Apports à la construction d'outillage informatique pour les études liées au patrimoine

Loic Jeanson

▶ **To cite this version:**

Loic Jeanson. Apports à la construction d'outillage informatique pour les études liées au patrimoine. Traitement du texte et du document. École centrale de Nantes, 2020. Français. NNT : 2020ECDN0011 . tel-03272227v2

HAL Id: tel-03272227

https://theses.hal.science/tel-03272227v2

Submitted on 28 Jun 2021

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

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

CENTRALE NANTES

THESE DE DOCTORAT DE

L'ÉCOLE CENTRALE DE NANTES

ECOLE DOCTORALE N° 602
Sciences pour l'Ingénieur
Spécialité *: Génie Industriel*

Par
Loïc JEANSON

Apports à la construction d'outillage informatique pour les études liées au patrimoine

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 22 juin 2020
Unité de recherche : UMR 6004, Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes (LS2N)

Rapporteurs avant soutenance :

Nabil ANWER, Professeur des universités, Université Paris-Saclay

Muriel GUEDJ, Maître de conférences HDR, Université de Montpellier

Composition du Jury :

Présidente : **Pascale KUNTZ,** Professeure des universités, Université de Nantes

Examinateurs : **Pierre HALLOT,** Assistant professor, Université de Liège, Belgique

Manuel ZACKLAD, Professeur, Conservatoire National des Arts et Métiers Paris

Dir. de thèse : **Alain BERNARD,** Professeur des universités, École Centrale de Nantes

Co-encadrant : **Jean-Louis KEROUANTON,** Maître de conférences, Université de Nantes

Co-encadrant : **Florent LAROCHE,** Maître de conférences HDR, École Centrale de Nantes

Remerciements

Je tiens avant tout à remercier Monsieur Alain Bernard, quotidiennement épaulé de Monsieur Jean-Louis Kerouanton et de Monsieur Florent Laroche, qui ont encadré cette thèse par leurs conseils avisés et constructifs. Ils m'ont permis une très grande liberté d'action et une grande autonomie intellectuelle pour lesquelles je leur suis redevable. Qu'ils soient également remerciés pour leur disponibilité et les discussions que nous avons pu avoir.

Je remercie également les membres du jury de ma thèse. Pour l'honneur qu'il m'ont fait d'en être les rapporteurs, ma gratitude s'adresse en tout premier lieu à Madame Muriel Guedj et à Monsieur Nabil Anwer. Nos échanges furent pour moi éclairants, instructifs et stimulants. Je tiens également à remercier Madame Pascale Kuntz d'avoir accepté d'être présidente de mon jury de thèse. La pertinence de ses remarques, tout autant que la générosité qu'elle a montré lors de ma soutenance sont pour moi de nouveaux signes d'exemplarité. J'adresse de plus mes remerciements sincères et chaleureux à monsieur Pierre Hallot, pour sa disponibilité et sa munificence sans faille, ainsi que la justesse de ses questions qui me donneront du grain à moudre pour quelques mois encore. Je tiens aussi à remercier monsieur Manuel Zacklad pour l'élargissement des perspectives qu'il a porté à mes yeux. Je lui sais gré du recul dont il m'a fait part.

Il n'aurait rien été de ce travail sans les travaux collectifs réalisés dans le cadre du projet Reseed. J'adresse ma gratitude et mon amitié à tous les membres du projet. À Michel Cotte, lecteur critique et constructif de ce travail, qui aura sans cesse hissé nos discussions vers un patrimoine plus large et mieux défini. À Jean Davoigneau, heureux camarade de tour de France, généreux pourvoyeur de rencontres, habile technicien des dynamiques institutionnelles à la connaissance intarissable du patrimoine scientifique et technique français. À Alexandre Durupt et Stéphane Nzetchou pour les nécessaires et réalistes discussions de fond que j'espère approfondir dans les prochains mois. À Sébastien Remy qui sait comme aucun autre combiner contexte scientifique et contexte humain, et qui nous aura ramené sans cesse à la pratique. À Harvey Rowson pour la culture scientifique impressionnante et la compétence technique qu'il a partagé, et pour peut-être surtout pour sa lucidité. Enfin, à Matthieu Bricogne, pour sa pertinence dont il n'est jamais avare.

Avant d'élargir le regard, je tiens remercier les personnes avec qui j'ai eu la chance travailler directement. Amandine Bérard, Martin Boutroux, Grégoire Dupré-Latour, Sarah Folschweiler, Paul-Loup Gobinet,

Guillaumé Quéré, et Alexandre Trendel. En stage ou en projet sous mon administration, j'espère ne pas vous rester comme un trop mauvais souvenir. Vous fûtes pour moi source d'enrichissement, porteurs de questionnements nouveaux et indispensables. En plus de vous adresser mes remerciements, je voudrais vous redire l'impressionnante compétence que j'ai eu l'honneur de rencontrer en chacun de vous.

Je souhaite adresser mes plus sincères remerciements aux deux laboratoires et aux deux équipes de recherche qui m'ont accueilli durant cette thèse. Je tiens à remercier Catherine Da Cunha qui, en tant que directrice de l'équipe IS3P, aura continuellement veillé à la qualité de la recherche par l'animation de la vie de l'équipe. Plus généralement, je veux remercier tous les permanents de l'équipe IS3P pour les différents échanges lors des séminaires d'équipe, en plus des noms cités précédemment, merci Farouk Belkadi et Philippe Depalle. De même, je tiens à remercier les personnes en charge des nombreux aspects administratifs pour l'équipe. Emily Thureau et Pélagie Uwamahoro, votre attention aux gens et votre travail rend notre quotidien facile. Merci également à Annie Boilot, Patricia Brière, Virginie Dupont, Claude Jard, Sophie Girault et plus généralement les membres des différents services au LS2N.

Je tiens à adresser mes remerciements les plus chaleureux à tous les membres du Centre François Viète. J'y ai trouvé un environnement adelphique, structurant, propice à la construction personnelle, à l'élaboration de convictions de recherche et de questions épistémologiques, environnement favorable à la curiosité, à l'apprentissage méthodologique et à la discussion de fond. Je voudrais remercier Marie-Morgane Abiven, Jenny Boucard, Marine Carrère, Hervé Ferrière, Océane Fiant, Clément Guiraud, Benjamin Hervy, Colette Le Lay, Anaël Marrec, Vincent Minier, Lisa Rougetet, Pierre Savaton, Frédéric Soulu, Pierre Teissier, Stéphane Tirard et Scott Walter. Enfin, pour son inextinguible gentillesse, l'huile dans les rouages qu'elle sait mettre, quotidiennement, ainsi que pour son efficacité indispensable, je tiens tout particulièrement à remercier Anaïs Durand.

