON
Human_resources	Document décrivant toutes les personnes ayant interagi avec l'entité culturelle	Document JSON
Organization	Document décrivant les organisations qui interagissent avec l'entité culturelle	Document JSON
Comments	Commentaires éventuels des organismes, médias ou personnes	Document JSON
Attachements	Document portant tous les fichiers ou images relatives à une entité culturelle	Document JSON
Description	Toute description relative à l'entité. Que ça soit des gravures, matériaux ou instruments etc… pour le patrimoine culturel matériel ou paroles de chanson, de rituel, recette ou musique pour le patrimoine culturel immatériel	Document JSON

Tableau 4 : Tableau des attributs de l'entité culturelle

Human resources (ressources humaines) :

Toutes les personnes ayant interagi d'une manière ou d'une autre avec une entité culturelle. Les attributs la décrivant sont les suivants :

attribut	Description	type
id	Identifiant unique de la ressource humaine	Chaine de caractère
first_name	Prénom	Chaine de caractère
last_name	Nom de famille	Chaine de caractère
Gender	Masculin ou féminin	Chaine de caractère
size	Taille	Numérique
work	Travaille ou titre de la personne	Chaine de caractère
birth_date	Année de naissance	Date
death_date	Année de décès	Date
relation	Le document portant les informations concernant la relation	Document JSON
cultural_entity	Entité culturelle comprise dans le document 'relation' et avec laquelle la relation est faite	Document JSON
human_resource	Une personne reliée à la personne courante.	Document JSON
Relation_type	Nom de la relation entre l'entité culturelle et les ressources humaines	Chaine de caractère
relation_place	Localisation de la relation entre la ressource humaine et l'entité culturelle	Chaine de caractère
relation_purpose	Le but de la relation, exemple : une muraille a été bâtie par la personne pour défendre une ville.	Chaine de caractère
relation_start	La date de début de la relation	Date
relation_end	La date de fin de la relation	Date

note	Différents commentaires concernant la relation	Chaine de caractère
Attachements	Document contenant les différents fichiers, images ou même vidéo concernant la ressource humaine	Document JSON
Organizations	Une organisation peut être reliée d'une manière ou d'une autre à la personne	Document JSON
Place	Localisation de la personne	Document JSON
Work_renovation	Les interventions faites sur une entité culturelle	Document JSON

Tableau 5 : Attributs de la ressource humaine

Organizations (Organisations)

Toutes les organisations qui ont pu interagir avec une entité culturelle, une ressource humaine ou les deux. Ce document est décrit par les attributs suivant :

attribut	Description	type
id	Identifiant unique de l'organisation	Chaine de caractère
name	Nom de l'organisation	Chaine de caractère
speciality	La spécialité de l'organisation	Chaine de caractère
Place	Localisation de l'organisation	Document JSON
Comments	Commentaires éventuels sur l'organisation	Document JSON
Attachements	Images,fichier, ou vidéos de l'organisation en question	Document JSON
Work_renovation	Les interventions faites sur une entité culturelle	Document JSON

Tableau 6 : Attributs du document organization

Attachements (audios, vidéos, images, pdf etc…)

Document JSON contenant toutes les sortes de fichiers, images ou vidéos des différents intervenants (Entité culturelle, ressource humaine ou organisation).

attribut	Description	type
id	Identifiant unique du fichier	Chaine de caractère
acquisition_date	La date d'acquisition du fichier	Date
file_name	Nom du fichier	Chaine de caractère
files	Document stockant les métadonnées du fichier et l'algorithme de hashage pour décrypter le binaire dans chunk	Document JSON
chunks	Document stockant le binaire du fichier en question	Document JSON

Tableau 7 : Attributs du document Attachements.

Place (place)

Localisation des différentes entités, entité culturelle, ressource humaine et organisations. C'est le seul document qui par la suite sera un GeoJson pour offrir différentes opérations pour le calcul d'itinéraires ou encore donner les entités culturelles qui se trouvent dans un rayon donné. Ce document est décrit de la manière suivante :

attribut	Description	type
id	Identifiant unique du fichier	Chaine de caractère
city	La ville	Chaine de caractère

building_number	Numéro du bâtiment	Numérique
zip_code	Code postale	Numérique
street	Rue de la localisation	Chaine de caractère
location	Document contenant les attributs de la localisation exacte et son type	Document JSON
type	Type de la localisation (ça peut être un point pour un bâtiment d'une organisation ou un rectangle pour un site archéologique)	Chaine de caractère
coordinate	Tableau contenant deux valeurs : la latitude et la longitude	Tableau de numéros

Tableau 8 : Tableau des attributs du document Place.

Comments (commentaires)

Document contenant les éventuels commentaires liés à une entité culturelle, une organisation ou une ressource humaine. Décrit par les attributs suivants :

attribut	Description	type
id	Identifiant d'un commentaire	Chaine de caractère
comment	Le commentaire	Chaine de caractère
date	Date du commentaire	Date

Tableau 9 : Attributs du document Comments.

Works and renovations (travaux sur l'entité culturelle)

Le document contenant les informations sur l'état et les différent travaux et rénovations sur une entité culturelle ou celles faites par des individus ou des organisations. Les métadonnées de ce document sont comme suite :

attribut	Description	type
id	Identifiant unique d'une action sur une entité donnée par un individu donné	Chaine de caractère
reason	La raison des travaux ou de la rénovation	Chaine de caractère
cost	Le cout des travaux ou rénovations	Numérique
date_start	La date de début des travaux ou rénovations	Date
date_end	La date de fin des travaux ou rénovations	Date
conservation_state	Document contenant les attributs décrivant l'état de conservation	Document JSON
state	L'état de conservation	Chaine de caractère
date_first_check	Date de la première vérification	Date
date_last_check	Date de la dernière vérification	Date

Tableau 10 : Attributs du document Works&Renovations

Description

Le document portant toutes les descriptions concernant l'entité culturelle, et le seul document qui n'est pas encore complet, à cause de la difficulté pour recenser toutes les métadonnées concernant le patrimoine culturel surtout l'immatériel. Les traditions, recettes ou autres sont tellement différents, enfouies ou encore inexactes que ça serait très compliqué de les cataloguer toutes. Ce document est décrit par quelques attributs jugés nécessaires :

attribut	Description	type
id	Identifiant unique d'une description concernant un patrimoine culturel	Chaine de caractère
note	Note ou commentaire concernant l'entité culturelle	Chaine de caractère
rights	Les droits sur l'entité culturelle	Chaine de caractère
materials	Les matériaux dont l'entité a été créée	Chaine de caractère
measurments	Les mesures de l'entité	Tableau numérique
inscriptions	Des éventuelles inscriptions sur l'entité	Chaine de caractère
lyrics	Paroles dans le cas d'une poésie chanson ou autre	Chaine de caractère
clothes_style	Le style de vêtements	Chaine de caractère
movement	Les mouvements durant un rituel ou autre	Chaine de caractère
receipe	La recette d'un plat ou d'un médicament traditionnel	Chaine de caractère
date	La date de l'évènement si c'est un évènement	Date
dialecte	Le dialecte dans lequel est représenté le patrimoine culturel (surtout pour le patrimoine culturel immatériel avec, les paroles, recettes …etc)	Chaine de caractère
intervenant_number	Le nombre de participants dans un rituel ou autre	Tableau numérique
hair_dressing	La coiffure d'un intervenant sur le patrimoine culturel immatériel	Chaine de caractère
tattoo_description	Description et raison d'un tatouage (henné, tatouage etc …)	Chaine de caractère
music_type	Type de musique (dans un moussem par exemple)	Chaine de caractère

Tableau 11 : Attributs du document Description

3.3.2 Vue Globale sur le modèle de données

Les différents documents JSON qui viennent d'être cité forment le modèle de données qui sera par la suite implémenté dans une base de données NoSql, les différentes relations et les différents attributs servent à décrire au maximum le patrimoine culturel et toutes les ressources qui orbitent autour. Les documents contiennent également les métadonnées traditionnelles d'un document du patrimoine culturel.

Également ce modèle permettra de stocker nos informations dématérialisées concernant le patrimoine culturel afin que le moteur de recherche puisse combiner différents types de mots-clés et offrir à l'utilisateur final une accessibilité et des options de recherche faciles. De plus, cela permet de se concentrer sur la ressource humaine et d'essayer d'identifier tous les points communs entre une ressource humaine et un type de patrimoine culturel ou un autre document du patrimoine culturel qui s'y rapporte.

La figure, ci-après (figure 25), présente le modèle de données du patrimoine culturel.

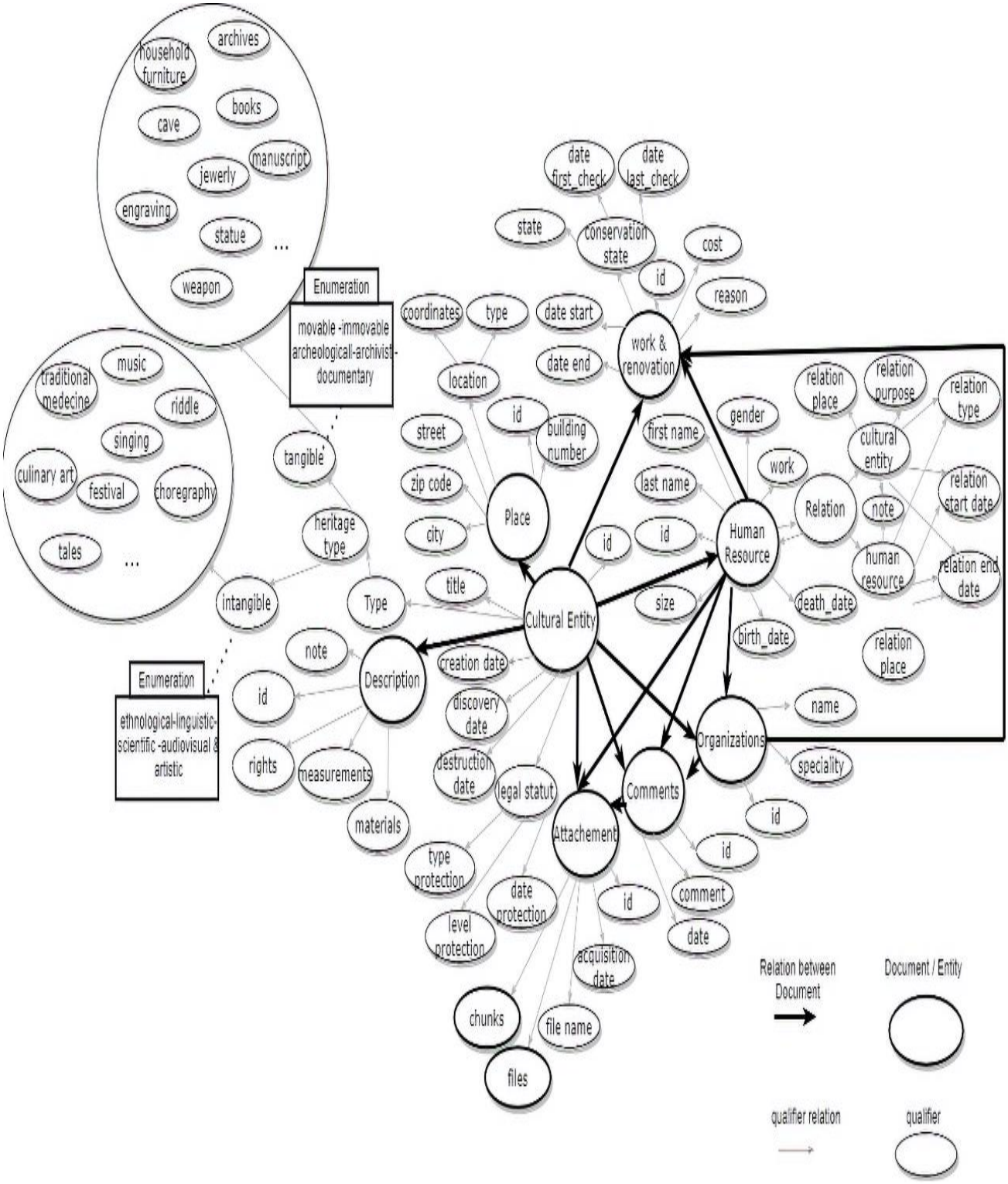


Figure 25 : Modèle de données du patrimoine culture

3.4 Choix de stockage

Le but de ce travail est de mettre en place une plateforme interrogeable par des utilisateurs finaux, ces utilisateurs pourront notamment rechercher le différent patrimoine existant dans une région donnée ou des patrimoines reliés à une histoire, ressource culturelle ou ressource humaine.

Cette plateforme se repose sur un modèle de données qui constituera notre base de données du patrimoine culturel, fournissant à l'application de la matière pour travailler .Donc le choix d'une base de données est quelque chose de très crucial dans un travail pareil, parce qu'il faudrait qu'elle suit les fondamentaux du modèle de données établi basé sur du JSON, répondant à un contexte big data , traitant l'information géographique ,permettant de stocker des fichiers ou aussi offrant un moteur d'agrégation permettant d'utiliser des patterns de big data comme Map/Reduce .

Les bases de données NoSQL est la définition même du large du stockage de données non relationnelles. En raison du nouveau modèle de stockage, la théorie traditionnelle de la forme normale est difficile à adapter aux nouvelles applications [42]. Qui dit big data dit base de données NoSql et les bases de données NoSql se divisent en quatre catégories [43] :

- Orienté document (MongoDB, coucheDB)
- Clé / valeur (Redis,MemBase,Kyoto)
- Orienté colonne (Cassandra, Hbase,cloudData...)
- Orienté graphe (Neo4J,FlockDB ...)

Mais du fait que le modèle de donnée est basé sur du JSON ça oriente plus à choisir une base de données orientée documents qui sont pour la plupart basée sur du JSON. Et de ce fait notre choix tombe sur MongoDB comme base de données pour toute la panoplie de fonctionnalités qui correspondent à nos besoins en termes de volumétrie et surtout de compatibilité au modèle de données.

3.4.1 Pourquoi MongoDB ?

MongoDB est un système de base de données NoSQL, il est plutôt orienté documents (Un document est la représentation d'une donnée en BSON, Binary JSON. Extension du JSON) [44], qui est écrit en C++, pouvant être réparti sur une multitude de machines et ne nécessitant

pas de schéma prédéfini de données ce qui le rend d'une grande flexibilité (contrairement) aux bases de données relationnelles [45]. Son objectif est la gestion d'énormes quantités de données en offrant une multitude de fonctionnalités comme suite :

- Un grand nombre de fonctions qui le rendent polyvalente : les index géographiques, le framework d'agrégation, le map/reduce intégré et les nombreux outils de chargement de données en masse ou de sauvegarde et de restauration [46].
- Le concept de schéma n'existe pas, du coup chaque document est libre de suivre sa propre structure ce qui nous permet une grande flexibilité de données.
- MongoDB assure la scalabilité : la réplication et le Sharding (distribution de données sur plusieurs machines): son modèle de données orientées document lui permet de répartir automatiquement les données sur plusieurs serveurs (Cela permet aux développeurs de se concentrer sur la programmation de l'application) [47].
- La réplication permet de dupliquer les serveurs de base de données pour répondre à une monté en charge ou une tolérance de panne [48].
- Système de fichiers GridFS permet de stocker simplement des fichiers en base de données, une fonctionnalité cruciale pour le stockage de tous les fichiers du modèle de données du patrimoine culturel décrit dans le document 'Attachement' [49].
- Le SIG qui permet de manipuler simplement des positions sur un plan ou sur le globe terrestre, ce qui est très important pour la gestion de l'information géographique pour le modèle cité dans le document 'Place' [50].
- La fonction de recherche : MongoDB intègre un système de recherche optimisé en fonction de la langue utilisée.
- MongoDB offre des nombreuses fonctionnalités que l'on trouve dans le monde relationnel (count, groupBy, etc.) mais aussi le support de la recherche full-text, la recherche géo-spatiale ou MapReduce (manipulation et distribution de données dans un cluster) - supporte l'indexation pour l'optimisation des recherches.
- MongoDB offre aussi 'sa propre manière ' de faire du relationnel entre documents à travers des opérateurs [51].

Donc si on devait résumer, MongoDB nous offre la possibilité d'utiliser notre modèle JSON comme il est, aussi nous permet le traitement d'un volume énorme de données et de pouvoir tolérer la variété (un document JSON peut être totalement différent d'un autre). Sans oublier qu'il offre des fonctionnalités puissantes pour pouvoir traiter les données dans un temps record 'vélocité'. Donc affirmer que MongoDB répond aux besoins de ce travail serait judicieux.

3.4.2 Organisation de la base de données

Dans le cas d'une base de données relationnelle on crée des tables pour y stocker nos données. Dans le cas de MongoDB, la base de données contient des **collections** dans lesquelles s'ajoutent les documents qui stockent les données. Une collection est donc un ensemble de documents de même nature [52].

Donc une collection sera représentative d'un type de document spécifique, donc les documents de notre modèle de données seront chacun stockés dans une collection propre à eux. Une collection pour le patrimoine culturel, une autre pour la ressource humaine et ainsi de suite.

La figure 26 présente le modèle de données du patrimoine culturel.

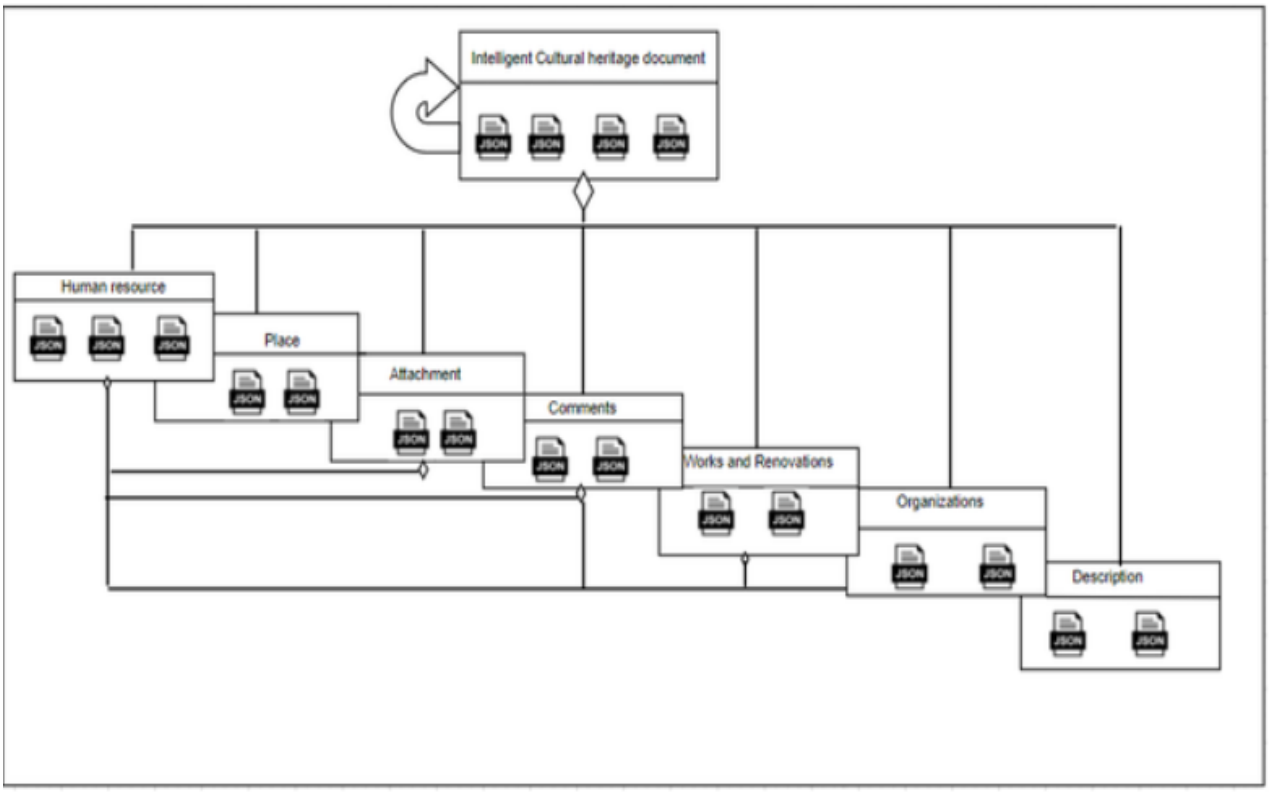


Figure 26 : Modèle de données du patrimoine culturel

3.4.3 Le Moteur ICHD

C'est le moteur pensé pour pouvoir traiter et requêter la base de données. Plus haut dans ce travail a été mentionné que ce modèle correspond parfaitement à la base de données MongoDB. Qu'on pouvait répondre aux différentes problématiques abordées, notamment le fait de mettre la ressource humaine en lumière et surtout pouvoir récupérer les différentes relations entre un ICHD et une ressource humaine, aussi la possibilité de pouvoir faire des traitements géographiques ou stocker des fichiers relatifs aux ressources, ou même faire un système de classement qui permettra de faire des recherches textuelles selon la pertinence.

ICHD

Une des grandes complexités de ce travail réside dans la possibilité de mettre en valeur la relation entre une personne ou un groupe de personnes ayant interagi d'une manière ou d'une autre avec un ICHD. Sauf qu'en choisissant une base de données NoSql on perd ce côté relationnel qu'il y avait dans les SGBDRs classiques.