Je voudrais également remercier les différents membres des communautés de recherche dans lesquelles j'ai pu m'impliquer, en premier lieu desquelles le Consortium 3D de la TGIR HumaNum, Adeline Joffres, Valentin Grimaud et Sarah Tournon, merci de votre soutien jusqu'au premiers moments de ma soutenance ! Merci également aux collègues de Nancy, et d'ailleurs, larges de conseils et aux portes toujours ouvertes, Olivier Bruneau, Christophe Eckes, Amélie Renard, Emilio Sanfilippo, Martina Schiavon, Andreas Wagner, Pierre Willaime, parmi d'autres.

J'exprime une gratitude toute personnelle aux collègues et amis doc-

torants de Nantes, compagnons d'aventure et de mésaventure. Paul François, semi-célébrité, collègue de 20 ans sans le savoir, Elaheh Maleki le cœur sur la main et une armoire pleine de courage sucré, Oussama Meski au réjouissant rire sonore (سَلِم ٣لَ بِرِيحِيت), mais aussi plus largement Jing Chang, Aurélie Moyon, Victor Godreau et Paul-Émile Meunier. J'adresse des remerciement tous particuliers à Matthieu Quantin, je n'aurai pu trouver meilleur ouvreur de voie, devenu un ami précieux.

À ma famille, inestimable soutien, d'abord et surtout à mes chers parents Anne et Eric, à mes grands-parents Geneviève et Jean, Marie-Renée et Jacques, à mes frères et sœur Thomas, Mathilde et Nicolas, aux cousin(e)s, (grand-)tantes et oncles, je tiens à vous écrire mon amour et vous remercie pour votre entourage constant et précieux.

Enfin, j'exprime ma pleine gratitude aux amis, compagnons de route, fidèles soutiens, saveurs franco-canayennes, dompteurs de novembre, IBIS et intégrés (oui, même les intégrés), les rémois proches et lointains, tous les topeurs de mon cœur, alouettes, 7@laMaison44, adeptes d'urbex/-jardinex, maudites mouffettes de Brossard, guitare battante, résidents de la rue Sadi Carnot, caennais(es) lyriques ou photosensibles, occitans taphophiles, entre mer et montagne bié sûr, mais aussi Gaspard, Victoire, Alexie et Élise, et tous les autres, que j'omets malencontreusement. Je ne serai pas allé jusqu'au bout de ce chemin sans vous tous.

Table des matières

1 Introduction générale **1**
- 1.1 Contexte de l'étude . . . 2
- 1.2 Contribution . . . 3
- 1.3 Plan de lecture . . . 4

2 Découverte de l'étude patrimoniale par le spectre d'un cas pratique, l'Observatoire du Pic du Midi **7**
- 2.1 L'étude de la valeur patrimoniale du Pic du Midi . . . 10
  - 2.1.1 Contexte . . . 10
  - 2.1.2 Les activités réalisées . . . 11
- 2.2 Un objet de patrimoine : l'Observatoire du Pic du Midi . . . 16
  - 2.2.1 L'implantation actuelle . . . 16
  - 2.2.2 Construire un observatoire en haute-montagne . . . 22
  - 2.2.3 Valeur patrimoniale de l'observatoire . . . 35
- 2.3 Analyse du processus d'étude . . . 39
  - 2.3.1 Récupérer des informations de différentes sources 39
  - 2.3.2 Modéliser l'Observatoire du Pic du Midi . . . 41
  - 2.3.3 Synthèse de la démarche . . . 42
- 2.4 Un premier essai d'outil de soutien à la présentation . . . 44
  - 2.4.1 Gérer l'évolution de la forme des bâtiments . . . 44
  - 2.4.2 Modéliser la succession des modifications . . . 48
  - 2.4.3 Apports et limites . . . 51
- 2.5 Retour général sur ce cas pratique . . . 53

3 Le patrimoine, la reconnaissance d'attachements **55**
- 3.1 Introduction . . . 55
- 3.2 Qu'est-ce que le patrimoine ? . . . 56
  - 3.2.1 Une notion changeante . . . 56
  - 3.2.2 L'explicitation pour les patrimoines collectifs . . . 59
  - 3.2.3 La dimension patrimoniale des biens . . . 67
- 3.3 Désintégrer le patrimoine et les catégories de patrimoine ? 81

3.3.1 Les critères d'évaluation UNESCO 82
3.3.2 La tendance vers l'immatériel 89
3.3.3 L'étude patrimoniale, une approche non standard 92
3.4 Synthèse 93

4 Outils et pratiques de modélisation du patrimoine 97
4.1 Des approches conceptuelles 98
4.2 Des activités de modélisation 100
4.2.1 Créer un maquettes numériques 100
4.2.2 Modéliser des systèmes 101
4.2.3 Modéliser du texte 101
4.2.4 Synthèse 101
4.3 Des outils logiciels 102
4.4 « La moitié du travail scientifique » 104
4.5 Synthèse des limites et des contraintes 105

5 Modélisations et documentation 113
5.1 La documentation, les données 114
5.1.1 Données, informations, connaissances 116
5.1.2 Diversité et hétérogénéité des données 124
5.2 Les documents 126
5.2.1 Les types de support de documents 127
5.2.2 Les types d'inscriptions de documents 131
5.3 La documentation informatique des objets 139
5.3.1 Les outils de la modélisation géométrique 139
5.3.2 Les bases de données 145
5.3.3 Technologies pour le texte 154
5.4 Synthèse 155

6 Cahier des charges 159
6.1 Présentation d'ensemble de l'outil projet 160
6.1.1 Présentation du contexte scientifique 160
6.1.2 Objectifs de l'outil 163
6.1.3 Cible de l'outillage 168
6.1.4 Périmètre du projet 168
6.2 Description de l'outil 169
6.2.1 Description ergonomique 169
6.2.2 Description fonctionnelle et technique 169
6.2.3 Arborescence de l'application 175
6.3 Analyse de l'outil par son cahier des charges 175
6.3.1 Contrainte ontologique 177

6.3.2 Pour la modélisation : traçabilité et lisibilité 178
6.3.3 Accéder aux données 180
6.3.4 Visibilité des données 180

7 Mises en œuvre **183**
7.1 Interface 184
7.2 Exemple de module externe 186
7.3 Éclater les fichiers et centraliser l'information - Cas des cercles méridiens Gautier 191
7.3.1 Cercle méridien et mesures méridiennes 191
7.3.2 Les cercles de Gautier 192
7.3.3 Fiches et frises 195
7.3.4 Des générations de cercles 198
7.3.5 En synthèse 201
7.4 Retours d'application 205