La solution première serait d'embarquer tous les documents qui ont une quelconque relation avec un autre document dans ce document même [53]. L'exemple suivant (figure 27) le démontre parfaitement.



Figure 27 : Du relationnel en embarquant des sous-documents JSON

Exemple de représentation relationnelle JSON d'ICHD

```
{
        id: "ICH610514",
        title:"Al Quaraouiyine",
        . . .
        place : {    id : P83456, title:"Emplacement",
                     city :" Fes " , … , location : [40.45,-34.56]  },
        related_Human_resources : [
              {id : "IHR098834", first_name : "Fatima", last_name : "Al
              Fihria", relation_type : "creator" …}
],
        related_cultural_resources : [
        {     id: "ICH610515" … },
        {     id: "ICH610515" … } …
                                  ]
        ….
}
```

MongoDB est venu avec une solution plus légère pour faire du 'relationnel' dans une base de données NoSql. Référencer un document avec des opérateurs un peu comme pour les bases de donnée relationnelles, en utilisant **$ref** on peut pointer sur une collection donnée et **$id** on peut se référer à un document donné dans cette collection donnée et par conséquent notre ICHD passe à ce nouveau format (figure 28) [54].

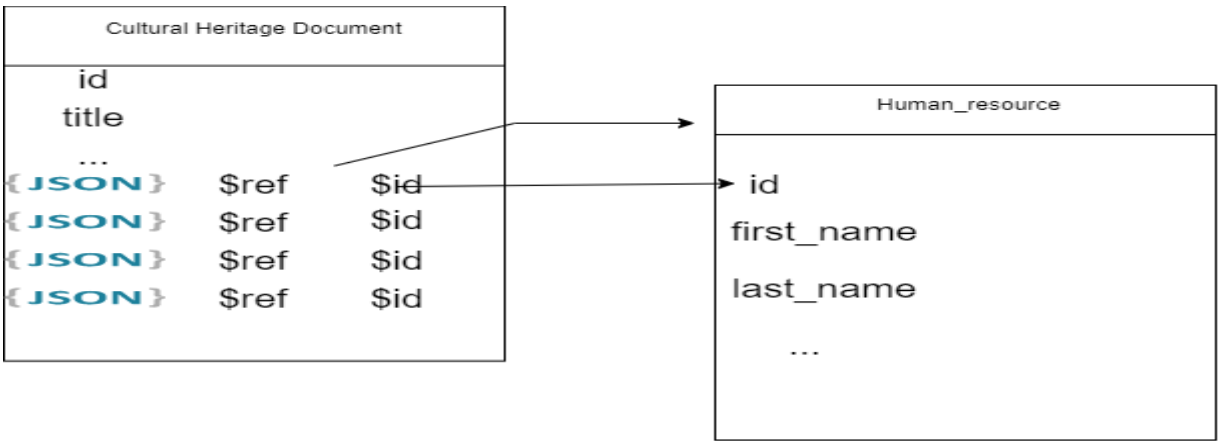


Figure 28 : Faire du relationnel en embarquant des sous-documents JSON

Exemple de représentation relationnelle JSON d'ICHD avec MongoDB

```
{
            id: "ICH610514",
            title:"Al Quaraouiyine",
            ...
            place : {    "$ref" : "Place",  "$id" :  "P8745" ,…  },
            related_Human_resources : [
                  {"$ref" : "Human_resource",  "$id" :  "IHR3438" …},
                  {"$ref" : " Human_resource ",  "$id" :  " IHR34S34" …}
                  ...
],
            related_cultural_resources : [
                  {"$ref" : "Cultural_heritage ",  "$id" :  "ICHD21210" …},
                  {"$ref" : "Cultural_heritage ",  "$id" :  "ICHD7343" …},
                  ...
                                    ]
                  }
            …
}
```

Modèle ICHD avec MongoDB

Le répertoire de base contient principalement des collections MongoDB (figure 29) chaque collection est composée de nombreux documents JSON spécifiques à un certain type de données, le référentiel contient huit collections différentes. Toutes les collections contenant des relations NoSql envers d'autres documents seront traitées comme spécifié dans la figure 28 :

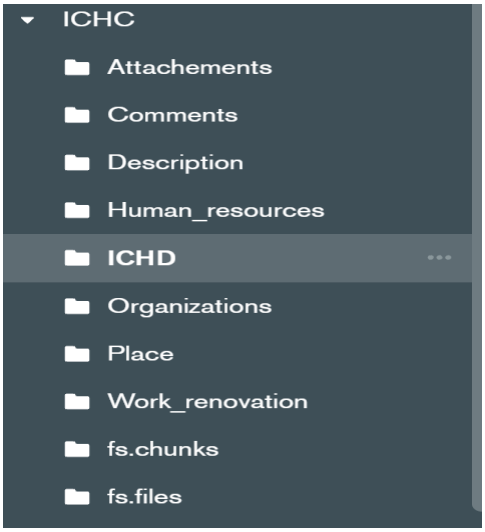


Figure 29 :Vue d'ensemble de nos collections dans la base de données

Intelligent Cultural Heritage Collection : Est notre entrée dans notre référentiel, elle contient la liste de tous nos documents ICHD(figure 30), tous ces documents contiennent leurs qualificatifs spécifiques et les différentes références à d'autres documents

{id, title, type : { "heritage_type" , "entity_type" }, inscriptions,creation_date,country,destruction_date,discovery_date ...}}

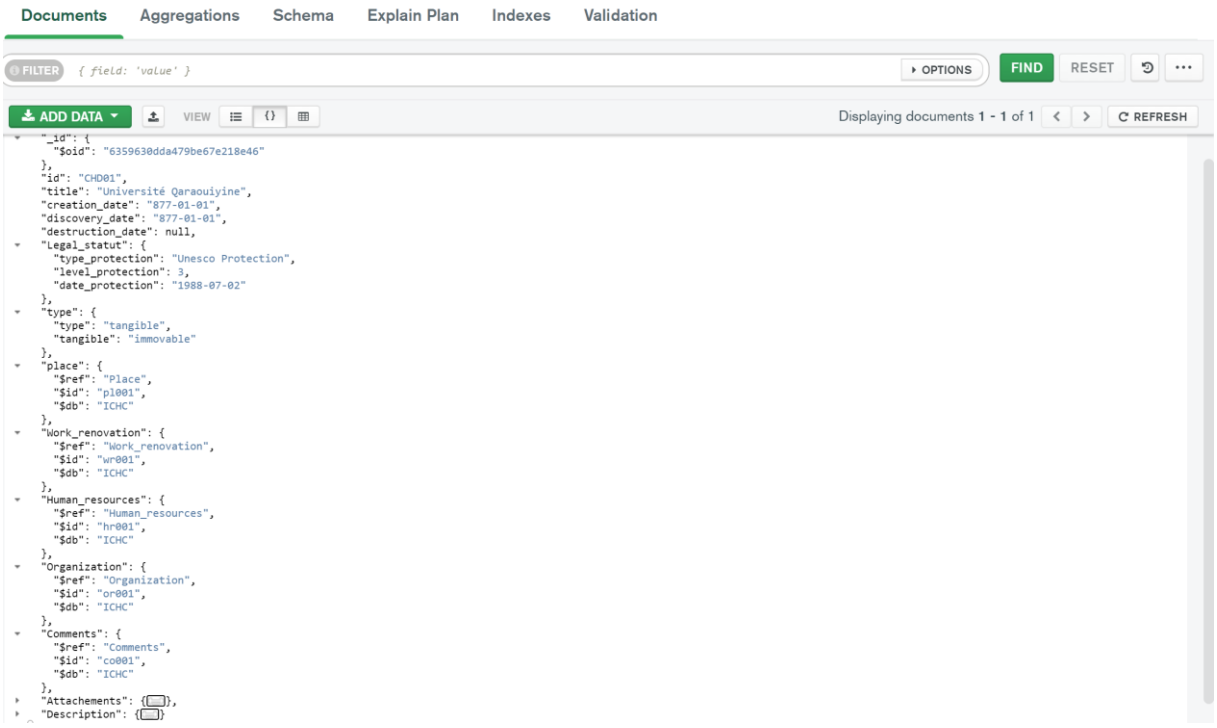


Figure 30: Représentation du document ICHD dans la base de données

Human Resource Collection : la collection de ressources humaines contiendra toutes les ressources humaines qui ont interagi avec un ICHD avec leurs différents attributs (figure 31) ,

sachant qu'elle peut aussi être liée aux Comments (commentaires faits par une personne) , Attachements (photo , image , fichier … etc) d' une personne, organisation (une personne peut être liée à une organisation et à des travaux et rénovations (une personne peut jouer un rôle dans le cycle de vie d'une entité du patrimoine culturel).

{ id, first_name, last_name, gender, birth_date, death_date, country, size , work, relation :{ relation_type ,date … } , ... }

La ressource Humaine a aussi plusieurs relations externes, représentées de la même manière que pour les relations dans la 'Intelligent Cultural Heritage Collection' ces relations la relie à :

- Attachments : photos, fichiers, etc …
- Organizations : la ressource humaine peut appartenir à une ou plusieurs organisations.
- Comments : Une ressource humaine peut donner plusieurs commentaires

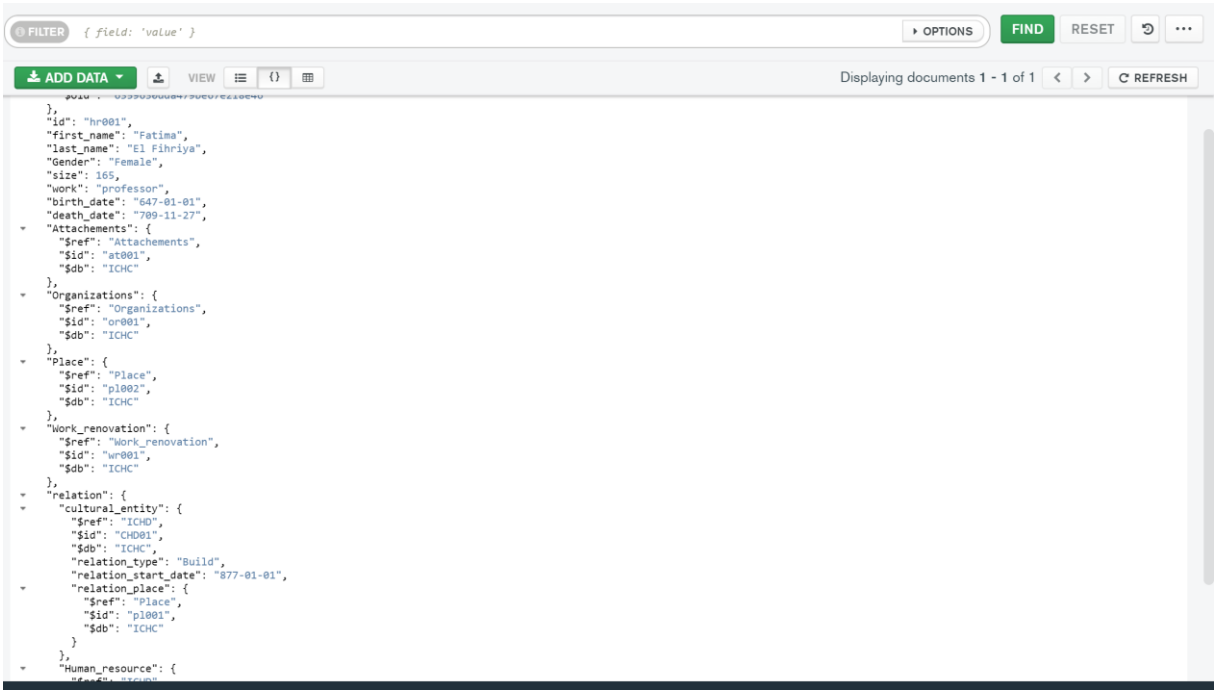


Figure 31: Représentation du document Human_resources dans la base de données

Organization Collection : Cette collection contient les attributs des organisations liées à un ICHD ou à une ressource humaine ayant interagi avec un ICHD(figure 32). Elle sera également lié par un $ref à d'autres collections :

- Place : Une organisation a un siège et peut avoir différentes affiliations chacune d'elles a un lieu avec coordonnées géolocalisées, nom, ville etc…

- Human resources : Une organisation peut également disposer de ressources humaines liées à un ICHD ou à une ressource humaine qui a fondé cette organisation.
- Comments : Les commentaires peuvent être fournis par une organisation ou une ressource humaine qui appartient à une organisation. Cela aidera la récupération intelligente. Travaux et rénovation : ensemble des actions réalisées ou qui seront réalisées sur un ICHD.

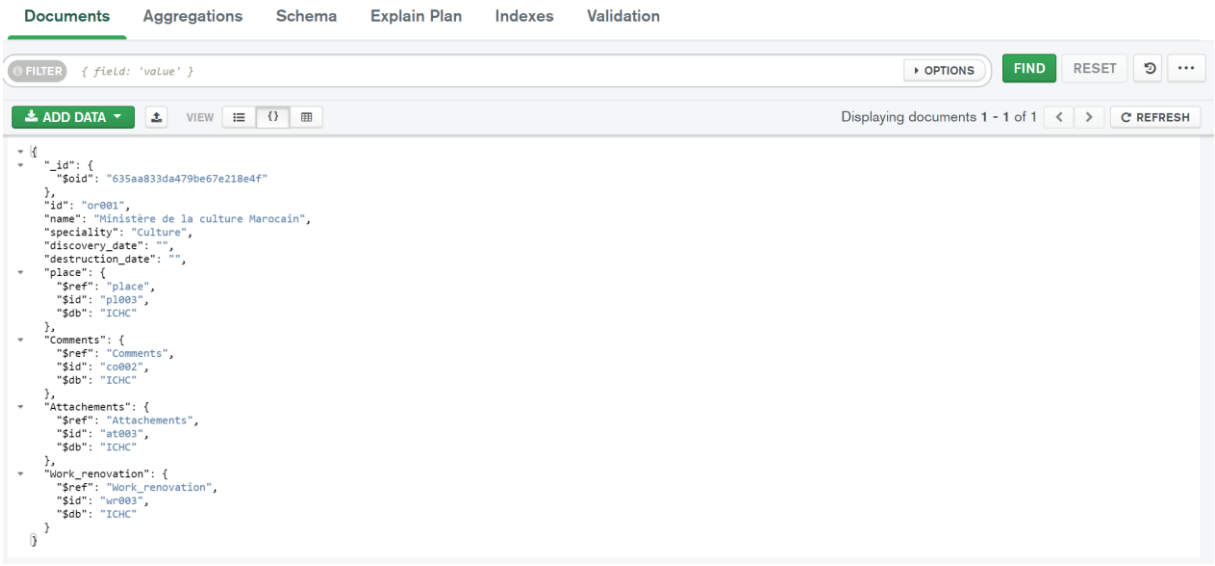


Figure 32: Représentation du document Organizations dans la base de données

Place Collection : La collection contenant les informations concernant les différentes autres collections

{id, name, country, city, street, zip_code, country, building_number , location : {type , coordinates : []}} .

Les coordonnées seront de type GeoJSON avec un index créé de type géographique(figure 33), MongoDB offre la possibilité d'indexer un document JSON afin qu'il puisse être interprété comme une géolocalisation d'un type d'un point, le type est aussi un qualificateur dans le document, il peut être un point, un polygone, un rectangle, un cercle etc… [55].

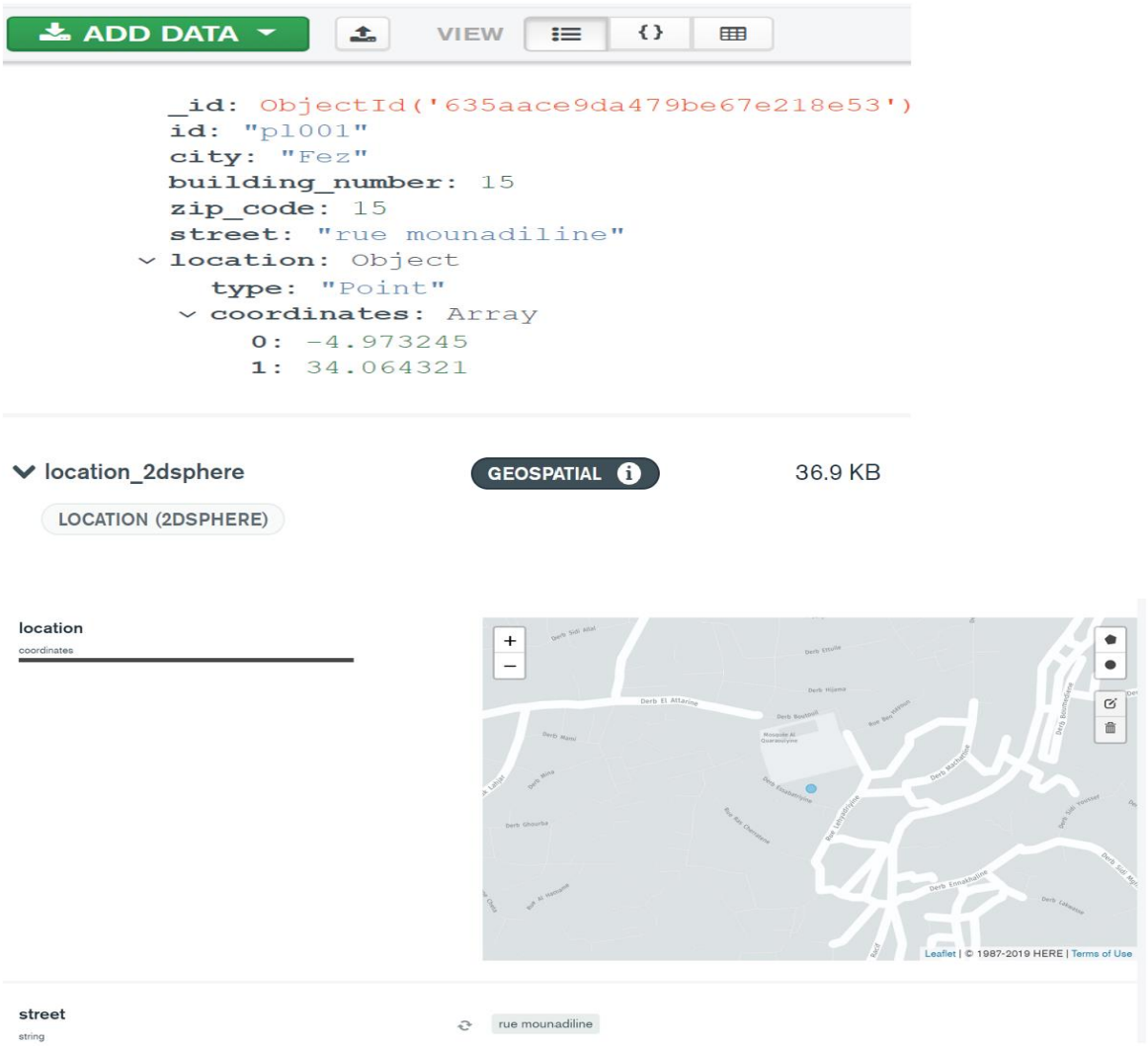


Figure 33: Représentation du document Place dans la base de données

Attachment Collection : Nous vivons dans un monde de vidéo haute définition, d'appareils photo 12 MP et de supports de stockage pouvant contenir 50 Go de données sur un disque de la taille d'un CD-ROM. Dans ce contexte, la limite de 4 Mo pour la taille maximale d'un document MongoDB peut sembler ridiculement insuffisante. En effet, vous pourriez vous demander pourquoi MongoDB, qui a été conçu comme une base de données pour l'ère high-tech d'aujourd'hui, a une limitation si étrange(figure 34). La réponse courte : la performance [56]**.** Cette collection contiendra toutes les informations relatives aux différents fichiers pouvant être rattachés soit à une entité patrimoniale, à une ressource humaine ou à une organisation. Il utilisera le mécanisme MongoDB GridFS qui fait référence à tous les fichiers en deux collections : ***chunks*** et ***files***. Il aura une référence $ref à la collection de fichiers [57] [58].