8 Conclusion générale **207**
8.1 Vue d'ensemble 208
8.2 Limites et perspectives 209

A Extraits de textes régissant les décisions patrimoniales **233**

Table des figures

1.1 Plan global de l'étude 5

2.1 Actigramme de la production d'une candidature patrimoniale, niveau A0. 14
2.2 Actigramme de la production d'une candidature patrimoniale, détail d'A0. 15
2.3 Cartes localisant le Pic du Midi de Bigorre. | Fonds de carte : Géoportail 17
2.4 L'Observatoire du Pic du Midi depuis sud.| CC BY-SA 3.0 - Serge Ottaviani - Wikimedia commons 19
2.5 Vue satellite de l'Observatoire du Pic du Midi. | © 2016 - Géoportail 19
2.6 Les travaux de construction du bâtiment Nansouty en 1879 | © Régie du Pic du Midi 23
2.7 Le site probablement autour de 1886. À gauche, le blockhaus ; à droite, le bâtiment Nansouty | © Régie du Pic du Midi 25
2.8 Cérémonie d'installation des bustes sur la façade du bâtiment Nansouty, le 25 septembre 1898. | © Régie du Pic du Midi 26
2.9 L'Observatoire du Pic du Midi sous la neige. | © Régie du Pic du Midi 26
2.10 Travaux d'agrandissement du bâtiment Nansouty, 1937.| © Régie du Pic du Midi 29
2.11 Construction de la gare de téléphérique, été 1950. | © Régie du Pic du Midi 30
2.12 L'Observatoire durant les travaux du bâtiment interministériel, 9 septembre 1962 | © Régie du Pic du Midi 32
2.13 Construction de la coupole du Télescope Bernard Lyot (probablement en 1971). | © Régie du Pic du Midi 32

2.14 L'Observatoire du Pic du Midi (probablement autour de 1975). | © Régie du Pic du Midi 33
2.15 Actigramme de la récupération d'information 41
2.16 Modèle 3D global de l'état du site .| © 2017 P.-L. Gobinet, L. Jeanson 45
2.17 Modélisations et photographies de 2 états du bâtiment Baillaud. Au dessus, l'état actuel. En dessous, l'état en 1901) 47
2.18 Actigramme de la production d'une candidature patrimoniale, nouveau détail d'A0. 52

3.1 Effets bénéfiques et néfastes introduits par l'attribution d'un label patrimonial 70
3.2 Actigramme générique des activités d'étude patrimoniale 72
3.3 Actigramme générique des activités d'explication patrimoniale 72
3.4 Actigramme générique des activités de conservation patrimoniale 73
3.5 Actigramme générique des activités patrimoniale 74
3.6 Décomposition d'un bien en Valeurs et Attributs 76
3.7 Actigamme de l'attribution des valeurs par réification . . 77
3.8 Les relais de la démonstration patrimoniale : du bien à la documentation 78
3.9 Actigamme de l'attribution des valeurs par réification . . 79
3.10 Interaction entre quatre types d'activités patrimoniales . 81
3.11 Schéma présentant les étapes d'explicitation dans l'étude du patrimoine culturel matériel 95
3.12 Schéma présentant les étapes d'explicitation dans l'étude du patrimoine culturel immatériel 95

4.1 Le DHRM de Laroche 99
4.2 Actigramme générique de la création d'un modèle 3D . . 108
4.3 Actigramme générique de la création d'une base de données109
4.4 Actigramme générique de la création d'une édition numérique en TEI 110
4.5 Panorama de différents outils de modélisation 111

5.1 De la donnée à la connaissance pour Gardoni (via N.Perry) 118
5.2 Exemples d'inscriptions. À gauche : Une cloche de la cathédrale de Troyes (FR) - © Bennani, M. © Ministère de la culture | À Droite : Dragon en néon *Museum Of Neon Art*) - © CC0 wikipedia user AndrewKeenanRichardson 129

5.3 À gauche : Fontaine d'ablutions de la synagogue d'Haguenau - © Ministère de la Culture (France) | Au Centre : Inscription par soudage sur plaque d'acier - © @aceofmicrowelding sur *Instagram* | À droite : "L'astronomie et la Géographie", Huile sur toile - © Musées CG58 129
5.4 Inscription sur tissus par décoloration - © Etienne Savaria 130
5.5 Extrait du *Bréviaire à l'usage de l'abbaye Saint-Faron de Meaux* - © Institut de recherche et d'histoire des textes - CNRS 132
5.6 Première page du manuscrit de l'*Abrégé de l'Astronomie*, Cassini, Jean-Dominique (1625-1712), - dans le fonds CASSINI I - Bibliothèque de l'Observatoire de Paris 132
5.7 Reproduction de diagramme de l'*Astrolabe de Danjon* ? - Bibliothèque de l'Observatoire de Paris 132
5.8 Exemple de document *collection de quantités* : *Variations saisonnières de la durée du jour* - Jean Counil, Bibliothèque de l'Observatoire de Paris 132
5.9 Extrait d'une table des corrections des observations, *(1906) Observations faites au cercle méridien (Abbadia)*, Observatoire d'Abbadia, 1906 - Bibliothèque de l'Observatoire de Paris 133
5.10 Photographie intitulée *Bal du mariage Moreau Moinet, en avril 1899, à Vanzay* - © Inventaire général, ADAGP | Photo : Eric Dessert 134
5.11 Plan de la ville de Mulhouse de 1797 - © Inventaire général | Photo : Marie-Philippe Scheurer 134
5.12 Croquis de l'usine métallurgique dite les forges de la Vache - © Inventaire général | Photo : F. Dreyer 134
5.13 La *Déclaration des Droits de l'Homme*, encres vernies sur toile © Guillaume Bourquin, 2018 135
5.14 *Carte éducative zoo-géographique de l'URSS*, crée vers 1928 © N.M. Buchunov et V.V. Ermakov, Bibliothèque d'État de Russie 136
5.15 A gauche : Panneau des lions de la Caverne du Pont d'Arc - CC-BYSA 4.0 Claude Valette | Au centre : Rayonnement infrarouge d'un bâtiment géré par Historic Environment Scotland - © HES | À droite : Maquette de la salle à manger de Néron - © Matthieu Quantin / Photo Florent Laroche . 137

6.1 Brouillon d'interface vierge 170
6.2 Brouillon d'interface pour l'annotation 170

6.3 Brouillon d'interface pour la consultation d'annotation/de modélisation 171
6.4 Schéma récapitulatif de la structure de notre proposition d'outil 176

7.1 Entrée d'information - © Dupré La Tour & Trendel, 2019 . 186
7.2 Recherche d'entité et d'exploration de ses relations- © Dupré La Tour et Trendel, 2019 187
7.3 Sélection d'entité depuis une image 3D- © Dupré La Tour et Trendel, 2019 188
7.4 Illustration d'une sélection d'informations- © Dupré La Tour et Trendel, 2019 188
7.5 Remodélisation d'un couloir intérieur de l'Observatoire du Pic du Midi - © Boutroux, 2018 190
7.6 Vue générale du cercle méridien de Toulouse - CC-BY-NC, LJ, 2018 193
7.7 Page du cercle méridien du jardin de l'Observatoire de Paris - Reseed, 2019 196
7.8 Page des micromètres et oculaires du cercle méridien du jardin de l'Observatoire de Paris - Reseed, 2019 197
7.9 Frise des micromètres et oculaires du cercle méridien du jardin de l'Observatoire de Paris - © Amandine Bérard, 2019 197
7.10 Frise des micromètres et oculaires du cercle méridien du jardin de l'Observatoire de Paris et de l'Observatoire de Bordeaux-Floirac - © Amandine Bérard, 2019 198
7.11 Frise constituée des composantes du cercle méridien du jardin de l'Observatoire de Paris et de l'Observatoire de Bordeaux-Floirac - © Amandine Bérard et Loïc Jeanson, 2019 199
7.12 Les trois lunettes Gautier de « première génération », de haut en bas : Lima, Paris, Marseille. 200
7.13 Les deux lunettes Gautier de « seconde génération », de haut en bas : Lyon, Hendaye. 202
7.14 Lunettes Gautier de « troisième génération », de haut en bas : Besançon, Alger, Toulouse. 203
7.15 Lunettes Gautier de l'Observatoire de Paris aujourd'hui. . 204

Liste des tableaux

2.1 Les types d'entités de la base de données sur le Pic du Midi 48
2.2 Les types de relations de la base de données sur le Pic du Midi 49

3.1 Qualificatifs, échelles et valeurs du Patrimoine Mondial . 62
3.2 Qualificatifs, échelles et valeurs du Patrimoine Européen 63
3.3 Qualificatifs, échelles et valeurs du Patrimoine Français . 64
3.4 Qualificatifs, échelles et valeurs du Patrimoine Allemand 65
3.5 Qualificatifs, échelles et valeurs du Patrimoine Autrichien 66
3.6 Qualificatifs, échelles et valeurs du Patrimoine Espagnol . 67
3.7 Qualificatifs, échelles et valeurs du Patrimoine Italien . . 67
3.8 Valeurs patrimoniales à l'UNESCO, en France, en Allemagne, en Autriche, en Espagne et en Italie 68

5.1 Fiche d'identité de CATIA 141
5.2 Fiche d'identité de Revit 142
5.3 Fiche d'identité de 3ds Max 143
5.4 Fiche d'identité de Meshlab 144
5.5 Fiche d'identité de CloudCompare 144
5.6 Comparaison UML-OWL | Similar concepts OWL Elements (repris depuis [Păt15]) 149
5.7 Coordonnées et couleurs d'un point en 3d (par ex. dans un fichier .pts) 156

7.1 Caractéristiques des cercles Gautier des observatoires de France métropolitaine (extrait de [GTD05]) 194

Chapitre 1

Introduction générale

> Botany is the art of plants. Plants are divided into trees, flowers, and vegetables. The true botanist knows a tree as soon as he sees it. He learns to distinguish it from a vegetable by merely putting his ear to it.
>
> *III. — Remains of Botany* dans *« A Manual of Education »*
> **Stephen Leacock**

> [...] Tellement tentant de vouloir distribuer le monde entier selon un code unique ; une loi universelle qui régirait l'ensemble des phénomènes : deux hémisphères, cinq continents, masculin et féminin, animal et végétal, singulier pluriel, droite gauche, quatre saisons, cinq sens, six voyelles, sept jours, douze mois, vingt-six lettres.
> Malheureusement, ça ne marche pas, ça n'a même jamais commencé à marcher, ça ne marchera jamais.
> N'empêche que l'on continuera encore longtemps à catégoriser tel ou tel animal selon qu'il a un nombre impair de doigts ou de cornes.
>
> *U) Le monde comme puzzle* dans *« Penser/Classer »*
> **Georges Perec**

1.1 Contexte de l'étude

Ce travail de thèse commença en décembre 2016, juste après le lancement projet ANR « Reseed », [1].

Le projet ANR Reseed réunit à une même table des universitaires, des industriels et des institutionnels avec l'objectif global de penser et de proposer des outils informatiques permettant l'assistance aux travaux patrimoniaux : études, documentation, commissions de décision, médiation, valorisation, etc. L'équipe du projet se compose de d'ingénieurs, informaticiens et mécaniciens, et de spécialistes de l'étude patrimoniale. Les positionnements disciplinaires des différents partenaires ont permis une grande richesse d'approches et de questionnements. Béotien dans les études patrimoniales, j'ai pu jouir d'une grande liberté d'action, me joignant aux activités des partenaires patrimoniaux autant qu'aux questionnements et développement plus « informatiques ».

Du point de vue académique, j'étais rattaché à deux laboratoires aux activités très différentes, d'une part, au Centre François Viète (CFV), Équipe d'Accueil en Épistémologie et Histoire des Sciences et des Techniques, d'autre part, au Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes (LS2N), Unité Mixte de Recherche, centré sur l'informatique en général (cybernétique, robotique, informatique calculatoire, ingénierie de la connaissance, ingénierie système). L'association de ces deux laboratoires au travers des travaux communs de Jean-Louis Kerouanton et Florent Laroche est ancienne et produit des interfaces privilégiées entre les disciplines.

Cette thèse est-elle pluri-disciplinaire, interdisciplinaire ou transdisciplinaire ? Elle concerne et articule des réflexions provenant de plusieurs disciplines, et les associe en partie. Si j'évite d'y répondre vraiment, j'apporte cette question parce qu'elle laisse transparaître le besoin de classer qui se retrouve dans de nombreux aspects de ce travail :

- par le cadre d'application, l'étude patrimoniale pour la candidature à la reconnaissance ; c'est à dire le travail établissant, si oui ou non, un bien appartient à une catégorie de patrimoine en particulier,
- par les technologies qu'elle met en jeu, modèles de données et ontologies pour modéliser et organiser en différentes classes,
- par ma recherche de production typologique, au fil de l'eau afin de garder une certaine généricité dans l'analyse.