- Chunks Collection : La collection porteuse des données du fichier ***{id, fileId , data}.***
- FilesCollection : La collection porteuse des métadonnées concernant un fichier. ***{id, lenght, chunk_size , uploadDate, md5, filename, contentType, aliases , metadata}.***

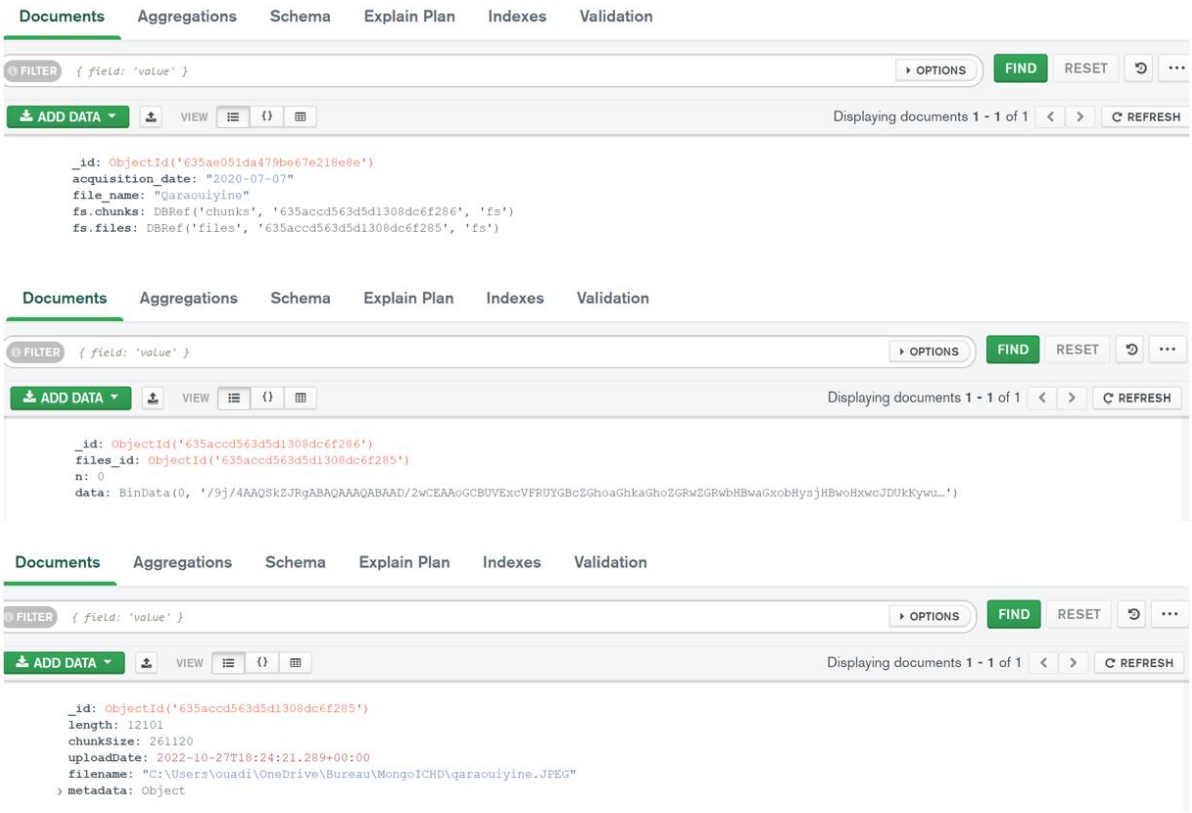


Figure 34: Représentation du document Attachements dans la base de données

Comments Collection: La collection contenant le texte considéré comme étant commentaire à propos d'entité culturelle, ressource humaine ou autre(figure 35).



Figure 35: Représentation du document Comments dans la base de données

Works and renovations : Tous les travaux ou les interactions faites sur une entité culturelle ou autre document(figure 36)**.**

{id, name, type, start_date, end_date , reason , cost, state etc… }

Works and renovations est une collection reliée aussi par l'opérateur **$ref** à d'autres collections :

- Human resources : Les travaux ou rénovations faites par une ressource humaine
- Organizations : Les organisations ayant interagit d'une manière ou d'une autre avec des travaux.
- Comments : Les commentaires relatifs à des travaux ou rénovations

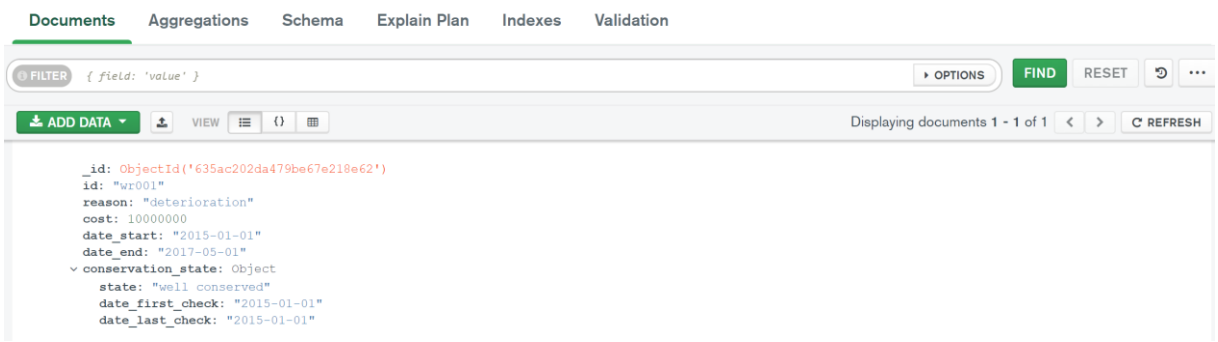


Figure 36: Représentation du document Work_renovations dans la base de données

Description : La collection contenant les attributs descriptifs d'une entité culturelle que ça soit les matériaux, paroles ou autres(figure 37).

{id, rights, source, materials, measurements, note etc…}

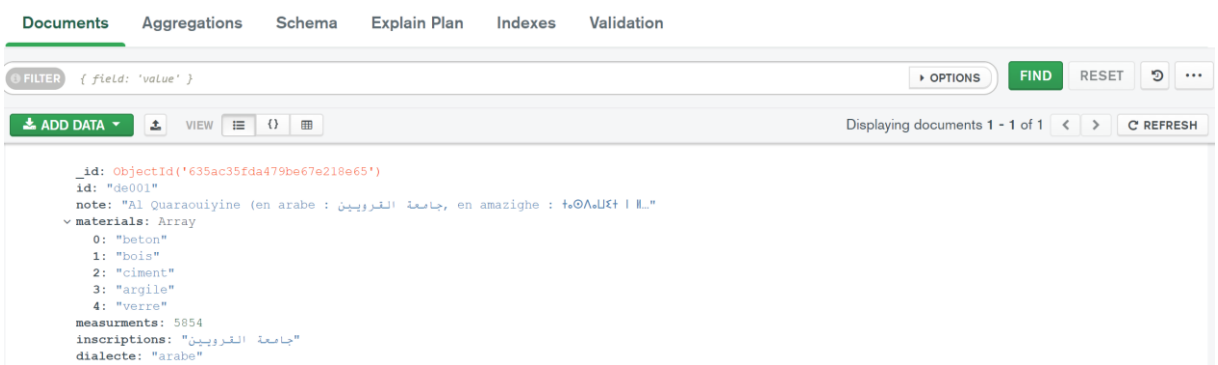


Figure 37: Représentation du document Description dans la base de données

3.5 Conclusion

Ce chapitre a présenté un modèle de données intelligent offrant une gestion innovante du patrimoine culturel. Ce modèle a été mis en place après prospection et étude de plusieurs modèles et ontologies existants tels que : CDWALITE, MUSUEMDAT, CIDOC CRM ou même DUBLIN CORE, présentant quelques contraintes freinant l'aboutissement à une gestion efficace et pertinente du patrimoine culturel matériel et immatériel.

L'ICHD (Intelligent Cultural Heritage Document) représente une nouvelle technologie permettant de réaliser un système de gestion du patrimoine culturel très particulier, et permettant de gérer de manière efficace l'ensemble des données et des informations nécessaires pour ce faire, tout en tenant compte de la variété des données à administrer.

Notre modèle est un modèle hybride qui se base sur les différents attributs classiques connus, tout en mettant en lumière de nouveaux attributs et de nouvelles relations. Ledit modèle accorde également une importance particulière à la ressource humaine, composante primordiale dans le cadre de ce travail.

La modélisation de l'ICHD se base principalement sur du JSON, qui constitue un format de données adéquat à notre contexte purement 'Bigdata', ce qui nous a permis, entre autres, de procéder au traitement des informations géographiques. Le Framework proposé se base également sur Mongodb pour la gestion de sa base de données.

Chapitre IV: Architecture Logicielle de la plateforme

4.1 Architecture microservices vs architecture monolithique

L'architecture des microservices est devenue extrêmement populaire car les architectures monolithiques traditionnelles ne répondent plus aux besoins d'évolutivité et de cycle de développement rapide [62], et le succès de certaines grandes entreprises dans la construction et le déploiement services est une forte motivation pour que d'autres envisagent de faire le changement. Les problèmes typiques associés à l'architecture monolithique sont techniques (par exemple, le système devient fortement couplé, difficile à entretenir, présente des effets secondaires) ou liés à l'entreprise (par exemple, temps long pour publier de nouvelles fonctionnalités, faible productivité de développeurs). Dans certains cas, utiliser l'architecture microservices représente la meilleure option pour résoudre les problèmes tout en améliorant la maintenabilité du système et surtout les performances de l'application [63].

Dans les systèmes basés sur des microservices, l'un des plus gros problèmes est la partition en services séparés, chacun d'eux doit être suffisamment simple pour avoir un ensemble de responsabilités. La gestion des données nécessite une attention particulière, car elle peut être l'un des goulots d'étranglement du système. Il est donc pratique qu'un seul ou quelques microservices accèdent aux données, mais cela peut affecter la réactivité de l'ensemble du système. Pour mieux comprendre le style microservice, il est utile de le comparer au style monolithique : une application monolithique construite comme une seule unité qui peut être très lente si beaucoup d'opérations sont nécessaires, non tolérante et non évolutive. Alors que les microservices sont un style architectural logiciel qui nécessite une décomposition fonctionnelle d'une application. Une application monolithique est décomposée en plusieurs services plus petits, chacun déployé dans sa propre archive, puis composé en une seule application utilisant une communication légère standard, telle que REST sur http [64].

4.1.1 Architecture monolithique

Dans une architecture monolithique, toutes les fonctionnalités sont encapsulées en une seule application, ses modules ne peuvent donc pas être exécutés indépendamment. Ce type d'architecture est étroitement couplé et toute votre logique de traitement d'une demande s'exécute en un seul processus. Cela vous permet d'utiliser les fonctionnalités de base de votre

langage de programmation pour diviser l'application en classes et fonctions. Avec quelques précautions, la possibilité d'exécuter et tester l'application sur un ordinateur portable en utilisant un pipeline de déploiement pour garantir que les changements sont correctement testés et déployés en production.

Bien que ce soit une bonne idée de démarrer un projet en utilisant ce type de l'architecture, car cela vous permet d'explorer à la fois la complexité d'un système et des limites de ses composants [65]. Une fois que l'application devient volumineuse et que l'équipe grandit, cette architecture présente des inconvénients qui deviennent de plus en plus significatif [66] [67] :

- L'application peut être difficile à comprendre et à modifier. En conséquence, le développement ralentit généralement.
- Le déploiement continu est difficile ; Une modification apportée à une petite partie de l'application nécessite le monolithe entier à reconstruire et à déployer.
- La mise à l'échelle de l'application peut être difficile (l'architecture est qu'elle ne peut évoluer qu'horizontalement).
- Nécessite un engagement à long terme dans une pile technologique.

4.1.2 Architecture microservices

Les architectures de microservices s'écartent de l'architecture traditionnelle orientée services (SOA). Influencé par le Domain Driven Design (DDD) [68]. L'architecture microservices est une approche pour développer une seule application en se basant sur plusieurs petits services. Chacun exécutant son propre processus et communiquant avec mécanismes légers (par exemple, les API HTTP) [69] ou même des systèmes de messaging pour des réponses asynchrones. Les microservices sont construits autour du sujet métier que chacun traite et peuvent être déployés indépendamment par des machines de déploiement entièrement automatisées. Parce que de leur taille, ils sont plus faciles à entretenir et plus tolérants aux pannes puisque l'échec d'un service ne brisera pas l'ensemble système, ce qui pourrait arriver avec une architecture monolithique [70].

Par conséquent, ce style permet de concevoir des architectures qui devraient être flexible, modulaire et facile à faire évoluer [71]. Bien qu'il y n'ait pas été une large acceptation d'une définition spécifique, l'approche des microservices peut être considérée comme une mise en œuvre de l'architecture orientée services (SOA) [72]. Ces dernières années, de nombreux grands systèmes sont passés d'applications monolithiques autonomes constituées de composants

interconnectés et interdépendants (voir figure 38) à des collections de grands services (c'est-à-dire la SOA traditionnelle), et en plus des collections de petits services autonomes et légers connectés .Le rythme élevé de la demande du marché pour de nouvelles applications fonctionnalités nécessitent des modifications à la fois dans les applications elles-mêmes (couplage lâche et évolutivité élevée) et dans la manière dont ils sont construits (dépendances d'équipe lâches et déploiement rapide). Les microservices répondent à ces deux problèmes puisque les petits services peuvent être construit et déployé par des équipes de développement indépendantes ; la liberté concomitante permet aux équipes de se concentrer sur l'amélioration de chaque service et chaque brique spécifique.

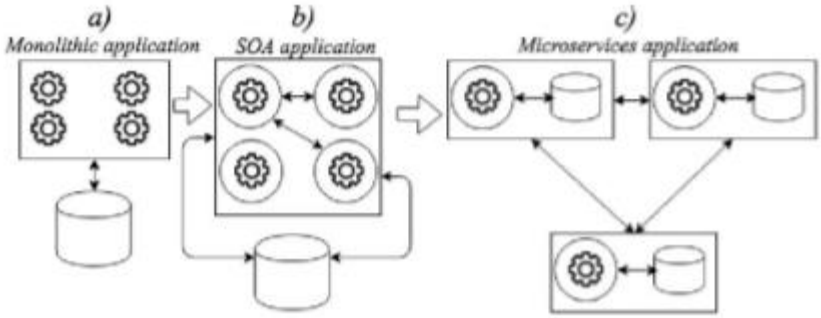


Figure 38 : De l'architecture Monolithique à l'architecture microservices

4.2 Architecture applicative pour le modèle proposé

Le framework ICHC décrit dans la figure 39 est l'ensemble des API et de la structure qui constituent l'architecture basée sur des microservices composée de trois services, chaque microservice sera responsable d'un type de patrimoine culturel, de sa base de données, de sa communication et de son activité. Le premier microservice gérera tout le patrimoine culturel immatériel tandis que les deux autres géreront le patrimoine matériel, le second gérera le patrimoine culturel mobilier et le troisième immobilier [41]. L'architecture illustrée à la figure 39 décrit comment chaque microservice est composé et comment il communique. Tous ces microservices communiquent en 3 étapes :

ICHC API gateway : Fait abstraction de l'architecture interne du système et fournit une API spécifique à chaque service. Il s'agit d'un point d'entrée unique pour le système et gère souvent les demandes entrantes en appelant plusieurs services et en agrégeant les résultats [73].

ICHC Service registry : Tous les microservices s'enregistrent dedans au démarrage de l'application et effacent leur enregistrement une fois l'application s'arrête. Donc le service registry contient la localisation de tous les microservices de l'application [74].

ICHC Configuration service : Le service porteur de toutes les configurations de l'application et par conséquent des différents microservices [75].

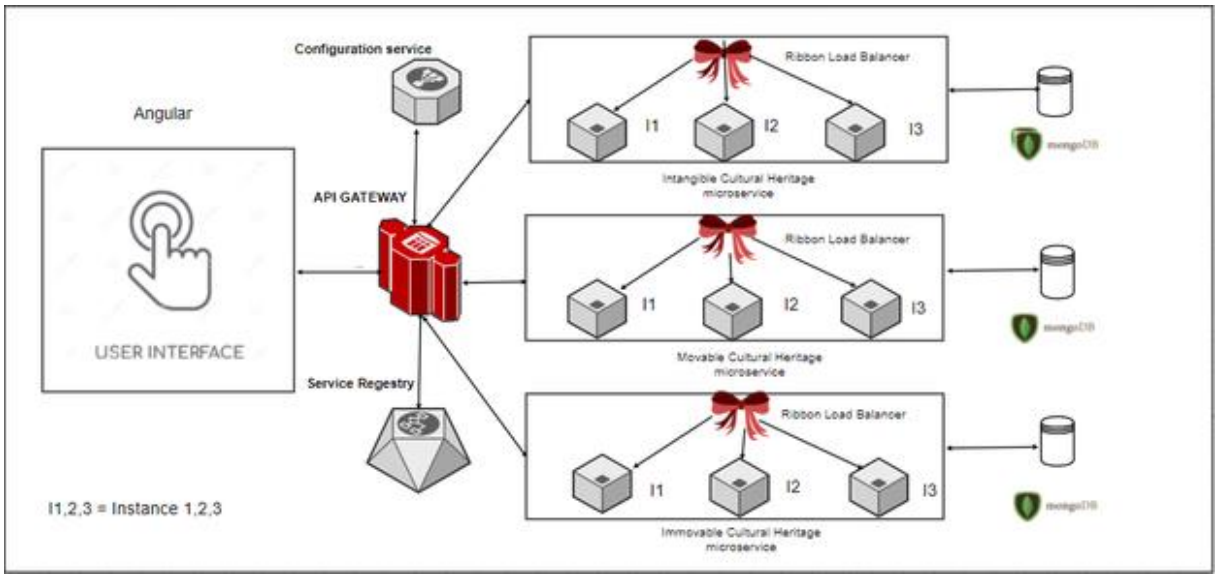


Figure 39 : Architecture du framework ICHC

4.2.1 L'architecture d'un microservice

Les composants de la figure 40 décrivent le fonctionnement d'un microservice en interne et montrent les différentes couches impliquées :

ICHC web Layer: l'API exposant les différents services Web du patrimoine culturel à notre interface utilisateur [41], elle est composée de :

• web server : le serveur web Tomcat, qui est le serveur embarqué par défaut dans Spring Boot, c'est un conteneur de SERVLET bien connu qui peut exécuter une SERVLET, une SERVLET est une classe Java qui vous permet de créer dynamiquement des données au sein d'un serveur http [76]. Les données sont généralement représentées au format HTML, XML ou JSON. Dans notre cas, ce sera au format JSON [77].

• ICHC Query API: il s'agit des différents services web [78], qui appelleront indirectement notre moteur ICHC pour obtenir des informations de notre base de données NoSql et les restituer via les APIs à travers la sérialisation adéquate [79].

• ICHC Administration API: services web utilisant ICHC Store Manager pour persister et mettre à jour les données.

ICHC buisness Layer: est la couche chargée de communiquer la couche web et la couche de gestion des données ICHD tout en gérant les règle métier et les différents workflows d'une entité culturelle

ICHC Data management Layer: La couche persistante, la plus importante et la plus critique, elle contient les composants suivants :

1. Le data model context: Le contexte du modèle de données ce sera tout ce qui est lié à notre modèle de données JSON. Collections, ressources, métadonnées et tous les autres modèles JSON comme GridFS pour la gestion de fichiers et plus encore.

2. ICHC Store Context : le contexte contenant les différentes briques permettent d'interagir avec la base de données.Il se compose de :

- ICHC Query Engine
- ICHC Store Manager
- ICHC Starter

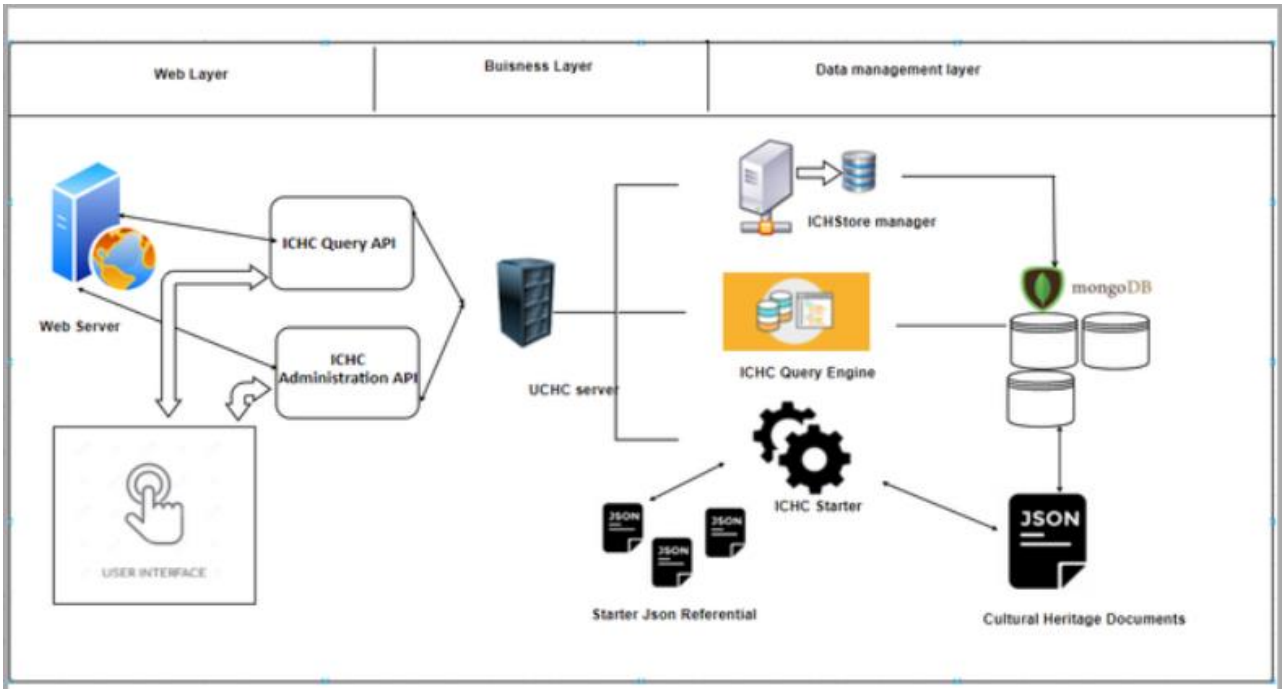


Figure 40 : Architecture d'un microservice ICHC

Flux microservice du modèle de données: La figure 41 décrit le microservice décrit plus haut aide effectivement à faire le pont avec la base MongoDB à travers une représentation telle qu'elle est sous format documents. Un format document lui-même basé sur le modèle de données ICHD mise en place pour les entités culturelles (figure 32).