1. Comme l'acronyme strict ne produisait aucune solution facile d'élocution, les porteurs de projets ont choisi un acronyme libre. Ainsi « Reseed » tient pour **Re**troconception **S**émantiqu**e** d'obj**e**ts patrimoniaux **d**igitaux.

1.2 Contribution

Les travaux patrimoniaux n'échappent pas à la tendance de notre époque à l'informatisation des pratiques. Appelées *digitial humanities* dans leur forme très générale, ces travaux connaissent aussi l'appellation *digital heritage* [2]. Mais la rencontre entre un métier et un outil, ou un type d'outil n'aboutit pas nécessairement à une adéquation suffisante pour que l'adoption soit naturelle ou satisfaisante. L'ajustement de l'un à l'autre se fait par itération, témoignant de limites, mais aussi de formidables possibilités et réalisations.

Le problème à la source de cette thèse relève de cet ajustement, et de la difficulté rencontrée à l'interface des pratiques, outillées et acculturées de façons différentes. À l'interface, en effet, les métiers cherchent à travailler conjointement et partager leurs travaux, de sorte que les résultats et les questionnements des uns puissent devenir matériau source pour les autres. La réalité pratique, la connaissance des travaux des autres, leur accès et le partage des outils compliquent beaucoup ces partages. Aussi, je me suis demandé comment faire cohabiter et dans la mesure du possible, faire *fonctionner* ensemble des outils, des modélisations et des documents venant de sources et de contextes pluriels.

Novice dans les travaux patrimoniaux, j'ai cherché dans un premier temps à en comprendre les fonctionnements, les enjeux que je pouvais rencontrer. J'ai eu la chance de pouvoir partager avec Michel Cotte dans ses travaux relatifs à l'Observatoire du Pic du Midi, et avec Jean Davoigneau, dans ses travaux sur les cercles méridiens Gautier des observatoires en France. Portés par des logiques différentes et cherchant des résultats différents, leurs études patrimoniales se rejoignaient dans les méthodologies.

Au gré des travaux, j'ai produit différents actigrammes simples me permettant d'y voir plus clair sur les activités réalisées. De ces modèles je propose à un contexte pertinent pour l'utilisation des modélisations informatiques à la jointure de différents travaux patrimoniaux pour la production de fiches synthétiques, à partir d'informations de sources diverses.

Ingénieur mécanicien, j'ai du faire des pas de côté, vers les sciences de l'information et de la communication et l'informatique pour appréhender la documentation et ses traitements dynamiques, mais aussi vers les

2. À mon sens, cette seconde formulation présente une difficulté sémantique créant une confusion dans l'objet patrimonial.L'objet patrimonial n'est pas numérique (dans la plupart des cas) en revanche le sont les approches pour documenter et étudier l'objet.

études patrimoniales pour mieux comprendre les objets et les pratiques d'études.

Les prochains chapitres retracent ces pas de côté, formant un état de l'art enrichi d'une dimension analytique. De cette analyse je dégage des constats, des contraintes à l'outillage informatique, au fil de l'eau de l'avancée du panorama. Arrivé au bout des différents domaines et de leurs interfaces, ces éléments glanés au fur et à mesure me permettent de construire un cahier des charges décrivant un outil.

La dimension déontologique de l'étude patrimoniale apparait importante. Elle appelle à l'explicitation des décisions et aux regards critiques sur les travaux produits. Les travaux basés sur la documentation forcent le constat de l'importance d'accompagner la constitution de l'intégrité et de l'authenticité documentaire en régime informatique.

1.3 Plan de lecture

Le cahier des charges s'est constitué assez tard dans mon travail de thèse. Des expériences et des prototypes lui ont été antérieurs. Ils seront présentés dans les deux chapitres (2 et 7) consacrés à la dimension appliquée de mes travaux. La temporalité longue de ces cas d'étude les rend précurseurs et terrain d'expérimentation des idées développées. Pour répondre à la double question *Comment accompagner les travaux patrimoniaux ?* (d'un point de vue méthodologique et d'un point de vue pratique), ce manuscrit s'articule en 7 chapitres.

Le chapitre 2 est consacré à l'étude de l'Observatoire du Pic du Midi. Il présente un travail patrimonial explicitant un besoin informatique, ainsi qu'une mise en application produite assez tôt dans le cadre du projet. Ce chapitre permet une mise en contexte et ouvre sur les trois chapitres analytiques suivants, qui cherchent à prendre du recul, extraire la réflexion du cadre de cet exemple premier.

Le chapitre 3 interroge le patrimoine, la notion, les objets concernés et les activités déployées. Le patrimoine s'y révèle comme la résultante d'une continuité de choix individuels et collectifs, choix de transmettre, choix de conserver. Cette continuité perdure malgré les changements nombreux, permanents et inévitables, subis par les biens de patrimoine culturel. Les mécanismes généraux de modélisation pour l'évaluation et la décision patrimoniale sont également explicités dans ce chapitre 3.

Le chapitre 4 sonde les pratiques actuelles de modélisation patrimoniale. Malgré les différences dans les types de biens auxquelles elles s'appliquent, ou dans les types de documentation qu'elles mettent en œuvre,

dans leur version informatisée, elles se rejoignent en une approche globale. Ce chapitre évoque également des changements méthodologiques et déontologiques, apportés par l'arrivée brutale de l'informatique.

Le chapitre 5 se concentre sur la documentation. Il y est question de la nature documentaire, de ses inscriptions, ses supports et du point de vue informatique, des outils et des formats utilisés pour produire une grande partie de la documentation pour les études patrimoniales. A la fin de ce chapitre 5, la vanité de la question méthodologique apparaît, les communautés de pratiques produisent des méthodologies adaptées à leurs besoins. Cependant à l'interface, le besoin persiste de pouvoir assembler les différentes modélisations.

Le chapitre 6 prend la forme d'un cahier des charges, sans certaines composantes (finances ou délais de réalisation), pour gérer ce seul besoin d'assembler des modélisations d'origines différentes, reprenant les contraintes apparues dans les chapitres précédent. Il se termine par une partie plus réflexive.

Le chapitre 7 présente des mises en application qui ont permis de construire et de mettre à l'épreuve certaines des propositions. On y rencontrera également les cercles méridiens Gautier, qui furent un cas d'étude développé plus tardivement dans le projet, et sur lesquels quelques idées purent être mises en pratique.

La figure 1.1 présente une vue synthétique de ce manuscrit et des thématiques des chapitres à venir.

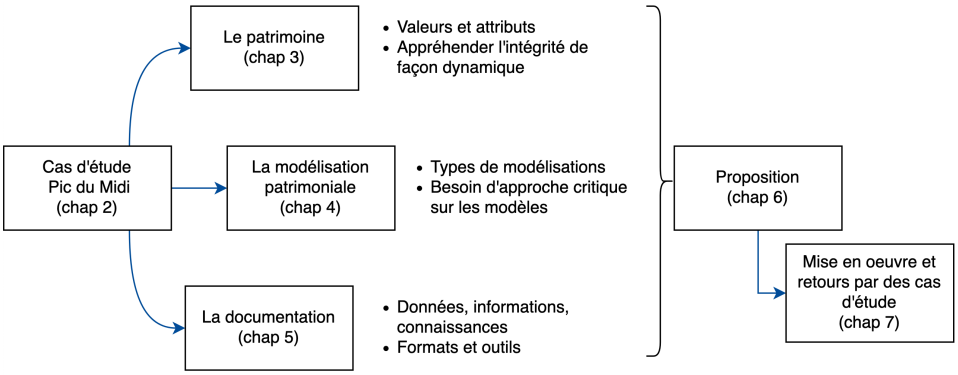


Figure 1.1 – Plan global de l'étude

Chapitre 2

Découverte de l'étude patrimoniale par le spectre d'un cas pratique, l'Observatoire du Pic du Midi

> L'astronomie est, assurément, la plus troublante des sciences, celle qui sut mettre en jeu, depuis la plus haute antiquité, les réflexes humains les plus mystérieux, l'angoisse de l'indéfini, et l'angoisse du temps.
>
> Introduction au Tome Premier des *Observations Méridiennes* par **Félix Boquet** dans l'*Encyclopédie Scientifique*

> Astronomy teaches the correct use of the sun and the planets.
>
> **Stephen Leacock**

La montagne et les astres, voilà le cadre dans lequel a été érigé l'Observatoire du Pic du Midi, un des sites patrimoniaux sur lesquels se penche l'entreprise *MCC Heritage*, et tel est le cadre dans lequel une majeure partie de ce chapitre se développera.

L'Observatoire du Pic du Midi forme aujourd'hui un complexe scientifico-touristique [1], qui demande une maintenance constante. L'activité scien-

1. Sont mises de côté les activités de défense et de télédiffusion qui s'y déroulent

tifique ne mobilise plus à elle seule les fonds permettant de maintenir un niveau suffisant d'entretien des bâtiments et des infrastructures, c'est pourquoi une organisation en charge de la valorisation du site a été créée, la Régie du Pic du Midi. Son implication financière augmente avec les années pour maintenir un bon niveau de fonctionnement du site. La Régie multiplie les sollicitations de valorisation du site pour les visiteurs par la mise en place d'un musée, d'un restaurant, de terrasses panoramiques, d'une passerelle à plancher en verre, etc. En 2013, une réserve internationale de ciel étoilé (R.I.C.E ou *International Dark Sky Rerserve*, I.D.S.R.) centrée autour de l'Observatoire du Pic du Midi est créée. Dans la foulée, en 2016, la Régie s'engage dans le processus d'étude et de constitution d'un dossier de candidature pour rejoindre la Liste du Patrimoine Mondial, et contacte l'entreprise MCC Heritage pour l'y accompagner.

MCC Heritage est un cabinet de conseil pour la constitution et l'accompagnement de dossiers de candidature patrimoniale, des points de vue stratégiques et opérationnels. Durant les premiers mois du projet Reseed [2], MCC Héritage connaissait une forte activité autour de L'Observatoire du Pic du Midi ; par le prisme de ce cas d'étude, tous les partenaires du projet ont eu la chance de découvrir l'activité de l'entreprise. MCC Heritage ne réalise qu'une fraction du spectre large que le terme d'*étude patrimoniale* peut recouvrir. L'entreprise étudie et modélise des biens afin de comprendre, expliciter et exposer leurs valeurs patrimoniales. Ce fut, dans la limite de ce cadre, la découverte des concepts, procédures, réflexions stratégiques et des différentes institutions impliquées dans l'évaluation patrimoniale à l'UNESCO. D'un point de vue personnel, MCC Heritage me laissa une grande liberté et une grande facilité d'action, je remercie très chaleureusement Michel Cotte pour cela.

Ce chapitre se compose de plusieurs éléments de nature différente. Dans un premier temps, je présente la démarche de reconnaissance patrimoniale dans laquelle s'engage l'Observatoire du Pic du Midi, par le prisme des activités de l'entreprise de conseil, décrites et modélisées par actigrammes. Il sera ensuite question de l'Observatoire du Pic du Midi, que je décris au travers d'une forme de biographie du site, constituée chronologiquement, par étapes, commençant du milieu du XIX^{e} siècle, jusqu'à son état actuel [3]. Je reprends ensuite les éléments de l'histoire

également, mais s'inscrivent dans une logique indépendante.

2. financé sur la durée 11/2016-03/2021.

3. Cette partie n'est en aucun cas une production entièrement originale de ma part. Elle se base sur une périodisation et des éléments d'analyse produits par Michel Cotte, eux-mêmes inspirés en grande partie des travaux d'Emmanuel Davoust et de Jean-

du site pour mettre en avant ce qui constitue sa valeur patrimoniale. Ce travail me mène à une troisième section plus réflexive, qui fait correspondre les enjeux de cette étude patrimoniale avec les opportunités du recours à une modélisation informatique, notamment pour ce qui à trait à l'accès à l'information par la visualisation. Enfin, en accompagnement des travaux de MCC Heritage, avec Paul-Loup Gobinet, nous avons produit un applicatif *Unity*, qui cherchait à répondre, au moins en partie aux enjeux de présentation de la modélisation. La présentation de ce document et son analyse termine ce chapitre.

L'étude de ce premier bien ouvre la voie aux chapitres suivants qui porteront un regard plus général et permettront de discerner des lignes de convergence, dont certaines se révèlent déjà nettement dans ce premier cas d'application, comme les multiplicité des formes et complémentarité des pratiques de la modélisations, le besoin de gérer la fiabilité des informations, ou encore le besoin d'outils de support à l'explication.

Chistophe Sanchez.

2.1 L'étude de la valeur patrimoniale du Pic du Midi

Les histoires respectives de MCC Heritage et de son client guident les activités menées par MCC Heritage dans le cadre de l'étude de la valeur patrimoniale du site. Avant de regarder ces activités d'étude, cette première section expose rapidement ce contexte, et la place de mes travaux dans cette association.