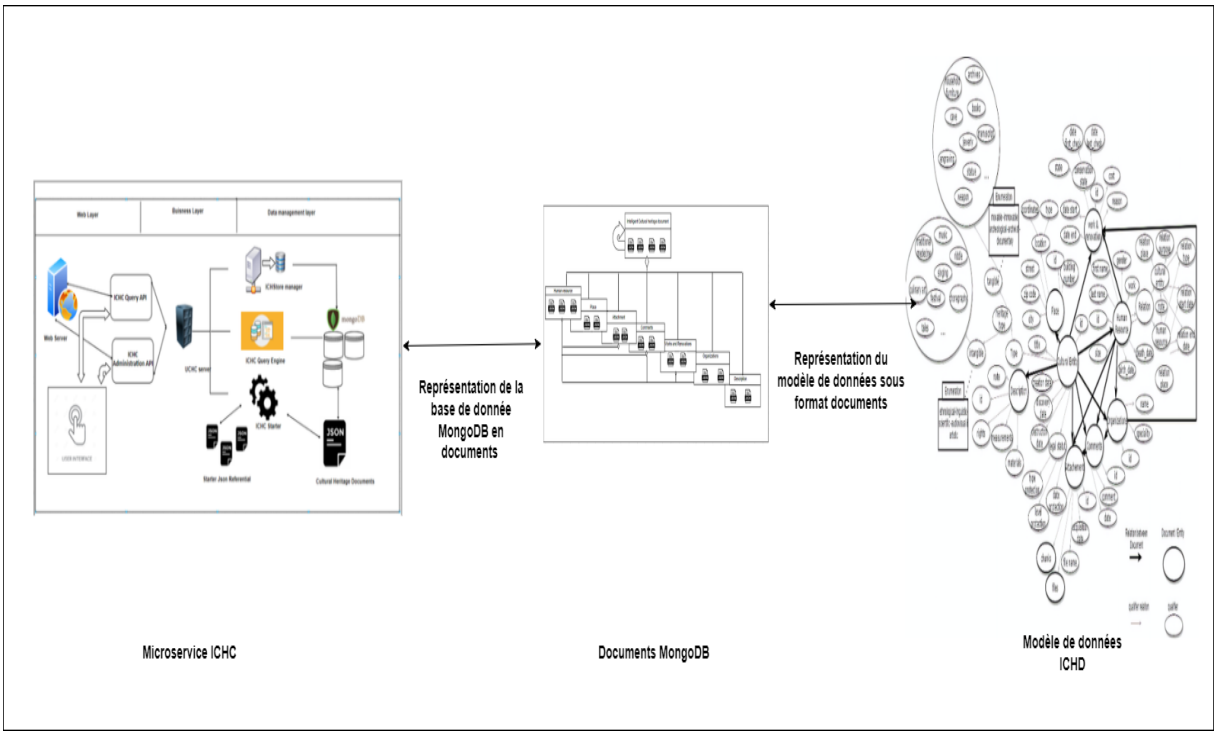


Figure 41:Flux d'un microservice sur le modèle de données

4.2.2 ICHC query engine

Le moteur ICHC offre une multitude d'opérations que ça soit au niveau des opérations de base comme la recherche ou même faire des calculs de pertinence de texte ou des traitements géographique [41]. Il peut aussi offrir un mécanisme d'agrégation qui permet des opérations beaucoup plus complexes, toutes ces opérations sont décrites ci-dessous :

Recherche : La recherche peut se faire sur tous les attributs du patrimoine culturel, qu'ils soient des attributs numériques, dates, chaines de caractères ou même des sous documents. Il suffit de spécifier l'attribut voulu dans un document JSON avec la valeur voulue *({attribut intelligent : value })*, ce JSON est le paramètre de la fonction *find* offerte par MongoDB [80]:

```
db.ICHD.find ({ title: "Al Quaraouiyine" } )
```

Aussi pouvoir utiliser des opérateurs pour combiner plusieurs critères de recherches en utilisant des opérateurs spéciaux comme dans l'exemple ci-dessous ou la requête retourne un document JSON qui est de type ***monument*** ou le titre ***Al Quaraouiyine*** ou encore sa date de création comprise entre l'an ***200 et 800,*** ou plus important encore récupérer les relations avec une ressource humaine dans une époque donnée. Par la suite ces ressources humaines pourront même donnée suite à d'autres relations avec d'autres ressources du cycle de vie de l'entité culturelle.

```
db.ICHD.find (  { $or : [
                {type.entity_type : " monument "}
                {title: "Al Quaraouiyine" },
                {creation_year :{ $in : [200 ,800] },
                {related_human_resources.first_name : { $in :
                 [ 'Fatima', 'Napoleon'] }}
                ] })
```

L'utilisateur de cette la plateforme pourra aussi la requêter de manière à avoir à titre d'exemple, tout le patrimoine culturel qui se trouve entre mille mètres et cinq milles mètres d'une géolocalisation donnée en indexant les documents géographiquement [81]. Cette requête est construite pour interroger le modèle de données à l'aide de plusieurs opérateurs qui sont mis en places pour traiter le GeoJSON (format géographique du JSON). Ces opérateurs sont les suivants :

$near : Pour retourner les documents GeoJSON proches d'une certaine distance qui sera donnée en paramètre par la suite [82].

$geometry : Le type de la localisation recherchée

$minDistance : La distance minimum requise lors de la recherche

$maxDistance : La distance maximum requise lors de la recherche

```
db.places.find( {
                location: { $near:
                { $geometry: { type: "Point",
                                coordinates: [ -73.9667, 40.78 ] }
                        , $minDistance: 1000, $maxDistance: 5000
                    }
```

```
        }
    } )
```

Recherche par pertinence de texte : Le stockage de plusieurs notes, commentaires, descriptions et de texte en général peut conduire à complexifier les requêtes sur le texte en général. Dans ce travail il a été décidé d'utiliser Apache Lucene qui est une bibliothèque intégrée à l'atlas MongoDB qui indexe et recherche le texte en fonction du score [83].

Lucene utilise une combinaison du modèle spatial vectoriel (VSM) de recherche d'informations et du modèle booléen pour déterminer la pertinence d'un document donné par rapport à la requête d'un utilisateur. En général, l'idée derrière le VSM est que plus un terme de requête apparaît dans un document par rapport au nombre de fois où le terme apparaît dans tous les documents de la collection, plus ce document est pertinent pour la requête. Il utilise le modèle booléen pour affiner d'abord les documents qui doivent être évalués en fonction de l'utilisation de la logique booléenne dans la spécification de la requête. Lucene ajoute également des fonctionnalités et des améliorations à ce modèle pour prendre en charge la recherche booléenne et floue, mais il reste essentiellement un système basé sur VSM au cœur [84].

Pour rechercher un mot dans la collection *Comments* du modèle proposé, il va falloir interroger l'attribut *comment* contenant le texte voulu. A titre d'exemple, rechercher les commentaires par pertinence contenant le mot Napoléon dans tous les commentaires de la collection, mais tous les résultats ne nous permettent pas d'être dans le même niveau de pertinence. Pour ce faire, il faut indexer tous les documents par un index FTS (full text search) [85] et préciser que le *mapping* aux champs sera dynamique afin qu'il scanne tous les attributs contenant des valeurs de texte et les indexes pour une recherche de texte **`{ mappings : { Dynamic :true} }`**.

Les requêtes dans FTS sont gérées par l'opérateur **$searchBeta** où sera définit le chemin exact vers le qualificatif choisi pour appliquer la recherche sur le paramètre donné. Ensuite, sera utilisé le deuxième opérateur **$project** qui donnera le résultat sous forme de projection de nos documents plus le score de chaque document

Exemple de recherche par pertinence :

```
db.ICHD.aggregate( [
        { $searchBeta: { "search":
```

```
        { "path": "Comments.comment", "query":
"Napoléon" } } },

        { $project: { _id : 0, Comments: 1, 'score': {
$meta: 'searchScore' }, } }

]).pretty()
```

Le résultat retourné est une projection du document voulu classé par score, comme ça les documents les plus pertinents sont retournés en premier :

```
[
        { comment(1) , score : value } ,
        { comment(2) , score : value } ,
        … … … ,
        { comment(n) , score : value }
]
```

4.2.3 ICHC Starter

Le ICHC est la brique qui permettra de communiquer avec différents organismes, le but est simple, pouvoir se connecter à un organisme donné à travers des APIs, récupérer les données qu'il y aura à insérer dans notre base de données ou à modifier, puis les sauvegarder [41].

L'ICHC Starter montré dans la Figure 42 est le composant permettant d'acquérir les données de différents partenaires (musées, organisations, ministère, etc.). Il s'exécute lorsque le serveur mongodb démarre pour remplir la base de données ou ajouter des informations manquantes, les données recueillies peuvent être de formats différents (csv, xml…etc) et nécessitera donc une transformation en JSON.

Le Starter se repose sur trois étapes primordiales :

- **Extractor** : Extraire les données des sources
- **Verifier** : Vérifier les données et les traiter
- **Loader** : Ecrire les données dans la source finale

C'est pourquoi le ICHC Starter est une brique basée sur les principes d'un batch pour former une sorte d'ETL [86] qui permettra d'extraire les données des partenaires et de les transformer en différents ICHD au format JSON.

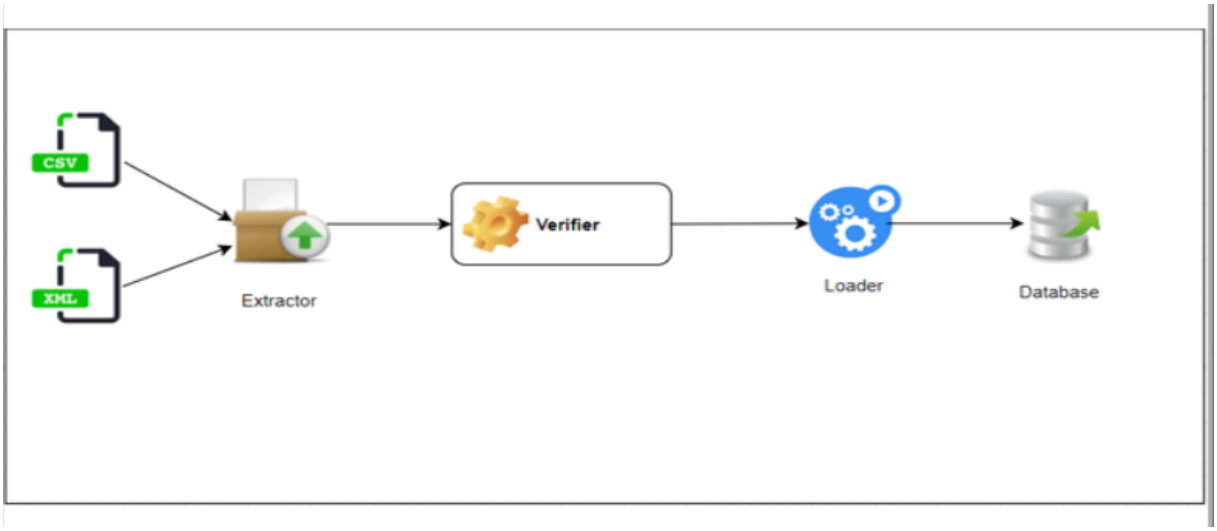


Figure 42 : Vue d'ensemble du ICHC Starter

Le batch permettant la récupération des données des partenaires est un job Spring batch basé sur java, le framework spring batch définit le batch comme étant mécanisme permettant de lire, traiter et écrire les données depuis et vers une source [87]. Le batch se compose de différentes step, chaque step est une étape bien précise qui permet la lecture et écriture. Le step se base sur trois étapes principales [88] :

1. **ICHCReader** : La brique utilisant la classe java permettant de lire depuis des données sources, elle offre une multitude de librairies pour lire les données de différentes source (XML, CSV , JSON , …etc) puis cette classe passe la source lue à la classe ItemProcessor .
2. **ICHCProcessor** : La deuxième étape de notre processus permettant de faire des traitements métier ou de corriger des informations avant de données la main à la troisième et dernière étape.
3. **ICHCWriter** : La dernière étape du processus utilisant la classe permettant d'écrire dans une source cible, qu'elle soit xml , csv ou même base de données . Elle offre aussi une multitude de librairies qui permettent d'écrire dans différentes sources.

La figure 43, ci-dessous, montre l'architecture technique proposée du ICHC starter

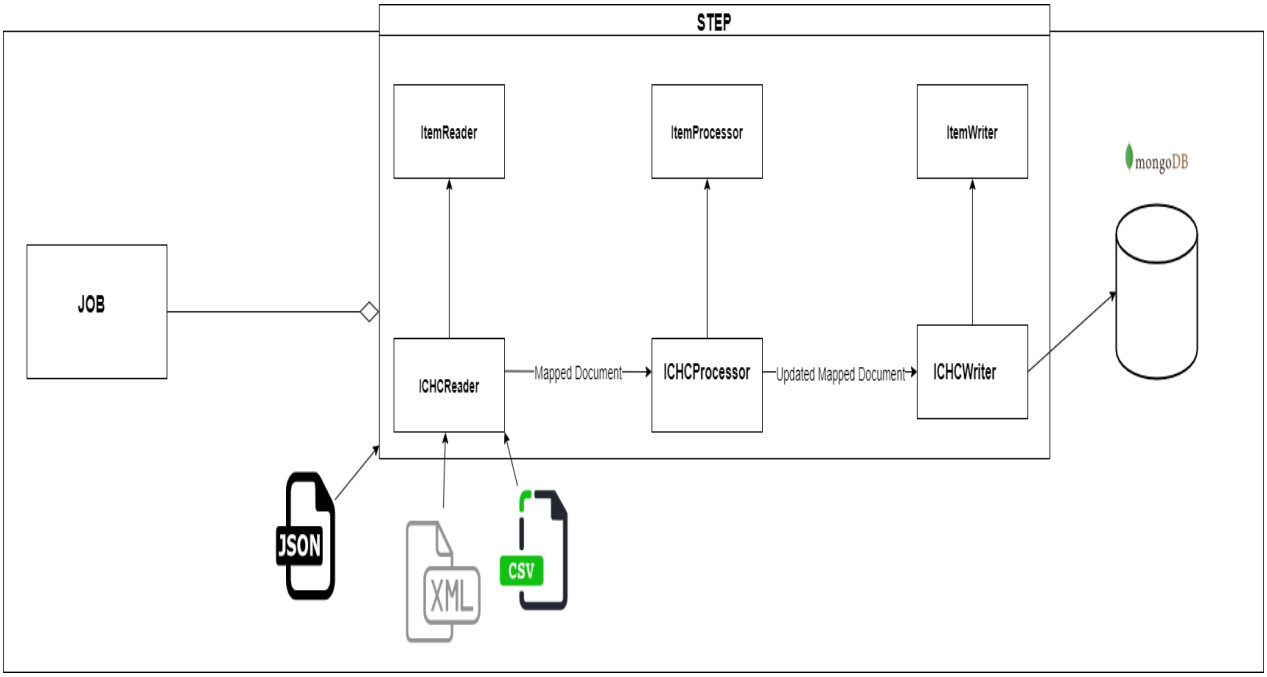


Figure 43 : Architecture Technique du ICHC starter

4.2.4 ICHC store manager

La brique de l'architecture permettant la gestion du stockage des fichiers sur le serveur mongodb, au lieu de se baser sur la façon de faire de mongodb ou tout est centralisé en un seul fichier ce travail vise à appliquer le pattern Map/Reduce sur le stockage, un pattern connu du milieu du bigdata pour sa parallélisation des traitements pour un gain en performance. Par conséquent au lieu de tout centraliser, distribuer les fichiers de stockage qui contiendront les données du patrimoine culturel.

Définition Map/Reduce

MapReduce est un paradigme de calcul qui traite de grandes masses de données (plusieurs téra-octets pour le moins) en parallèle sur de grands clusters (plusieurs milliers de noeuds), de façon à être tolérant aux pannes.MapReduce est un des patrons de l'architecture dans le monde des calculs parallèles et distribués de données très volumineuses [89].

MapReduce permet de manipuler de grandes quantités de données en les distribuant dans un cluster de machines pour être traitées. Ce modèle connaît un vif succès auprès de sociétés possédant d'importants centres de traitement de données telles que Facebook, Yahoo ou encore Google [90].

En programmation fonctionnelle [91] :

- Map : consiste à appliquer une même fonction à tous les éléments de la liste

  map(f) [x0, ..., xn] = [f(x0, ...,f(xn)]

- Reduce : Applique une fonction récursivement à une liste et retourne un seul résultat

  reduce(f) [x0, ..., xn] = f(x0, f(x1, f(x2, ...)))

1. L'ensemble des données à traiter est découpé en plusieurs lots ou sous-ensembles : Dans le cas du Store Manager, le fichier contenant la totalité des données sera divisé en plusieurs sous-fichiers

2. Dans une première étape, l'étape MAP, Cette opération transforme la paire (clé, valeur) représentant le lot en une liste de nouvelles paires (clé, valeur) constituant ainsi des résultats intermédiaires du traitement à effectuer sur les données complètes, ou dans le cas du Store Manager si une opération d'insertion a lieu (***db.collection.insert()***) cette insertion sera appliquée aux sous-fichiers avec des clés valeurs ou la clé est le nom du fichier et la valeur est le document à insérer

3. Avant d'être envoyés à l'étape REDUCE, les résultats intermédiaires sont regroupés et triés par clé. C'est l'étape de SHUFFLE and SORT.Dans le cas du Store Manager cette étape organise par nom de fichiers l'ensemble des fichiers pour faciliter le traitement de l'étape suivant [92]

4. Enfin, l'étape REDUCE consiste à appliquer l'opération reduce, spécifiée le problème, à chaque clé. Elle agrège tous les résultats intermédiaires associés à une même clé et renvoie donc pour chaque clé une valeur unique. Dans le cas du Store Manager, s'il faut répondre à une requête sur l'ensemble des fichiers, il y aura une agrégation sur le résultat de chaque fichier pour trouver la valeur globale. La figure 44 illustre le principe du pattern Map/Reduce.

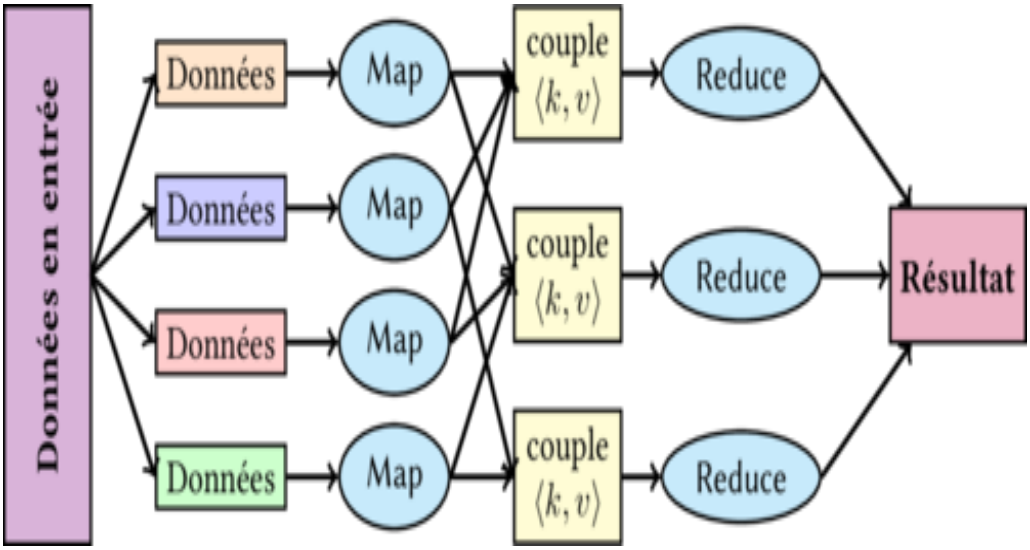


Figure 44 : Principe du pattern Map/Reduce

Implémentation de Map/Reduce dans l'ICHC framework

Au lieu d'avoir un énorme fichier en mémoire contenant nos données à l'intérieur du serveur MongoDB il y aura une division, le fichier sera divisé en sous-fichiers beaucoup plus petits contenant moins d'informations afin de pouvoir paralléliser les opérations. Ainsi, au lieu de mettre à jour ou d'insérer dans un seul gros fichier JSON, ceci sera fait dans les différents fichiers et réduira le résultat dans la collection globale par la suite. Le gain de temps et de sécurité relative que nous donnerons aux données sera considérable. Il y aura également un dossier de métadonnées contenant toutes les métadonnées liées aux différentes collections.

La description de la distribution des fichiers sur la figure 36 est composée de plusieurs dossiers. Tous les dossiers contiennent les différentes collections des documents JSON. Sachant que la plateforme aura à traiter une énorme quantité de données qu'elle devra répondre à la problématique de la vélocité, l'architecture du référentiel a été modélisée de manière à ce qu'il puisse correspondre au pattern **MAP/REDUCE.**

La figure 45 illustre les distributions des fichiers du système de stockage ICHC.