2.1.1 Contexte

La Régie du Pic du Midi est l'organisme créé par les municipalités co-propriétaires du site qui exploite actuellement l'Observatoire. Bien que l'Observatoire perpétue son activité scientifique, et nous le verrons plus en détail dans la section qui retrace l'historique du site, s'y déploie également une activité touristique ancienne. L'Université et le CNRS se concentrant sur l'enseignement et la recherche, la gestion de l'activité touristique et la valorisation du site a été confiée à d'autres, constitués en établissement public, syndicat mixte. L'activité touristique existant, on cherche à la structurer, à organiser la valorisation patrimoniale. L'équipe de la Régie a la charge de la médiation du site au travers du musée et du planétarium que l'Observatoire abrite, elle considère cependant que l'exercice de candidature patrimoniale à l'UNESCO dépasse ses capacités internes. Elle contacte alors le cabinet de conseil MCC Heritage.

La société MCC Heritage a varié en taille et en niveau d'activité à travers le temps, mais son métier, le conseil à l'évaluation patrimoniale, qui consiste en deux types d'activités cycliques, n'a jamais changé. Lors de la première phase, très opérationnelle, on collige des éléments, des informations, des documents et à les étudier afin de mieux comprendre les biens en question. L'autre, stratégique, cherchant à obtenir le résultat concret de la reconnaissance patrimoniale, **produit des modélisations**. C'est à dire qu'en vue de présenter le bien de telle sorte qu'il corresponde le mieux possible aux critères du type de patrimoine auquel il prétend, et à partir des informations récupérées, on procède à la sélection, à la pondération, aux interprétations, à la production d'hypothèses, etc.

Le cabinet de conseil formalise cette modélisation afin de pouvoir la transmettre à d'autres, en particulier à l'instance décisionnaire de la reconnaissance patrimoniale. Traditionnellement, cette modélisation constitue un dossier, une série de documents articulés les uns avec les autres, pouvant prendre différents noms (*dossier d'œuvre, dossier de*

candidature, ...).

Dans une certaine mesure, il revient au cabinet de conseil la responsabilité de définir le type de reconnaissance patrimoniale à laquelle prétendre, mais n'ayant pas assisté à ces discussions, je ne sais pas si le type de reconnaissance, dans ce cas, l'inscription sur la liste du patrimoine mondial de l'UNESCO, était établi avant l'intervention du cabinet de conseil ou non. Dans tous les cas, tel était le cadre rassemblant ces deux partenaires.

MCC héritage est un partenaire du projet Reseed ; au cours de nos réunions mensuelles, l'équipe complète du projet a découvert les activités autour du Pic du Midi. L'équipe du projet a tenu un double rôle de mon point de vue : observatrice et analyste des pratiques et des méthodologies d'une part, et dans un même temps, pourvoyeuse de propositions d'outillage informatique pour soutenir et peut-être améliorer les activités de l'entreprise. Mon rôle n'était pas clairement formalisé. L'enjeu exprimé était de penser la proposition d'outillage informatique pour les travaux de MCC Heritage et réfléchir aux fonctionnalités de l'outil et aux apports de l'outillage sur les activités réalisées.

2.1.2 Les activités réalisées

Il ne m'est pas possible de façon réaliste de formaliser complètement le processus d'étude dont j'ai été témoin à propos de l'Observatoire du Pic du Midi. L'équipe du projet Reseed n'a pas, et à juste titre, été impliquée dans bon nombre de rencontres ou de productions documentaires. Dans cette section, je vais cependant essayer de synthétiser et d'analyser ce que j'ai pu retirer des discussions et réunions. Dans un premier temps, je dresse la liste des différentes activités réalisées par le cabinet de conseil, que je schématise en IDEF, formalisme qui me semble particulièrement efficace pour la représentation d'activités et des paramètres qui pilotent leurs réalisations.

Description d'activités pour l'étude et la modélisation patrimoniale

Les différentes activités réalisées tendent à une seule finalité : l'obtention de la reconnaissance patrimoniale, qui dépend d'une décision collective, ultimement extérieure à toute action de MCC Heritage ou de la Régie du Pic du Midi. La décision rendue se base cependant en grande partie sur :

- des travaux rétrospectifs de documentation de la connaissance du bien,
- des travaux explicatifs de l'état actuel et des usages actuels,
- des travaux prospectifs des projets et interventions à venir.

Les ressorts de cette articulation semblant résider dans une démonstration de continuité et de cohérence, mais aussi dans la capacité d'expliciter la vision patrimoniale du site, fondation souhaitée aux évolutions futures influencées par le régime patrimonial.

Prenons la chronologie du processus patrimonial à rebours. À la toute fin, une commission se réunit et les différents biens-candidats sont présentés. On discute leurs situations et à l'issue de la discussion, est décidé, ou non, de leur donner un statut particulier. Dans le cadre de l'évaluation du patrimoine mondial de l'UNESCO, deux éléments principaux forment la base informative pour la décision **un dossier de candidature** et **l'analyse consultative** de la part d'une organisation extérieure (l'ICOMOS et l'IUCN, respectivement pour les bien de patrimoine culturel et naturel).

Les dossiers de candidature sont des documents assez longs, exposant le site par son histoire et ses caractéristiques, significatives d'un patrimoine culturel et/ou naturel remarquable. L'institution portant la candidature présente les conclusions et les points saillants de son dossier à la commission. Le temps des membres de la commission étant limité et les sites candidats ne manquant pas, cette présentation revêt une importance capitale dans le processus de décision. Elle doit témoigner de la connaissance du site et de la vision au travers des temps portée par l'institution gérante qui cherche à s'adosser à l'UNESCO.

Pour récapituler, l'épreuve de la candidature à l'UNESCO demande de faire montre, en commission,

- d'une bonne connaissance du site, étayée par la documentation accessible,
- d'une vision du bien, en produisant un modèle concordant avec une des catégories du patrimoine mondial (i.e. bien de patrimoine culturel, bien de patrimoine naturel, bien mixte), et capable de se démarquer des autres biens reconnus par l'UNESCO comme porteurs d'universalité et d'exceptionnalité.
- d'un plan détaillant les conditions pratiques d'accueil des visiteurs (indépendamment de toute reconnaissance du statut de patrimoine mondial, et en anticipant son influence sur la fréquentation du site).

MCC Heritage a œuvré dans les deux dimensions à la constitution

de ce dossier et indirectement de la présentation [4]. D'une part, vers la construction de la connaissance du site, en cherchant, identifiant, compulsant la documentation là où elle était accessible. D'autre part, en bâtissant un propos traduisant une vision pour le site, articulant des éléments choisis, témoins des valeurs patrimoniales du site. Ces deux dimensions du travail rétro-agissent évidemment ; sans information, difficile de produire un éclairage du bien, et la direction du propos oriente en retour les recherches et études documentaires.