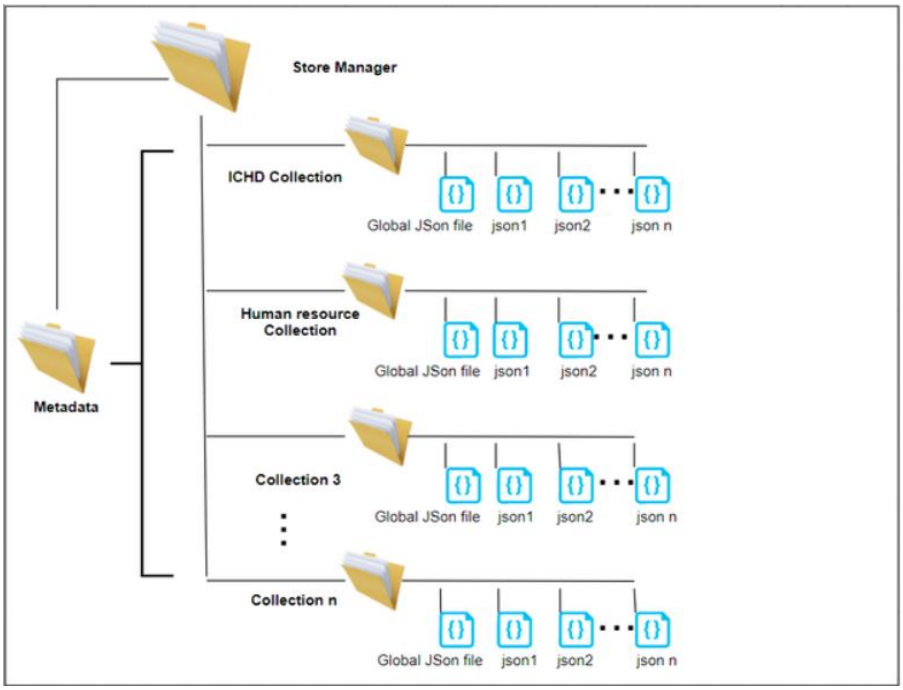


Figure 45 : Distribution des fichiers du système de stockage ICHC

L'adaptation sur le modèle ICHD en programmation fonctionnelle donne le résultat suivant :

- **Map** : consiste à appliquer une même fonction à tous les éléments de la liste,ou dans le cas d'un FICHD (File for Intelligent Cultural Heritage Document) ou fichier de patrimoine culturel intelligent

*map(**db.collection.insert()**) [FICHD0, ..., FICHDn] = [**db.collection.insert**(FICHD0),…., **db.collection.insert**(FICHDn))]*

- **Reduce** : Applique une fonction récursivement à une liste et retourne un seul résultat

*reduce(**db.collection.find()**) [FICHD0, ..., FICHDn] =*

***db.collection.find**(FICHD0,…, **db.collection.find**(FICHDn))))*

La figure Figure 46 illustre donc l'application du pattern Map/Reduce à une collection ICHC

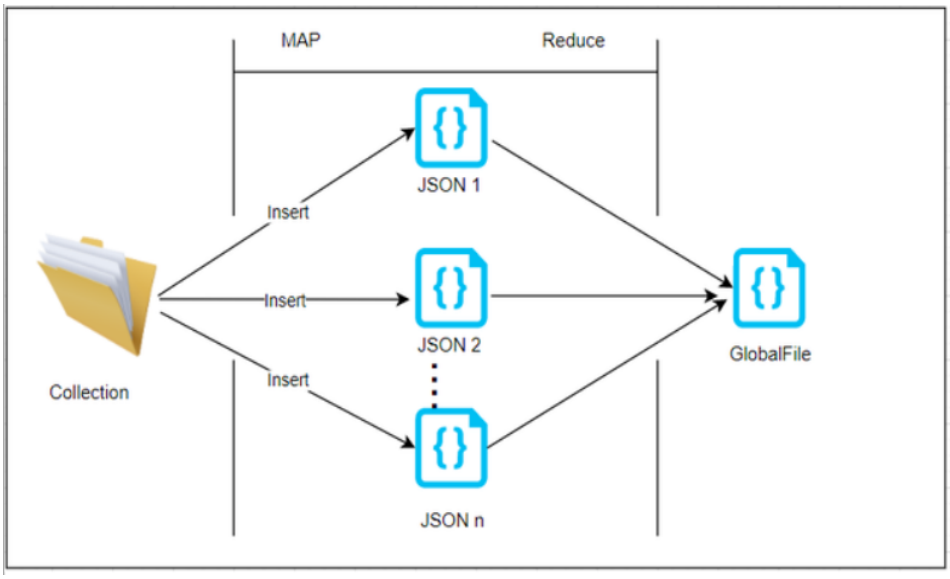


Figure 46 : Application du pattern Map/Reduce à une collection ICHC

4.3 Conclusion

Aujourd'hui, la quasi-totalité des plateformes en charge de recenser le patrimoine culturel se base sur des modèles de données fixes et non évolutifs, des modèles de données répondant à la problématique classique du relationnel entre entités.

L'évolution informatique se veut de mettre en place un modèle de données englobant la variété et l'évolutivité dans un contexte « Bigdata », et reposant sur une architecture robuste mettant l'accent sur l'importance de la ressource humaine et sa proximité avec l'entité culturelle alors que d'autres modèles de données la considère comme une entité secondaire ou un acteur secondaire.

L'architecture de notre modèle était donc développée dans un contexte « Bigdata » englobant l'énorme quantité de données pouvant être traitées, d'où l'évolution de la plateforme monolithique classique à une plateforme basée sur des microservices, où chaque microservice prend la responsabilité de gérer une partie du patrimoine culturel. Cette approche a permis un gain considérable en vélocité et surtout un découplage de traitement, sans oublier que ceci permet de concevoir des architectures flexibles, modulaires et facile à faire évoluer, surtout dans la mesure où le modèle de données final restera toujours améliorable puisque le patrimoine culturel immatériel ne sera jamais catalogué d'une manière sereine.

Ce chapitre s'est intéressé principalement à l'architecture de la plateforme de ce travail, et a argumenté certains choix notamment celui de se baser sur une architecture micro-service. Ce chapitre a également décrit les différentes briques de l'architecture proposée, que ça soit le ICHC query engine, le ICHC starter ou le ICHC Store Manager. Ces trois briques traitent les problématiques liées respectivement : à l'interrogation de la plateforme, l'acquisition des données à travers des partenaires et finalement la mise en place d'un système de stockage élaboré pour un gain en performance.

Etant donné que la préservation du patrimoine culturel est au centre de nos intérêts, nous avons pensé, dans le cadre de cette recherche, à mettre en place une solution IoT hybride, détaillée dans le chapitre V, et permettant la mise en place de capteurs en charge de remonter les informations essentielles concernant les œuvres d'arts, sites archéologiques etc…

Chapitre V: Surveillance et préservation du Patrimoine Culturel

5. 1 L'IOT et la préservation du patrimoine culturel

Il va sans dire que l'une des méthodes les plus efficaces pour surveiller les "choses" qui nous entourent est le concept IoT. Le patrimoine culturel ne représente donc pas une exception et constitue un domaine d'application clé pour l'IoT, car la conservation des sites du patrimoine culturel, des objets ou des œuvres d'art peut être considérablement améliorée avec un système efficace et bien conçu visant à contrôler la surveillance. Il existe cependant plusieurs options pour appliquer l'IoT aux différents cas de gestion du patrimoine culturel.

Il est à noter dans ce sens, que les conceptions IoT actuellement mises en œuvre pour l'observation et la protection des bâtiments historiques, jouent un rôle essentiel dans la préservation des valeurs culturelles éternelles que ces structures symbolisent [93]. Néanmoins, les applications IoT trouvent encore quelques difficultés à jouer un rôle particulier dans la préservation des valeurs culturelles perpétuelles que ces structures signifient. Par ailleurs, via l'administration des données obtenues par le biais de capteurs électroniques, la technologie IoT pourra, sans aucun doute, contribuer à la conservation préventive du patrimoine culturel (CH) [93].

Il est à préciser que la ″surveillance″ et le ″contrôle″ sont principalement basés sur le concept IoT, dans lequel une "chose" peut être n'importe quel type d'œuvre d'art [94]. L'installation de minuscules nœuds de capteurs et de passerelles pour la transmission de données vers le cloud ferait partie d'une stratégie IoT pour la conservation de l'art. En raison de la simplicité d'accès du cloud aux données recueillies par les capteurs électroniques, l'installation de cette technologie IoT permettrait une surveillance en direct et une supervision constante des composants individuels, renforçant ainsi la sécurité et la conservation préventive [95].

5.2 Dégradation du patrimoine culturel matériel et travaux existants

Il sied de commencer ce paragraphe par définir une catastrophe comme un risque naturel ou artificiel (créé par l'homme) qui cause des dommages corporels considérables, des pertes de vie

et la destruction de biens. Théoriquement, il s'agit de toute situation terrible causée par des catastrophes naturelles telles que des tempêtes, des inondations, des incidents catastrophiques, des incendies ou des explosions [96]. Les catastrophes peuvent nuire à la santé, aux biens, à la vie économique, culturelle et sociale des personnes. Les catastrophes se caractérisent par leur rapidité, leur urgence, leurs troubles, leur volatilité, leurs risques et les pertes de vies humaines, animales et matérielles. Il existe de nombreux plans de relèvement d'urgence en place pour atténuer les conséquences d'une catastrophe, et bien que nous ne puissions pas y remédier, nous pouvons certainement limiter son impact. Les catastrophes naturelles comprennent les tremblements de terre, les glissements de terrain, les inondations, l'érosion des cours d'eau, les cyclones, les tsunamis et les incendies, entre autres [97]. Les catastrophes nucléaires, chimiques, minières et biologiques sont autant d'exemples de catastrophes provoquées par l'homme [98]. Ce sont parmi les catastrophes environnementales les plus dangereuses et les plus imprévisibles, causant des destructions et faisant des milliers de morts dans le monde [99].

Les dispositifs IoT utilisés dans la gestion des catastrophes visent non seulement à minimiser les dommages causés par les catastrophes, mais également à fournir aux victimes une assistance rapide et efficace et à se remettre rapidement de ces catastrophes [100]. Tous ces objectifs sont atteints en utilisant des appareils IoT efficaces, mais il est à noter que différents types d'informations sur les dommages causés par les catastrophes sont nécessaires pour une planification efficace des catastrophes et une assistance immédiate. Les technologies IoT qui sont maintenant relativement matures peuvent effectivement aider à atténuer les dommages causés par une catastrophe [101].

En résumé, L'IoT est une technologie prometteuse qui est utilisée dans une variété de contextes et d'applications, y compris la gestion des catastrophes. L'objectif principal de l'Industrie 4.0 IoT est de maximiser les revenus via l'utilisation de machines en réseau et d'objets intelligents, ainsi que d'améliorer l'efficacité de la production Web [102].

5.2.1 L’IoT et le patrimoine culturel immobilier

De nos jours le rôle de l'IoT dans la gestion des catastrophes est primordial, l’IoT peut réellement sauver des vies, comme peut pertinemment, dans le cas de notre travail, sauver du patrimoine culturel. L'IoT peut donc être considéré comme un modèle de connectivité récent qui envisage un avenir proche dans lequel les objets du quotidien sont équipés de microcontrôleurs, transportant des émetteurs-récepteurs de données et des piles de procédures

appropriées qui permettront aux utilisateurs de communiquer et de transformer une partie importante d'internet à un degré correspondant [103]. Le cadre IoT vise à rendre le Web plus complet et omniprésent [104].

Pour faire face correctement aux circonstances dangereuses, les informations nécessaires doivent être interconnectées en partageant les connaissances ou les pratiques et les arrangements, les choix et les activités. De plus, lors d'une catastrophe quelconque, certains talents et expériences doivent être combinés pour mener à bien des opérations difficiles telles que l'évacuation d'une zone de crise ou la réalisation de processus par des actionneurs. La mauvaise gestion est exacerbée par un manque de voies de communication et d'infrastructures de transport pour aider au développement des connaissances. Il existe plusieurs formes de catastrophes pouvant être modélisées par l'IoT, chacune avec son propre ensemble d'étapes au cours desquelles l'IoT peut intervenir pour atténuer ladite catastrophe. Les inondations peuvent être évitées grâce à des systèmes d'alerte précoce, mais le même système n'est pas utilisable en cas de sécheresse. Certaines inondations sont qualifiées comme les catastrophes environnementales les plus dangereuses et les plus imprévisibles, causant des destructions massives et faisant des milliers de morts dans le monde. Les inondations sont les aléas naturels les plus couramment rencontrés, notamment dans les zones côtières d'eau de mer, des océans, des étangs, ou à proximité de cours d'eau (que le cours d'eau soit pérenne ou temporaire).

L'impact négatif sur le patrimoine culturel immobilier (PCI) commence donc lorsque des parties de structures ou de sites archéologiques sont submergées ou disparaissent entièrement, ce qui rend leur récupération presque difficile. L'IOT permet au système l'utilisant de détecter de manière précoce des glissements de terrain et d'accueillir un réseau de capteurs sans fil. Le service d'évaluation des risques d'inondation basé sur des applications IoT couplé à un contexte Big Data outre les nouveaux systèmes d'alarme et d'analyse efficaces permettent la création de différentes plateformes visant la préservation du patrimoine culturel [105] présentent un système de surveillance de l'eau compatible avec l'IoT qui surveille les activités aquatiques en temps réel. Il fournit une géo-informatique d'alerte précoce à l'IoT (par exemple, la télédétection (RS), le SIG et le GPS).

Aussi, les applications Internet et Cloud offrent une approche innovante concernant les inondations liées à la fonte des neiges, composée des axes suivants : stockage de données dans le cloud, un système de contrôle, des logiciels et des utilitaires, ainsi que des technologies et des installations IoT. Le dispositif de capteur de niveau d'eau détectera le seuil d'objectif. Par conséquent, si l'étendue de l'eau dépasse la variable, la notification est envoyée en temps réel.

De même, l'utilisation de la technologie IoT par les sauveurs a le potentiel d'améliorer les opérations SAR [106].

Une autre approche de la gestion des catastrophes liées aux inondations consiste à utiliser la gestion post-inondation dans les zones urbaines avec l'utilisation de la technologie IoT contemporaine. Nous pouvons améliorer l'efficacité du contrôle et de la gestion des inondations et aboutir à sauver des victimes de catastrophes à l'aide de l'IoT intelligent, comme le préconise cette recherche [107]. Par exemple, un tsunami est un danger très brutal et mortel causé par la dynamique de la croûte terrestre, une partie considérable de l'histoire du monde se situe dans les régions côtières, ce qui la fait courir le risque d'être partiellement ou totalement détruite si un tel événement se produisait. A titre d'indication, les endroits les plus vulnérables se trouvent autour des zones volcaniques actives, en particulier le Ring of Fire [108]. Les glissements de terrain sont les risques naturels les plus répandus en termes de prédiction à l'aide de modèles analytiques, qui sont devenus une approche populaire croissante dans l'évaluation des risques de glissement de terrain. La capacité IoT permet au système de détection précoce des glissements de terrain d'accueillir un réseau de capteurs sans fil [109]. Cependant, comme le dit Sofwan [110], un système IOT peut recueillir des données à partir d'une variété de capteurs avec un microcontrôleur. La grandeur physique mesurée et réelle est acquise, indiquant que le système est muni d'informations détectées ont identifié des emplacements sujets aux glissements de terrain en utilisant des techniques aussi disparates que les éléments de preuve et la régression logistique (LR) [111]. Ces unités de surface sont bien conçues et sensibles. L'objectif de sauver le plus de vies possibles est vital. C'est pourquoi, en cas de menace anticipée, un modèle d'observation fort pour l'évacuation des populations doit être mis en place. Il sera composé de simples dispositifs de détection de terrain et utilisera des systèmes de collecte d'informations pour acquérir des données de capteur, un traitement piloté par la machine et tenir compte des circonstances actuelles, généralement via l'IoT (IoT).

L'altération est un phénomène naturel qui affecte aussi le patrimoine culturel, cela peut endommager l'intégrité de la structure, des peintures ou d'autres symboles ayant une signification historique. L'effondrement d'un bloc de roche récemment séparé d'une falaise ou d'une pente très raide se produit le plus souvent dans des montagnes ou des endroits montagneux; ce type de danger est bien étudié en termes de conséquences néfastes sur le patrimoine culturel [112, 113]

Les coulées de boue sont une sorte de phénomène naturel qui prend la forme d'un mouvement de masse rapide ; lorsque le sédiment est riche en éléments argileux mais dépourvu de particules grossières, le sédiment ressemble à un fluide boueux [114].

Les solutions de gestion des catastrophes basées sur l'IOT utilisent des techniques d'analyse de données et d'intelligence artificielle pour fournir une alerte précoce en cas de tragédie. Étant donné que l'effet de chaque catastrophe est important, un système de gestion des catastrophes compatible IOT peut être utilisé pour localiser les victimes et coordonner les activités de sauvetage potentielles. Malheureusement, le développement d'une architecture générique pour l'IoT reste une tâche difficile, car de tels systèmes peuvent inclure plusieurs appareils, technologies de couche de connexion et services [115].

Le patrimoine culturel est une ressource mondiale d'une valeur inestimable, et il devient de plus en plus important à mesure qu'il est intégré dans l'écosystème numérique des villes intelligentes. Dans une campagne de conservation préventive d'œuvres d'art, l'examen de l'état de l'environnement d'un bâtiment donne une vue d'ensemble qui permet d'exercer des activités particulières dans des espaces en fonction de leurs conditions climatiques.

5.2.2 L’humidité et la température facteurs clés

Dans cette recherche [116], on découvre qu'il a été démontré que deux des caractéristiques environnementales les plus importantes, l'humidité et la température, causent de graves dommages aux biens culturels immobiliers et mobiliers. Une étude [117] a observé par exemple l’impact de l'humidité et de la température sur la cathédrale de la Dormition à Moscou, en Russie, pendant 5 ans. La température et l'humidité de l'atmosphère, ainsi que le bâtiment lui-même, ont été surveillés dans cette recherche pour évaluer l'influence du système de climatisation sur l'état de protection des peintures murales et de l'iconostase de la cathédrale. Les résultats des premières années de recherche ont permis de modifier le système de climatisation et d'améliorer considérablement la caractéristique micro environnementale. Cela a jeté les bases de l'entretien à long terme de la structure. Les auteurs [118] étudient, examinent et classent la préservation des reliques corporelles des saints dans la tradition chrétienne orthodoxe. Il a été déterminé que les processus de préservation changent selon que la relique est entière ou partielle. Dans les deux situations, les scientifiques ont souligné que le maintien d'un faible niveau d'humidité et d'une température constante sont des variables de protection essentielles.

Les auteurs de [119] reconnaissent que les critères les plus courants produisant une augmentation de la fréquence de détérioration des constituants utilisés dans les biens culturels mobiliers ou immobiliers sont les valeurs inégales de température, d'humidité relative, de rayonnement UV et de pollution de l'air. Les auteurs ont présenté douze indicateurs de risque critiques basés sur les critères précédemment énumérés, les ont intégrés à l'aide d'un algorithme conçu et ont généré un indice de qualité de l'air intérieur. Cette technique est conçue pour aider les gardiens de sites culturels en simplifiant le traitement et l'évaluation des données surveillées. Une étude menée par [120] fournit un aperçu des techniques et de l'état actuel de la numérisation des sites du patrimoine culturel en Bosnie-Herzégovine pour contribuer à leur préservation. Pour conserver les biens culturels, les auteurs de [121] ont créé un système de réseau ZigBee de télédétection pour surveiller les structures culturelles. La conception suggérée est stable, durable et modulaire, avec une durée de vie de 10 ans. L'utilisation des technologies modernes de l'information et de la communication, telles que les appareils IoT, dans la surveillance des sites du patrimoine culturel a montré leur grand potentiel. L'IoT a été utilisé pour surveiller la santé structurelle des bâtiments, la préservation et la réparation culturelles, et pour améliorer l'expérience des utilisateurs dans l'environnement culturel [122].

La déduction faite de ces travaux de recherches sur des entités culturelles existantes stipule qu'avec les bons capteurs et les bonnes architectures (IoT) on peut non seulement surveiller mais préserver le patrimoine culturel matériel à travers la mise en place de différentes solutions (régler l'humidité, protéger des tremblements de terre, protéger de la moisissure, ou même du feu)

5.3 L'utilisation de l'IoT dans le monde réel

Les technologies IOT relient les éléments virtuels et physiques. La révolution du web 4 a été l'Internet des Objets. De nouvelles applications sont adoptées pour améliorer la qualité de vie à ces fins, notamment les maisons intelligentes, l'informatisation domestique, les soins de santé, l'élevage, la chaîne d'approvisionnement et la logistique, la ville intelligente ou le réseau intelligent et la gestion des catastrophes[123].

Les technologies IoT sont utilisées dans de nombreux domaines des villes prospères, notamment l'éclairage public efficace, la collecte des déchets, la circulation et la sécurité du stationnement. Pour un trafic efficace, les données collectées sur les détecteurs de transport seront fournies aux téléphones des résidents pour suivre le flux de trafic dans le temps,

permettant ainsi aux conducteurs de choisir l'itinéraire le plus rapide pour éviter de gaspiller les coûts et les ressources de conduite [124].

L'utilisation de l'IOT dans le développement de musées semble être un niveau avancé de technologie pour les musées numériques, électroniques modernes et intelligents [125]. Cela intègre des exigences de la préservation du patrimoine culturel en utilisant un large éventail de technologies de données appartenant au domaine de l'IOT. La nouvelle approche de fonctionnement du musée combine la technologie numérique et les traditions culturelles de manière idéale. Il peut être basé sur la sûreté et la sécurité, et il peut être collecté, conservé et étudié pour améliorer l'éducation, la recherche et la préservation du patrimoine via un système pratique, efficace et culturellement intelligent (figure 47). Enfin, il pourra communiquer et montrer le patrimoine matériel et intellectuel de l'homme et de son environnement [126].

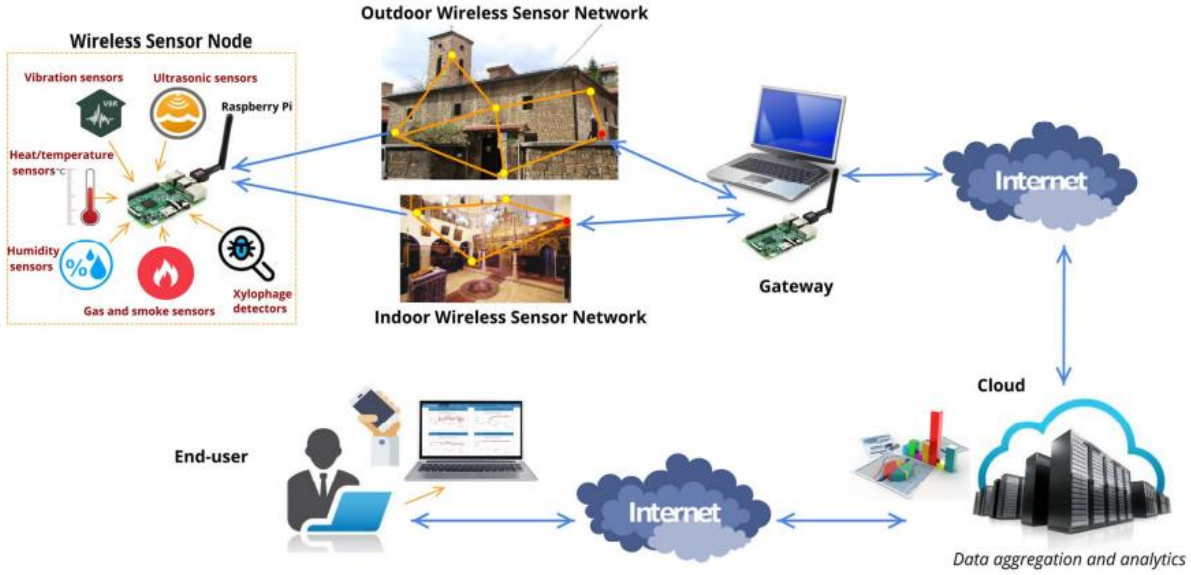


Figure 47 Architecture IoPCT

5.4 IMCHP Architecture

Une architecture IoT est donc un groupe de plusieurs parties qui composent une structure de réseau IoT, notamment des capteurs, des opérateurs, des protocoles, un stockage dans le cloud et des couches. Ce réseau est souvent composé de couches distinctes qui permettent aux administrateurs de surveiller, superviser et gérer la stabilité du système. Cela implique également une stratégie de connexion avec les systèmes et l'infrastructure connexe, comme pour toute conception de réseau proposée.

L'approche idéale pour une exposition d'art (ou une fouille archéologique, une église, un musée, etc.) avec une alimentation électrique et une connexion Internet consiste à utiliser une passerelle commerciale IoT [127]. L'objectif reste de démontrer la procédure d'interconnexion des différentes technologies et de décrire la connectivité, la modularité et la disposition des installations IoT dans divers scénarios [128]. La couche la plus basse est composée de gadgets intelligents avec des capteurs intégrés.

Le type de plate-forme IoT le plus basique est une architecture à 4 couches (figure 48), qui comprend un capteur, un réseau, une couche de management et des niveaux d'application.

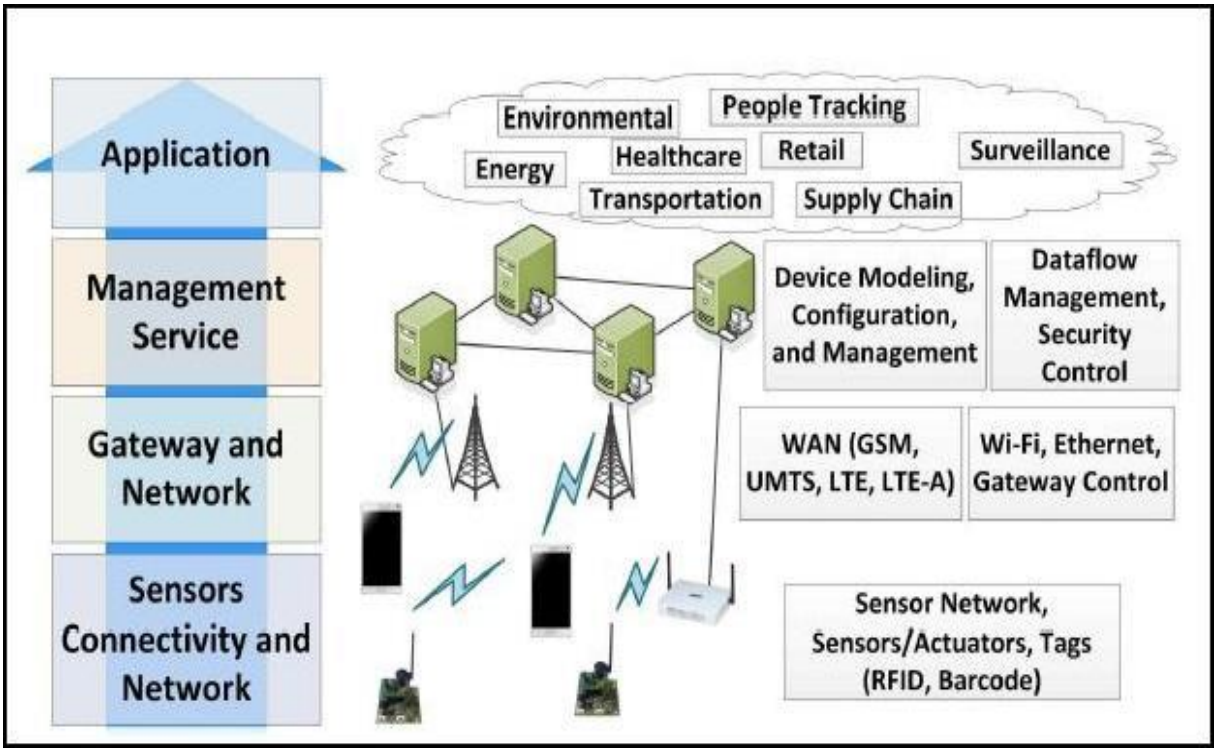


Figure 48 : Les différentes couches de l'IoT

En se basant sur ce qu'on vient de mentionner pour créer une architecture IOT on a pu mettre en place les couches suivantes (figure 49).

Perception Layer : il s'agit de la couche d'appareils IoT qui rend tout tangible. Il est composé de dispositifs de données de différents types, notamment des capteurs. Cette couche consiste en un réseau de dispositifs matériels interconnectés sur la radiofréquence (RF) avec ces capteurs. Dans le schéma fonctionnel donné, les microcontrôleurs choisis pour cette architecture sont **Arduino**, ce sont les appareils qui sont connectés aux capteurs et effectuent la tâche souhaitée. Tous les Arduino sont connectés à une passerelle 'getway' IoT qui est un **Raspberry Pi** et

communiquent entre eux via **RF** (communication **D2D**). Raspberry Pi qui est un microprocesseur connecté à internet via ethernet ou wifi et transmet toutes les données aux serveurs cloud en temps réel.

Les capteurs constituant cette couche lient les mondes numérique et physique, permettant ainsi la collecte et le traitement de données en temps réel. Il est à noter dans ce sens que les capteurs existent dans une variété de formes et de tailles, et ils sont utilisés pour une large gamme d'applications. La température, la qualité de l'air, le mouvement, l'humidité, l'élévation, la vitesse, l'action et l'électricité, entre autres, peuvent être surveillés par les capteurs [129]. Dans de rares cas, ils peuvent également contenir de la mémoire, leur permettant d'enregistrer une taille limitée de mesures.

Les capteurs sont donc cruciaux dans le développement des systèmes IoT puisqu'ils détectent les informations extérieures et les convertissent en un signal que les personnes et les machines peuvent reconnaître. Les nœuds de capteurs sans fil utilisent des capteurs pour collecter des données de leur environnement. Lorsqu'une condition physique, telle que la température ou la pression change elle produit une réponse quantitative. Les capteurs sont classés en fonction de leur fonction spécifique, tels que les capteurs environnementaux, les capteurs corporels, les capteurs d'appareils électroménagers et les capteurs télématiques automobiles, entre autres. Ainsi, la majorité des capteurs ont besoin d'une connexion à des passerelles de capteurs [130].

Les capteurs avec une connexion de puissance et de débit de données minimale forment généralement des réseaux appelés réseaux de capteurs sans fil (WSN). Les WSN deviennent de plus en plus populaires car ils peuvent accepter un plus grand nombre de nœuds de capteurs tout en préservant une autonomie de batterie appropriée et en couvrant de vastes régions [131]. L'approche idéale pour une exposition d'art (ou une fouille archéologique, une église, un musée, etc.) avec une alimentation électrique et une connexion Internet consiste à utiliser une Buisness Layer IoT.

Cette couche peut être maintenue opérationnelle pour collecter des données à partir des nœuds locaux déployés dans les œuvres d'art [132]. En raison de la proximité relative de la passerelle et de la simplicité de la méthode de communication, les nœuds qui utilisent des protocoles sans connexion n'ont pas besoin de dépenser beaucoup d'énergie pour la communication. Pour mieux couvrir la région d'intérêt, des passerelles redondantes peuvent être utilisées, l'infrastructure cloud étant chargée de supprimer les doublons de données. Plusieurs capteurs peuvent être installés sur une grande œuvre d'art (par exemple, un retable) ou sur une nécessité particulière

(par exemple, un capteur de gaz). Un appareil physique ou une plate-forme virtuelle qui relie des capteurs, des modules IoT et des appareils intelligents au cloud est connu sous le nom de passerelle IoT [133]. Les passerelles agissent comme une passerelle d'accès sans fil, permettant aux appareils IoT de se connecter à Internet. Le processeur de données IoT est un "contrôleur d'intégration de données" composé d'une technologie industrielle de haute fiabilité et d'un logiciel d'intégration de données qui n'a pas besoin de codage [134]. Il contient des fonctionnalités standard de gestion des données pour la collecte, le traitement, le stockage, la notification et la diffusion des données.

Networking Layer : L'objectif principal de cette couche est de recevoir des données utiles sous forme de chiffres binaires de la couche perceptuelle et de les transmettre au traitement des données de la couche middleware via des supports de transmission [118].

Cette couche comprend le réseau par lequel la passerelle IoT est connectée à Internet et le protocole utilisé par la passerelle pour transmettre les données. La passerelle IoT est connectée à Internet via Ethernet ou Wifi. Il existe 4 protocoles qui peuvent être utilisés pour communiquer entre la passerelle IoT et les serveurs (communication D2S). Les quatre protocoles sont MQTT, HTTP, CoAP et AMQP. Dans le schéma fonctionnel, l'utilisation du protocole **MQTT** a été préférée car il est léger, basé sur TCP, sécurisé et simple à utiliser. MQTT est un modèle d'éditeur, d'abonné et de courtier de messages. IoT Gateway agit à la fois comme éditeur et abonné pour transmettre les données au serveur et pour obtenir les instructions des utilisateurs.

Management Layer : cette couche est responsable de la gestion du traitement des informations provenant des dispositifs de détection [135]. Les données sont ensuite traitées à l'aide d'un équipement de traitement avancé et une action automatique est entreprise en fonction des sorties traitées des informations.

C'est aussi la pierre angulaire de l'architecture IoT. Cette couche comprend la modélisation des données, la transformation des données, l'analyse des données, le streaming des données, le stockage des données et la visualisation des données. Cette couche possède également deux modèles, un pour la visualisation des données uniquement et un pour l'analyse et la visualisation des données. À des fins de visualisation de données uniquement, MongoDB, Logstash et Kibana (MLK) sont la meilleure option. La pile MLK est très facile à utiliser et automatise l'ensemble du processus de visualisation des données en temps réel. Ci-dessous le schéma du flux. L'abonné MQTT obtiendra les données de la passerelle IoT et écrira les données dans logstash.

Logstash continuera d'envoyer les données en temps réel à mongoDB et depuis mongoDB, kibana aidera à visualiser les données en temps réel en streaming.

Pour l'analyse de données et pour rendre cette architecture plus évolutive, la mise en place d'un système de messagerie inter-coucher est primordiale. Kafka est un système de messagerie de publication-abonnement à haut débit distribué qui rend notre architecture plus évolutive, fiable et distribuée. Pour transmettre les données de MQTT à Kafka, nous avons besoin d'un pont et Logstash est la meilleure option pour ce pont au lieu d'écrire des scripts python. Pour Kafka, Spark est un consommateur. Le streaming Spark ou Apache Storm dans la couche de vitesse consomme les données, effectue des transformations et envoie les données à la base de données dans la couche de service. **Spark MLlib** dans la couche batch effectue des analyses de données et des prédictions à l'aide de données historiques de la base de données et, dans certains cas, il utilise également des données de streaming de kafka. Après avoir effectué des analyses de données et des prédictions, il stocke le résultat dans la base de données. La base de données Elasticsearch dans la couche de service est la bonne option car elle est basée sur une API de repos, très rapide et effectue des requêtes de recherche en temps quasi réel dont nous avons besoin pour la visualisation. Il dispose également d'un excellent plugin de visualisation appelé Kibana. Comme elasticsearch db est basé sur l'API REST, les applications Web peuvent l'interroger directement, ce qui permet de gagner du temps en envoyant une requête au serveur Web, en interrogeant la base de données et en renvoyant les données à l'application Web. Pour la visualisation dans une application web, D3.js ou Highcharts sont de très bonnes bibliothèques disponibles en JavaScript. La couche de vitesse, la couche de lot et la couche de service forment ensemble une architecture Lambda.

Application Layer : cette couche crée des applications IoT pour divers secteurs en fonction des données qui ont été évaluées. Parce que les applications stimulent la croissance de l'IoT, c'est la couche très bénéfique dans le développement à grande échelle des réseaux IoT [136].

Elle se compose d'une application Web et d'une application mobile. Les applications Web et mobiles peuvent effectuer directement des appels REST vers la base de données mongodb pour obtenir les données en temps réel. D3.js ou Highcharts peuvent être utilisés pour visualiser les données en temps réel ainsi que les valeurs de prédiction dans les applications Web. Pour renvoyer des instructions aux appareils IoT, les applications Web utilisent la bibliothèque javascript MQTT et publient l'instruction sur le système de messages MQTT à partir duquel l'abonné de la passerelle IoT obtient l'instruction et exécute la tâche souhaitée.

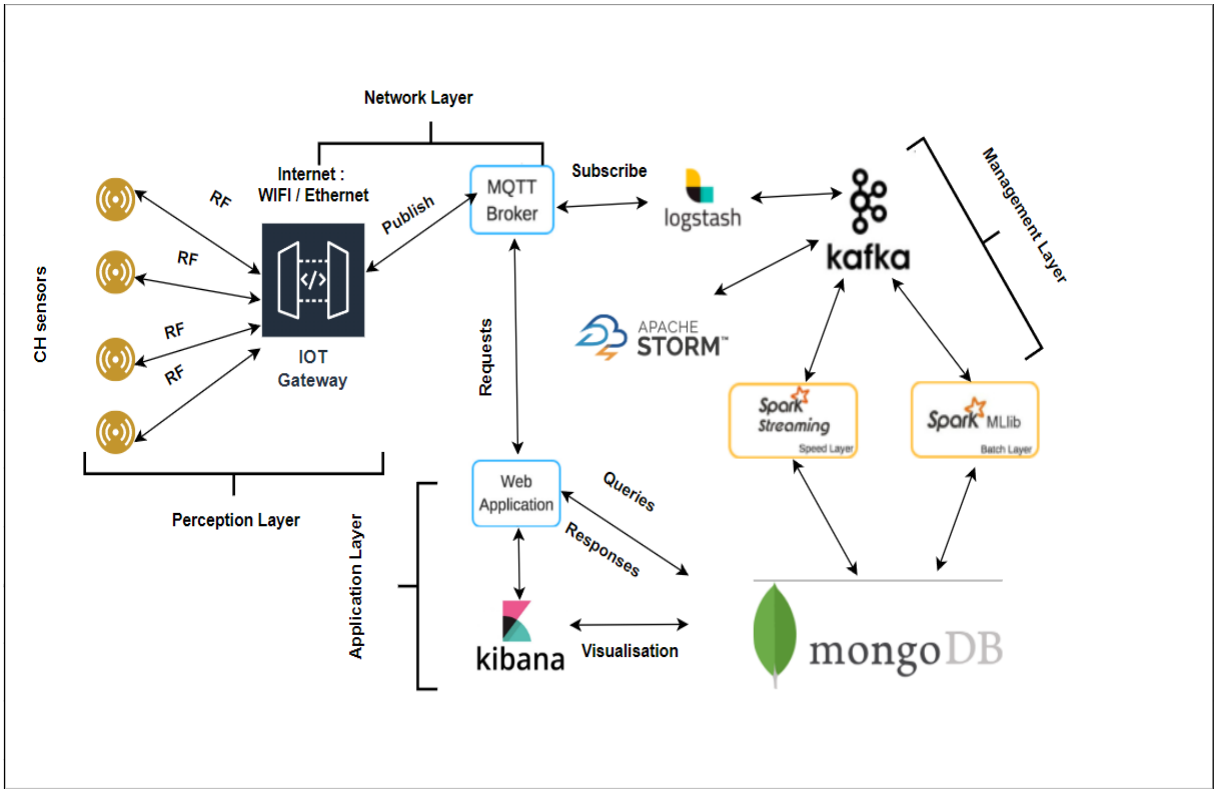


Figure 49 : Architecture IoT du framework IMCHP

5.5 Projection sur un site archéologique

Un exemple modèle (figure 50) est proposé pour la détection et la surveillance de sites archéologiques afin de les préserver ou de les sauver des aléas à venir. Premièrement, la visualisation de données sera créée en utilisant le framework Angular comme système de suivi pour afficher des informations sensorielles en temps réel. Grâce au cadre proposé, on peut surveiller l'état de la procédure de la chaîne de montage et recevoir une alerte précoce si une activité inhabituelle (défaut) est découverte en temps réel. Les données de capteur créées par l'IOT présentent les caractéristiques suivantes : volume énorme, format non structuré et création continue. Données JSON créées par des capteurs basés sur l'IoT avant d'être livrées au serveur Kafka. Les données du capteur sont fournies à Storm/Spark, qui implémente le système de prédiction hybride. Les données du capteur et les résultats de prédiction sont ensuite enregistrés dans MongoDB, une base de données NoSQL. Pour augmenter la vitesse, un data-store de capteur intégré est souvent utilisé dans les bases de données NoSQL MongoDB.

Les données du capteur sont transmises via des dispositifs de capteur basés sur l'IOT à Apache Kafka, qui traite ensuite les données et envoie les données du capteur et ses résultats de prédiction des défauts logiciels immédiatement au système de suivi en temps réel. Le système de suivi est facilement accessible à l'aide d'un moteur de recherche sur un micro-ordinateur. Le système suggéré affiche des paramètres de capteur authentiques tels que la température, l'humidité, l'accéléromètre et les données du gyroscope

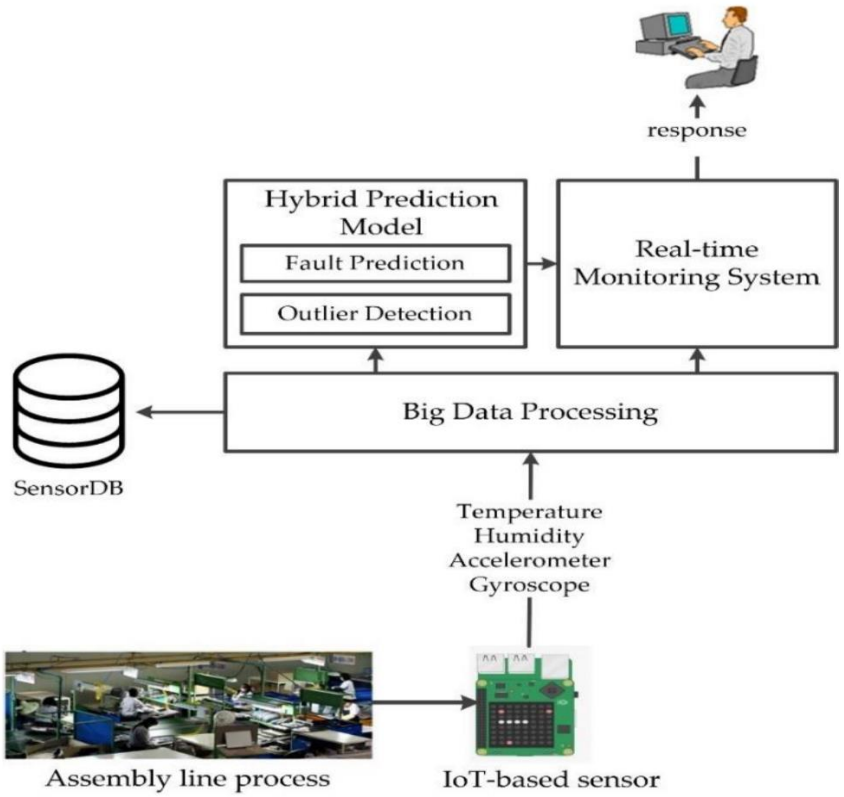


Figure 50 : Cas précis d'un capteur d'humidité pour un site archéologique

Pour chaque rapport, l'ID de l'objet (dispositif de détection basé sur l'IOT) et le temps observé sont enregistrés et affichés. De plus, une conception de prédiction hybride a été adoptée pour anticiper le problème et fournir les résultats dans ce système de surveillance et de gestion. Des dispositifs de capteurs basés sur l'IoT déployés dans la chaîne de montage relayent les données des capteurs vers un serveur distant. Le système de surveillance en temps réel suggéré est composé d'un capteur basé sur l'IoT (figure 51).

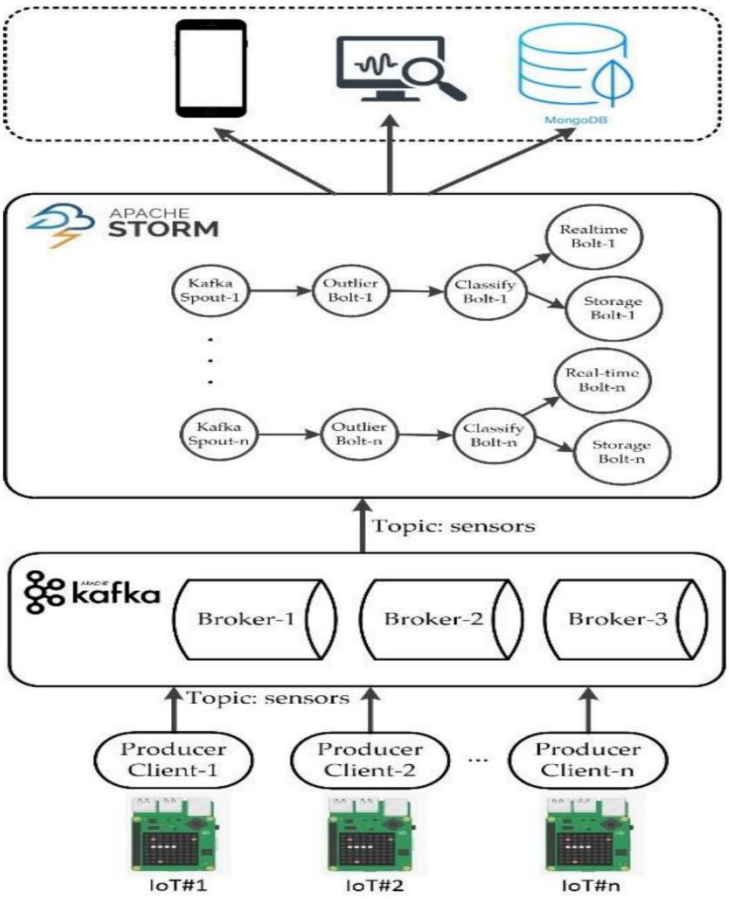


Figure 51 : Transport et traitements distribués des messages

Avec la solution proposée on n'a pas besoin de câblage coûteux et invasif (non convenables dans ce cas). L'approche proposée permet la surveillance 24h/24 et 7j/7 d'une variété de paramètres, et génère des alertes spécifiques, permettant ainsi d'avoir des informations en temps réel sur les conditions du site archéologique surveillé et sur les éventuelles interventions opportunes.

En effet, chaque capteur est un client producteur de message, produisant un message clé-valeur(figure 52) qui est :

Key : ID du message.

Value : Le message lui-même qui est basé sur json, elle contient des métadonnées concernant l'état de l'entité de patrimoine culturel traité. Cette entité du patrimoine culturel est décrite par de nombreuses métadonnées permettant sa description dans le modèle de donnée étudié créé.

L'entité importante pour surveiller et préserver l'état du patrimoine culturel est **conservation_state** inclue dans **work_&_renovation.** Elle inclue les différents attributs

permettant de décrire l'état d'une entité culturelle pour remonter par la suite des alertes ou intervenir.

Date_first_check : date de la première vérification de l'état du patrimoine culturel
Date_last_check : date de la dernière vérification de l'état du patrimoine culturel

State : état de l'entité patrimoniale culturelle

Caution_level : niveau de prudence de l'entité du patrimoine culturel (peut être faible, moyen, élevé ou critique)

Disaster : identifiants décrivant une catastrophe relative à un CHD

- **Id** : identification de la catastrophe
- **Name** : nom du sinistre (humidité, moisissure, température etc…)
- **Value** : valeur du sinistre (40 °C pour la température, 53% pour l'humidité etc…)
- **Comment** : commentez ce qui a causé la catastrophe

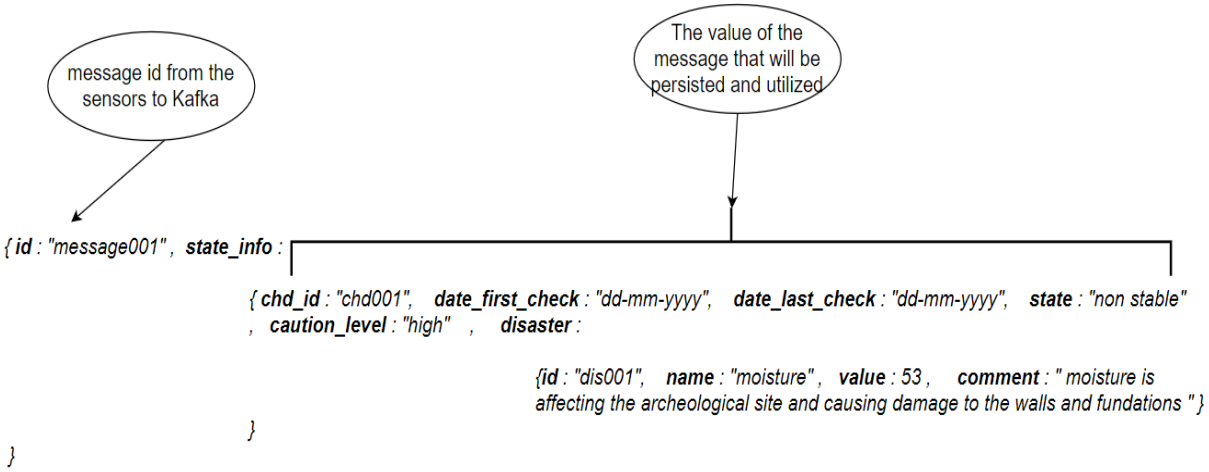


Figure 52 : Exemple de flux concernant l'état d'une entité culturelle

5.6 Conclusion

Aujourd'hui les différentes architectures IoT concernant le patrimoine culturel ne se greffent pas forcément à un système informatique existant. De ce fait l'apport de l'architecture proposée dans le cadre de ce travail est tel que les données remontées par les capteurs se couplent directement au data modèle existant et par conséquent à la base de données existante. Ce qui

permettra en même temps d'obtenir de la surveillance des données en ce qui concerne l'état des entités culturelles et des données brutes de la plateforme en elle-même.

Dans ce chapitre on s'est penché sur la manière avec laquelle la surveillance du patrimoine culturel peut mener à une préservation plus efficace. Une surveillance basée sur des capteurs et un système IoT, qui constitue l'une des méthodes les plus efficaces pour surveiller les "choses" qui nous entourent. En effet le patrimoine culturel nous entoure de partout et continue d'être un domaine d'application clé pour l'IoT.

L'architecture proposée permet donc d'effectuer beaucoup de traitements en temps réel en se basant sur des plateformes de streaming (Kafka, Spark, ou Apache Storm), outre une visualisation intermédiaire des messages porteurs de données à travers Kibana. Les données du capteur sont finalement fournies à Storm/Spark, qui implémente le système de prédiction hybride.

L'architecture mise en place est donc une architecture à quatre couches à savoir :

- ✓ Percepetion layer
- ✓ Networking Layer
- ✓ Management Layer
- ✓ Application Layer

Les quatre couches utilisent les dernières technologies permettant des interactions rapides (JSON) et efficaces, tout en utilisant différents systèmes de messages à savoir MQTT qui est crucial dans le monde de l'IoT et Kafka qui est le leader actuel dans les traitements en temps réel.

Conclusions finales et perspectives

Dans le monde interconnecté d'aujourd'hui, force est de constater que la culture a le pouvoir de valoriser une civilisation aux yeux du reste du monde. En effet, le patrimoine culturel considéré comme une construction sociale, occupe une grande place dans les projets de développement dédiés au domaine culturel notamment en matière de préservation de ce patrimoine.

De ce fait, ce travail s'est concentré d'une part sur l'étude et l'analyse de quelques moyens existants aspirant à préserver le patrimoine culturel mondial, et a ambitionné d'autre part d'apporter une valeur ajoutée via la modélisation et la conception d'une solution visant la gestion et la préservation du patrimoine culturel de manière innovante.

Durant la phase d'étude, il a été constaté que le nombre d'informations et de données relatives à la gestion du patrimoine culturel constituait un vrai défi pour toute nouvelle solution. C'était clair que ce travail se situait dans un context BigData. Par conséquent ce travail de recherche s'est basé sur des technologies informatiques pertinentes adaptées au contexte BigData comme JSON, MONGODB et bien d'autres, clairement identifiées dans ce rapport de thèse.

Ce rapport de thèse a également été consacré à la description de l'architecture globale de la solution proposée (ICHC) qui est une architecture basée sur les microservices et qui a pour but de répartir la responsabilité de la gestion des types du patrimoine culturel en guise d'aboutissement à un énorme gain en performance et offrant ainsi des réponses en temps réel à des requêtes simples et d'autres complexes et combinées.

Il sied de noter, que dans le cadre de cette recherche, plusieurs éléments de réponses ont été proposés en vue de répondre à des problèmes identifiés, dont notamment :

- Devoir établir un modèle de données exhaustif englobant le maximum de métadonnées et de qualificatifs possibles concernant non seulement le patrimoine culturel matériel mais aussi le patrimoine culturel immatériel. Sachant que l'étude des bases de données existantes comme ″mérimée″ qui est une base de données française pour le stockage du patrimoine culturel [138], ou aussi l'étude des documents fournit par différents musées et organismes ne permettait pas de décrire toutes les sortes du patrimoine culturel.
- Impliquer étroitement la ressource humaine aux entités culturelles (ce qui constitue une vraie valeur ajoutée pour ce travail).

- Introduire les microservices afin de pouvoir communiquer avec les multiples services culturels simultanément, ce qui permettrait éventuellement à l'avenir de travailler avec différentes organisations comme le fait Europeana [139], qui construit des microservices sur mesure avec une technologie personnalisée (Possibilité de les greffer à notre solution).
- Mettre en place une plateforme IoT visant la préservation du patrimoine culturel à travers l'échange de messages contenant des informations cruciales issues des capteurs de chaque entité culturelle.

Tenant compte des efforts déployés dans le cadre de cette thèse, ce travail se veut d'évoluer avec le temps, en se concentrant, durant la phase suivante, sur une implémentation plus globale de la solution proposée. Aussi, et comme tout travail de recherche, ce travail se doit d'évoluer en identifiant quelques volets qui connaitraient certainement des mises à jour avec le temps. Effectivement la progression du modèle de données proposé s'impose, en particulier pour le patrimoine culturel immatériel qui constitue un véritable océan de différents types et métadonnées [140] [141]. L'un des objectifs principaux sera d'identifier et de catégoriser le maximum de types de patrimoine culturel immatériel afin de les prendre en considération dans le modèle de données dans sa globalité et spécialement en matière de microservices.

Aussi, et eu égard à la croissance continue des données à cataloguer et le volume de données à traiter, une éventuelle évolution de la plateforme pourrait voir le jour. De ce fait, plusieurs architectures peuvent se greffer à celle proposée dans le cadre de ce travail, comme l'architecture event-driven [142] qui est une architecture orientée événement se basant essentiellement sur des systèmes de messaging comme Kafka qui s'intègre très bien avec les architectures microservices [143] et va même à offrir une plateforme de traitement de données en temps réel (Kafka-streams) [144] .

Bibliographie

1. Doerr, Martin. (2009). Ontologies for Cultural Heritage. Handbook on Ontologies. 463-486.
2. Heru S , and Zainal A. H .(2011) .E-Cultural Heritage and natural history framework : an integrated approach to digital preservation
3. Greenberg, Jane (2005). Understanding Metadata and Metadata Schemes. Cataloging & Classification Quarterly, 40(3-4), 17–36. doi:10.1300/J104v40n03_02
4. Stasinopoulou, T., Bountouri, L., Kakali, C., Lourdi, I., Papatheodorou, C., Doerr, M., & Gergatsoulis, M..(2007) .Ontology-Based Metadata Integration in the Cultural Heritage Domain.
5. M. Klein, "XML, RDF, and relatives," in IEEE Intelligent Systems, vol. 16, no. 2, pp. 26-28, March-April 2001, doi: 10.1109/5254.920596.
6. A B M Moniruzzaman, Syed Akhter Hossain NoSQL Database(2013): New Era of Databases for Big data Analytics - Classification, Characteristics and Comparison
7. La protection du patrimoine monumental français .https://www.vie-publique.fr/eclairage/273873-la-protection-du-patrimoine-monumental-francais-un-etat-des-lieux. Dernier accès le 18 janvier 2019.
8. https://countrymeters.info/fr/Morocco [en ligne] dernier accès 22 octobre 2022
9. Inventaire patrimoine culturel bruxellois. [en ligne] . http://patrimoine.brussels/decouvrir/inventaires-du-patrimoine-bruxellois/linventaire-du-patrimoine-culturel-mobilier. Dernier accès le 23 juin 2017
10. Ministère de la culture du royaume du Maroc, 2010,Définition du patrimoine culturel et ses composantes.
11. Patrimoine archéologique. [en ligne].https://www.mcc.gouv.qc.ca/index-i=5101.html. Dernier accès le 17 février 2018
12. Loi patrimoine archiviste . [en ligne]. https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000032860025/. Dernier accès le 18 Janvier 2018
13. L'ASSOCIATION DES ARCHIVISTES DU QUÉBEC, 2000, Les archives, un patrimoine clé pour la culture. 5-6.
14. Séguin, C. (2020). Le patrimoine documentaire au Québec: De la discrétion à la mise en lumière, avec BAnQ. I2D - Information, données & documents, 1, 15-21.

15. Federico Lenzerini, Intangible Cultural Heritage: The Living Culture of Peoples, European Journal of International Law, Volume 22, Issue 1, February 2011, Pages 101–120
16. Texte de la Convention pour la sauvegarde du patrimoine culturel immatériel. [en ligne]. https://ich.unesco.org/fr/convention. Dernier accès le 18 Janvier 2018
17. https://whc.unesco.org/fr/conventiontexte/
18. Convention concernant la protection du patrimoine mondial, culturel et naturel. [en ligne] .https://www.culture.gouv.fr/Thematiques/Ethnologie-de-la-France/Qu-est-ce-que-l-ethnologie-de-la-France-et-du-patrimoine. Dernier accès le 11 mars 2017
19. Joy Adapon, 2008, Culinary Art and Anthropology. p 65-66
20. Xiaorui Zhang, 1996,Traditional medicine and WHO. 23-24.
21. Smeets, R. (2004). Language as a Vehicle of the Intangible Cultural Heritage. Museum International, 56, 156 - 165.
22. Qu'est-ce que le patrimoine culturel immatériel ?. [en ligne]. https://ich.unesco.org/fr/qu-est-ce-que-le-patrimoine-culturel-immatriel-00003. Dernier accès le 02 Janvier 2019
23. Gartner, R. (2016). Metadata : Shaping Knowledge from antiquity to semantic work.Oxford Springer.
24. Qin, J., & Zeng, M. (2016). Metadata. (2nd ed. ed.) ALA-Neal Schuman.
25. Kakali, Constantia & Lourdi, Irene & Stasinopoulou, Thomais & Bountouri, Lina & Papatheodorou, Christos & Doerr, Martin & Gergatsoulis, Manolis. (2007). Integrating Dublin Core metadata for cultural heritage collections using ontologies. Proceedings of the International Conference on Dublin Core and Metadata Applications.
26. J. Ward, "A quantitative analysis of unqualified Dublin Core Metadata Element Set usage within data providers registered with the Open Archives Initiative," 2003 Joint Conference on Digital Libraries, 2003. Proceedings., 2003, pp. 315-317, doi: 10.1109/JCDL.2003.1204883.
27. Szabados, A., & Letricot, R. (2012). L'ontologie CIDOC CRM appliquée aux objets du patrimoine antique.
28. Urban, Richard. (2009). Modelling CDWA Lite as an OWL-DL Ontology.
29. Coburn, E., Lanzi, E., O'Keefe, E., Stein, R., & Whiteside, A. (2010). The Cataloging Cultural Objects experience: Codifying practice for the cultural heritage community. IFLA Journal, 36(1), 16–29.

30. Doerr, M (2003).The CIDOC Conceptual Reference Module An Ontological Approach to Semantic Interoperability of Metadata . AI Magazine, 24(3), 75.
31. Hu, J., Lv, Y., & Zhang, M. (2014). The Ontology Design of Intangible Cultural Heritage Based on CIDOC CRM. International Journal of u- and e-Service, Science and Technology, 7(1), 261–274.
32. Binding, C., May, K., & Tudhope, D. (n.d.). Semantic Interoperability in Archaeological Datasets: Data Mapping and Extraction Via the CIDOC CRM. Lecture Notes in Computer Science, 280–290. doi:10.1007/978-3-540-87599-4_30
33. Anne-Violaine Szabados, Rosemonde Letricot. L'ontologie CIDOC CRM appliquée aux objets du patrimoine antique. 3e Journées d'Informatique et Archéologie de Paris - JIAP 2012, Jun 2012, Paris, France. ffhalshs-00752996f
34. Lavecchia, Francesco. (2012). Les fiches d'indexation minimale du conseil de l'Europe pour l'inventaire normalisé du patrimoine culturel mondial. In Situ. 10.4000/insitu.1836.
35. Isaksen, Leif, Martinez, Kirk and Earl, Graeme .(2009) .Archaeology, formality & the CIDOC CRM. Interconnected Data Worlds: Workshop on the Implementation of the CIDOC-CRM, Berlin, Germany. 23 - 24 Nov 2009. 24 pp
36. Haffner D. (2016) Datenausgabebedarfe, Open Access. In: Walz M. (eds) Handbuch Museum. J.B. Metzler, Stuttgart. https://doi.org/10.1007/978-3-476-05184-4_44
37. Nurseitov, Nurzhan & Paulson, Michael & Reynolds, Randall & Izurieta, Clemente. (2009). Comparison of JSON and XML data interchange formats: A case study. 22nd International Conference on Computer Applications in Industry and Engineering 2009, CAINE 2009. 157-162.
38. B. Lin, Y. Chen, X. Chen and Y. Yu, "Comparison between JSON and XML in Applications Based on AJAX," 2012 International Conference on Computer Science and Service System, 2012, pp. 1174-1177, doi: 10.1109/CSSS.2012.297.
39. Butler, H., Daly, M., Doyle, A., Gillies, S., Hagen, S., & Schaub, T. (2016). The GeoJSON Format. RFC, 7946, 1-28.
40. S. Popić, D. Pezer, B. Mrazovac and N. Teslić, "Performance evaluation of using Protocol Buffers in the Internet of Things communication," 2016 International Conference on Smart Systems and Technologies (SST), 2016, pp. 261-265, doi: 10.1109/SST.2016.7765670.

41. Abdelmoumni, O., & Chenfour, N. (2022). ICHC Framework: NoSql Data Model and a Microservices-Based Solution for a Cultural Heritage Platform. International Journal of Software Innovation (IJSI), 10(1), 1-16. http://doi.org/10.4018/IJSI.293272
42. Y. Gu, S. Shen, J. Wang and J. Kim, "Application of NoSQL database MongoDB," 2015 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan, 2015, pp. 158-159, doi: 10.1109/ICCE-TW.2015.7216831.
43. Jing Han, Haihong E, Guan Le and Jian Du, "Survey on NoSQL database," 2011 6th International Conference on Pervasive Computing and Applications, 2011, pp. 363-366, doi: 10.1109/ICPCA.2011.6106531.
44. Truică, Ciprian-Octavian & Boicea, Alexandru & Trifan, Ionuț. (2013). CRUD Operations in MongoDB. 10.2991/icacsei.2013.88.
45. Wang, S., Li, G., Yao, X., Zeng, Y., Pang, L., & Zhang, L. (2019). A Distributed Storage and Access Approach for Massive Remote Sensing Data in MongoDB. ISPRS International Journal of Geo-Information, 8(12), 533. doi:10.3390/ijgi8120533
46. Ajdari, Jaumin & Kasami, Brilant. (2018). MapReduce Performance in MongoDB Sharded Collections. International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 9. 10.14569/IJACSA.2018.090617.
47. DipinaDamodaran, B., Salim, S.J., & Vargese, S.M. (2016). PERFORMANCE EVALUATION OF MYSQL AND MONGODB DATABASES. International Journal on Cybernetics & Informatics, 5, 387-394.
48. Y. Gu, X. Wang, S. Shen, S. Ji and J. Wang, "Analysis of data replication mechanism in NoSQL database MongoDB," 2015 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan, 2015, pp. 66-67, doi: 10.1109/ICCE-TW.2015.7217033.
49. W. Wang and Q. Hu, "The Method of Cloudizing Storing Unstructured LiDAR Point Cloud Data by MongoDB," 2014 22nd International Conference on Geoinformatics, 2014, pp. 1-5, doi: 10.1109/GEOINFORMATICS.2014.6950820.
50. Jemine, J. (2017). Conception et implémentation d'un SIG NoSQL. (Unpublished master's thesis). Université de Liège, Liège, Belgique. Retrieved from https://matheo.uliege.be/handle/2268.2/3117
51. G. Zhao, W. Huang, S. Liang and Y. Tang, "Modeling MongoDB with Relational Model," 2013 Fourth International Conference on Emerging Intelligent Data and Web Technologies, 2013, pp. 115-121, doi: 10.1109/EIDWT.2013.25.

52. A. Boicea, F. Radulescu and L. I. Agapin, "MongoDB vs Oracle -- Database Comparison," 2012 Third International Conference on Emerging Intelligent Data and Web Technologies, 2012, pp. 330-335, doi: 10.1109/EIDWT.2012.32.
53. Kaur, Karamjit & Rani, Rinkle. (2013). Modeling and querying data in NoSQL databases. Proceedings - 2013 IEEE International Conference on Big Data, Big Data 2013. 1-7. 10.1109/BigData.2013.6691765.
54. Zachary Parker, Scott Poe, and Susan V. Vrbsky. 2013. Comparing NoSQL MongoDB to an SQL DB. In Proceedings of the 51st ACM Southeast Conference (ACMSE '13). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 5, 1–6. DOI:https://doi.org/10.1145/2498328.2500047
55. Bartoszewski, Dominik & Piórkowski, Adam & Lupa, Michał. (2019). The Comparison of Processing Efficiency of Spatial Data for PostGIS and MongoDB Databases. 10.1007/978-3-030-19093-4_22.
56. Eelco Plugge, Peter Membrey and Tim Hawkins,(2010) GridFS. In: The Definitive Guide to MongoDB. Apress. https://doi.org/10.1007/978-1-4302-3052-6_5
57. MongoDB ,inc .(2019). GridFS-MongoDBManual Available online : https://docs.mongodb.com/manual/core/gridfs/#gridfs . Dernier accès 01 september 2020).
58. Wang, Shuang & Li, Guoqing & Yao, Xiaochuang & Zeng, Yi & Pang, Lucien & Zhang, Lianchong. (2019). A Distributed Storage and Access Approach for Massive Remote Sensing Data in MongoDB. ISPRS International Journal of Geo-Information. 8. 533. 10.3390/ijgi8120533.
59. Purday, J. (2009). Think culture: Europeana.eu from concept to construction. The Electronic Library.
60. The Europeana Linked Open Data Pilot - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/figure/dataeuropeanaeu-Technical-Architecture_fig1_268428958. Dernier accès 2 Novembre, 2021
61. Stefan Gradmann , The Europeana Data Model: Constraints and Opportunities . [en ligne]. récupéré de https://core.ac.uk/download/pdf/34625486.pdf. Dernier accès 2 Novembre, 2021
62. C. M. Aderaldo, N. C. Mendonça, C. Pahl and P. Jamshidi, "Benchmark Requirements for Microservices Architecture Research," 2017 IEEE/ACM 1st International Workshop on Establishing the Community-Wide Infrastructure for

Architecture-Based Software Engineering (ECASE), 2017, pp. 8-13, doi: 10.1109/ECASE.2017.4.

63. G. Márquez and H. Astudillo. (2018). Actual Use of Architectural Patterns in Microservices-Based Open Source Projects, 25th Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC), Nara, Japan, 2018, pp. 31-40.
64. Messina, Antonio & Rizzo, Riccardo & Storniolo, Pietro & Urso, Alfonso. (2016). A Simplified Database Pattern for the Microservice Architecture. 10.13140/RG.2.1.3529.3681.
65. L. De Lauretis, "From Monolithic Architecture to Microservices Architecture," 2019 IEEE International Symposium on Software Reliability Engineering Workshops (ISSREW), 2019, pp. 93-96, doi: 10.1109/ISSREW.2019.00050.
66. J. Kazanavičius and D. Mažeika, "Migrating Legacy Software to Microservices Architecture," 2019 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream), 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/eStream.2019.8732170.
67. Zhongshan Ren, Wei Wang, Guoquan Wu, Chushu Gao, Wei Chen, Jun Wei, and Tao Huang. 2018. Migrating Web Applications from Monolithic Structure to Microservices Architecture. In Proceedings of the Tenth Asia-Pacific Symposium on Internetware (Internetware '18). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 7, 1–10. DOI:https://doi.org/10.1145/3275219.3275230
68. D. Shadija, M. Rezai and R. Hill, "Towards an understanding of microservices," 2017 23rd International Conference on Automation and Computing (ICAC), 2017, pp. 1-6, doi: 10.23919/IConAC.2017.8082018
69. P. D. Francesco, I. Malavolta and P. Lago, "Research on Architecting Microservices: Trends, Focus, and Potential for Industrial Adoption," 2017 IEEE International Conference on Software Architecture (ICSA), 2017, pp. 21-30, doi: 10.1109/ICSA.2017.24.
70. L. Sun, Y. Li and R. A. Memon, "An open IoT framework based on microservices architecture," in China Communications, vol. 14, no. 2, pp. 154-162, February 2017, doi: 10.1109/CC.2017.7868163.
71. Fernández-Villamor, José & Iglesias, Carlos & Garijo, Mercedes. (2010). Microservices - Lightweight Service Descriptions for REST Architectural Style.. 576-579.
72. Namiot Dmitry, Sneps-sneppe Manfred On micro-services architecture // International Journal of Open Information Technologies. 2014. №9. URL:

https://cyberleninka.ru/article/n/on-micro-services-architecture (дата обращения: 03.11.2021).
73. https://www.nginx.com/blog/introduction-to-microservices/
74. Bh, Deval & Samaka, Mohammed & Erbad, Aiman & Jain, Raj & Gupta, Lav. (2018). Exploring Micro-Services for Enhancing Internet QoS. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies. 29. e3445. 10.1002/ett.3445.
75. Zhelev, Svetoslav & Rozeva, Anna. (2019). Using microservices and event driven architecture for big data stream processing. AIP Conference Proceedings. 2172. 090010. 10.1063/1.5133587.
76. Ottinger J.B., Lombardi A. (2019) Spring Boot. In: Beginning Spring 5. Apress, Berkeley, CA. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-4486-9_7
77. Gutierrez F. (2019) Web Applications with Spring Boot. In: Pro Spring Boot 2. Apress, Berkeley, CA. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-3676-5_4
78. Ferris, Christopher. (2003). What are Web services?. Communications of the ACM. 46. 10.1145/777313.777335.
79. Audie Sumaray and S. Kami Makki. 2012. A comparison of data serialization formats for optimal efficiency on a mobile platform. In Proceedings of the 6th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (ICUIMC '12). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 48, 1–6. DOI:https://doi.org/10.1145/2184751.2184810
80. Michel, Franck & Faron-Zucker, Catherine & Montagnat, Johan. (2016). A Mapping-Based Method to Query MongoDB Documents with SPARQL. 9828. 52-67. 10.1007/978-3-319-44406-2_6.
81. Makris, Antonios & Tserpes, Konstantinos & Spiliopoulos, Giannis & Anagnostopoulos, Dimosthenis. (2019). Performance Evaluation of MongoDB and PostgreSQL for spatio-temporal data.
82. Gunawan, Ferdinandus, F. X., & Setiawan, E. I. (2016). GeoJSON Web Service based road assets management system for Surabaya city using mobile GPS. 2016 International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC). doi:10.1109/icsec.2016.7859915
83. Bialek B. (2021) Digitization and MongoDB—The Art of Possible. In: Liermann V., Stegmann C. (eds) The Digital Journey of Banking and Insurance, Volume III. Palgrave Macmillan, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78821-6_2

84. MongoDB ,inc .(2021). Full-Text Search and Auto Scaling Coming To MongoDB Atlas:https://www.mongodb.com/blog/post/full-text-search-and-auto-scaling-coming-to-mongodb-atlas/. Dernier accès on 03 janvier 2021
85. S. Lakhara and N. Mishra, "Desktop full-text searching based on Lucene: A review," 2017 IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering (ICPCSI), 2017, pp. 2434-2438, doi: 10.1109/ICPCSI.2017.8392154.
86. Panos Vassiliadis, Alkis Simitsis, and Spiros Skiadopoulos. 2002. Conceptual modeling for ETL processes. In Proceedings of the 5th ACM international workshop on Data Warehousing and OLAP (DOLAP '02). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 14–21. DOI:https://doi.org/10.1145/583890.583893
87. Schaefer C., Ho C., Harrop R. (2014) Spring Projects: Batch, Integration, XD, and Boot. In: Pro Spring. Apress, Berkeley, CA. https://doi.org/10.1007/978-1-4302-6152-0_18
88. Adithama, S.P., Sembiring, A.P., & Rusdianto, E. (2020). Distance and Price Validation System for Free Shipping on E-Commerce Using Batch Processing.
89. V, Subramaniyaswamy & Varadarajan, Vijayakumar & R., Logesh & Indragandhi, V.. (2015). Unstructured Data Analysis on Big Data Using Map Reduce. Procedia Computer Science. 50. 456-465. 10.1016/j.procs.2015.04.015.
90. G. Mackey, S. Sehrish, J. Bent, J. Lopez, S. Habib and J. Wang, "Introducing map-reduce to high end computing," 2008 3rd Petascale Data Storage Workshop, 2008, pp. 1-6, doi: 10.1109/PDSW.2008.4811889.
91. Jairam Chandar, 2010, Join Algorithms using Map/Reduce page 15 -17
92. N. Sowmya, M. Aparna, P. Tijare and N. Nalini, "An adaptive load balancing strategy in cloud computing based on Map reduce," 2015 1st International Conference on Next Generation Computing Technologies (NGCT), 2015, pp. 86-89, doi: 10.1109/NGCT.2015.7375088.
93. T. Ruohomäki, E. Airaksinen, P. Huuska, O. Kesäniemi, M. Martikka, and J. Suomisto, "Smart city platform enabling digital twin," in *2018 International Conference on Intelligent Systems (IS)*, 2018, pp. 155-161.

94. G. Mei, N. Xu, J. Qin, B. Wang, and P. Qi, "A survey of Internet of Things (IoT) for geohazard prevention: Applications, technologies, and challenges," *IEEE Internet of Things Journal,* vol. 7, pp. 4371-4386, 2019.
95. S. Ramnath, A. Javali, B. Narang, P. Mishra, and S. K. Routray, "IoT based localization and tracking," in *2017 International Conference on IoT and Application (ICIOT)*, 2017, pp. 1-4.
96. I. M. Shaluf, "An overview on disasters," *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 2007.
97. M. Kamruzzaman, N. I. Sarkar, J. Gutierrez, and S. K. Ray, "A study of IoT-based post-disaster management," in *2017 international conference on information networking (ICOIN)*, 2017, pp. 406-410.
98. Z. M. Taib, N. S. Jaharuddin, and Z. Mansor, "A review of flood disaster and disaster management in Malaysia," *International Journal of Accounting & Business Management*, vol. 4, 2016.
99. D.C. Rai, V. Singhal, B. Raj S, and S. L. Sagar, "Reconnaissance of the effects of the M7. 8 Gorkha (Nepal) earthquake of April 25, 2015," *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, vol. 7, pp. 1-17, 2016
100. O. Cheikhrouhou, A. Koubâa, and A. Zarrad, "A cloud based disaster management system," Journal of Sensor and Actuator Networks, vol. 9, p. 6, 2020.
101. A. K. Sinha and A. Anand, "Optimizing supply chain network for perishable products using improved bacteria foraging algorithm," Applied Soft Computing, vol. 86, p. 105921, 2020.
102. L. Georgios, S. Kerstin, and A. Theofylaktos, "Internet of things in the context of industry 4.0: An overview," 2019.
103. E. Borgia, "The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues," Computer Communications, vol. 54, pp. 1-31, 2014.
104. P. K. D. Pramanik, B. K. Upadhyaya, S. Pal, and T. Pal, "Internet of things, smart sensors, and pervasive systems: Enabling connected and pervasive healthcare," in Healthcare data analytics and management, ed: Elsevier, 2019, pp. 1-58.
105. S. A. Kulkarni, V. D. Raikar, B. Rahul, L. Rakshitha, K. Sharanya, and V. Jha, "Intelligent Water Level Monitoring System Using IoT," in 2020 IEEE International Symposium on Sustainable Energy, Signal Processing and Cyber Security (iSSSC), 2020, pp. 1-5.

106. K. Sharma, D. Anand, M. Sabharwal, P. K. Tiwari, O. Cheikhrouhou, and T. Frikha, "A Disaster Management Framework Using Internet of Things-Based Interconnected Devices," Mathematical Problems in Engineering, vol. 2021, 2021.
107. W. M. Shah, F. Arif, A. Shahrin, and A. Hassan, "The implementation of an IoT-based flood alert system," International Journal of Advanced Computer Science and Applications, vol. 9, pp. 620-623, 2018.
108. P. Daly and Y. Rahmayati, "Cultural heritage and community recovery in post-tsunami Aceh," From the Ground Up: Perspectives on Post-Tsunami and Post-Conflict Aceh. Singapore: Institute of Southeast Asian Studies, pp. 57-78, 2012.
109. R. Dhanagopal and B. Muthukumar, "A model for low power, high speed and energy efficient early landslide detection system using IoT," Wireless Personal Communications, vol. 117, pp. 2713-2728, 2021.
110. A. Sofwan, M. Ridho, and A. Goni, "Wireless sensor network design for landslide warning system in IoT architecture," in 2017 4th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE), 2017, pp. 280-283.
111. M. El Moulat, O. Debauche, S. Mahmoudi, L. A. Brahim, P. Manneback, and F. Lebeau, "Monitoring system using internet of things for potential landslides," Procedia computer science, vol. 134, pp. 26-34, 2018.
112. C. Margottini, "Instability and geotechnical problems of the Buddha niches and surrounding cliff in Bamiyan Valley, central Afghanistan," Landslides, vol. 1, pp. 41-51, 2004.
113. C. Margottini, "The monsters grove of Bomarzo (Central Italy): from rock fall to landscape architecture," in Landslide Science and Practice, ed: Springer, 2013, pp. 511-519.
114. P. Coussot and M. Meunier, "Recognition, classification and mechanical description of debris flows," Earth-Science Reviews, vol. 40, pp. 209-227, 1996.
115. I. S. Udoh and G. Kotonya, "Developing IoT applications: challenges and frameworks," IET Cyber-Physical Systems: Theory & Applications, vol. 3, pp. 65-72, 2018.
116. F. J. Mesas-Carrascosa, D. Verdú Santano, J. E. Meroño de Larriva, R. Ortíz Cordero, R. E. Hidalgo Fernández, and A. García-Ferrer, "Monitoring heritage buildings with open source hardware sensors: A case study of the mosque-cathedral of Córdoba," Sensors, vol. 16, p. 1620, 2016.

117. V. Dorokhov and N. Pintelin, "Control of temperature and humidity conditions of church buildings-architectural monuments as a method of preservation," in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, p. 032076.
118. N. Dimitrov, D. Atanasova, I. Ivanova, A. Georgieva, S. Hamza, J. Stoyanov, et al., "Methods for preservation of body relics used by the Christian Church," Science and Technologies, 2018.
119. A. Kevin, "That 'internet of things' thing," RFID journal, vol. 22, pp. 97-114, 2009.
120. M. Alivizatou-Barakou, A. Kitsikidis, F. Tsalakanidou, K. Dimitropoulos, C. Giannis, S. Nikolopoulos, et al., "Intangible cultural heritage and new technologies: challenges and opportunities for cultural preservation and development," in Mixed reality and gamification for cultural heritage, ed: Springer, 2017, pp. 129-158.
121. S. T. Islam and Z. Chik, "Disaster in Bangladesh and management with advanced information system," Disaster Prevention and Management: An International Journal, 2011.
122. O. Vermesan and P. Friess, Internet of things: converging technologies for smart environments and integrated ecosystems: River publishers, 2013.
123. H. Arasteh, V. Hosseinnezhad, V. Loia, A. Tommasetti, O. Troisi, M. Shafie-khah, et al., "Iot-based smart cities: A survey," in 2016 IEEE 16th international conference on environment and electrical engineering (EEEIC), 2016, pp. 1-6.
124. I. Ganchev, Z. Ji, and M. O'Droma, "A generic IoT architecture for smart cities," 2014.
125. H. Huang, K. H. Ng, B. Bedwell, and S. Benford, "A card-based internet of things game ideation tool for museum context," Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, vol. 12, pp. 9229-9240, 2021.
126. K. Yelamarthi, M. S. Aman, and A. Abdelgawad, "An application-driven modular IoT architecture," Wireless Communications and Mobile Computing, vol. 2017, 2017.
127. G. Migliaccio, "Accessible tourism in Italy: state of the art and future prospects in the digital age," New frontiers in the tourism and hospitality industry: digital, social and economic transformations, pp. 32-44, 2020.
128. S. A. Al-Qaseemi, H. A. Almulhim, M. F. Almulhim, and S. R. Chaudhry, "IoT architecture challenges and issues: Lack of standardization," in 2016 Future technologies conference (FTC), 2016, pp. 731-738.
129. K. K. Patel and S. M. Patel, "Internet of things-IOT: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges," International journal of engineering science and computing, vol. 6, 2016.

130. C.-L. Zhong, Z. Zhu, and R.-G. Huang, "Study on the IOT architecture and gateway technology," in 2015 14th International Symposium on Distributed Computing and Applications for Business Engineering and Science (DCABES), 2015, pp. 196-199.
131. D. Tian and N. D. Georganas, "A coverage-preserving node scheduling scheme for large wireless sensor networks," in Proceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications, 2002, pp. 32-41.
132. [41] A. Chianese and F. Picciali, "Designing a smart museum: When cultural heritage joins IoT," in 2014 eighth international conference on next generation mobile apps, services and technologies, 2014, pp. 300-306.
133. F. Sparacino, "The Museum Wearable: Real-Time Sensor-Driven Understanding of Visitors' Interests for Personalized Visually-Augmented Museum Experiences," 2002.
134. I. Ungurean, N.-C. Gaitan, and V. G. Gaitan, "An IoT architecture for things from industrial environment," in 2014 10th International Conference on Communications (COMM), 2014, pp. 1-4.
135. M. A. Matin and M. Islam, "Overview of wireless sensor network," Wireless sensor networks-technology and protocols, vol. 1, 2012.
136. S. Talari, M. Shafie-Khah, P. Siano, V. Loia, A. Tommasetti, and J. P. Catalão, "A review of smart cities based on the internet of things concept," Energies, vol. 10, p. 421, 2017
137. S. Hou, L. Zhang, T. Xie, H. Mei and J. Sun, "Applying Interface-Contract Mutation in Regression Testing of Component-Based Software," 2007 IEEE International Conference on Software Maintenance, 2007, pp. 174-183, doi: 10.1109/ICSM.2007.4362630.
138. Feliachi, A., Abadie, N., & Hamdi, F. (2015). Thematic Linked Data Matching : an Approach based on Geographic Reference Data.
139. Pavlidis, G., & Sevetlidis, V. (2015). Demystifying publishing to Europeana: A practical workflow for content providers.
140. Jun H , Yingchun Lv and Mu Z . (2014) .The Ontology Design of Intangible Cultural Heritage based on CIDOC CRM
141. Bedjaoui, Mohammed. (2004). The Convention for the Safeguarding of the Intangible Cultural Heritage: the legal framework and universally recognized principles. Museum International. 56. 150 - 155. 10.1111/j.1350-0775.2004.00469.

142. Maréchau, Jean-Louis, Combining Service-Oriented Architecture and EventDriven Architecture using an Enterprise Service Bus, IBM, (2006)
143. Asaithambi, Suriya & Venkatraman, Ramanathan & Venkatraman, Sitalakshmi. (2020). MOBDA: Microservice-Oriented Big Data Architecture for Smart City Transport Systems. Big Data and Cognitive Computing. 4. 17. 10.3390/bdcc4030017.
144. A. B. A. Alaasam, G. Radchenko and A. Tchernykh, "Stateful Stream Processing for Digital Twins: Microservice-Based Kafka Stream DSL," 2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON), 2019, pp. 0804-0809, doi: 10.1109/SIBIRCON48586.2019.8958367.