La construction de la connaissance du site a nécessité différentes visites aux archives (de l'Observatoire Midi-Pyrénées, municipales et départementales), des échanges plus ou moins formels avec des employés de la Régie du Pic, la consultation d'ouvrages de référence, et la consultation de fonds iconographiques (en particulier le fonds Alix). De plus, l'expression de solidarité entre chercheurs en histoire des sciences et des techniques [5] aura également permis un accès à des extraits des procès-verbaux des séances du Bureau des Longitudes concernant l'Observatoire du Pic du Midi.

La production d'un propos passe par la construction de modélisations du site patrimonial. La visualisation, ou à minima la représentation de ces modélisations, vient en support au discours explicatif. Ces modélisations ont pris la forme de tableaux, de bases de données, de collection de photographies datées, de rédaction de notes synthétiques...

Analyse des activités

Je cherche ici à expliciter et détailler les activités réalisées pour construire la connaissance du site. Je porte ainsi l'espoir que par l'explicitation, nous soyons en capacité d'identifier des (les ?) étapes qui pourraient être assistées d'outillage informatique. Je m'y applique ici en utilisant le formalisme IDEF, robuste pour gérer les questions de granularité et la complexité des systèmes. Forcément réductrices du détail et de la spécificité, ces modélisations ne cherchent pas l'exhaustivité face à la multiplicité des situations, mais me serviront d'ancrage à la réflexion.

Partant d'un niveau général, voici le détail de l'agencement des actions. Cette chaine se résume dans un premier temps à deux actions, la constitution 1. d'un dossier de candidature du bien et 2. de sa présentation. Elles ne sont ni consécutives, ni articulées de façon uniques

4. À l'heure où j'écris ces lignes, nous sommes encore assez loin d'une présentation à l'UNESCO

5. Dans ce cas particulier, le projet de recherche ANR BDL 1795-1932

d'une fois à l'autre, aussi je les considère comme étant le niveau 0, c'est à dire le niveau le moins détaillé, de la chaine d'analyse (la figure 2.1 présente ce niveau 0). C'est à partir d'outils permettant de manipuler des informations [6], des différentes sources d'informations qui ont pu être identifiées, et orientés par des *intentions de candidature* que cette dernière se construit.

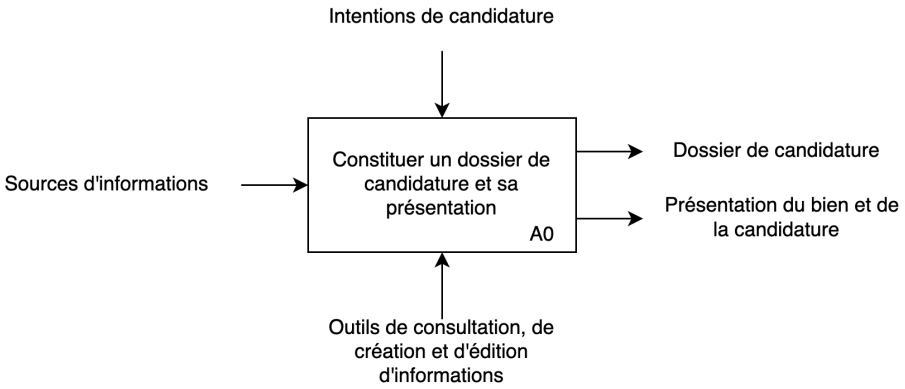


Figure 2.1 – Actigramme de la production d'une candidature patrimoniale, niveau A0.

Pour dire quelque chose du processus, il me faut poursuivre l'effort d'explicitation, limité par les spécificités du cas étudié. La figure 2.2 présente la première étape de cette explicitation. La représentation de l'activité reste cenpendant très générique. J'ai pour le moment retiré les outils de manipulation d'information de ce schéma afin de le garder le plus lisible possible. On peut tout de même y constater le caractère central de la/des modélisation(s) produite(s).

L'analyse spécifique de la constitution de la candidature de l'Observatoire du Pic du Midi se poursuit après la présentation du bien, dans ses attributs et ses valeurs patrimoniales.

6. Je ne spécifie pas pour le moment, mais nous y reviendrons dans le chapitre consacré à la documentation

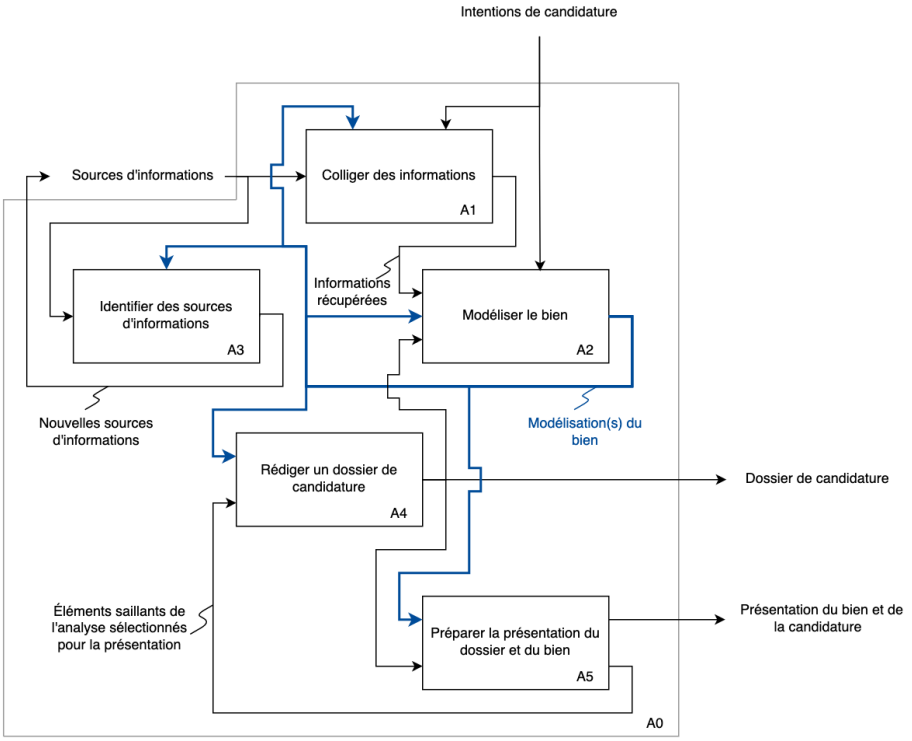


Figure 2.2 – Actigramme de la production d'une candidature patrimoniale, détail d'A0.

2.2 Un objet de patrimoine : l'Observatoire du Pic du Midi

Le digicode permettant l'accès à certains locaux de la Régie du Pic du Midi est facile à retenir pour les locaux, c'est 2877, soit l'altitude en mètres, au sommet de la montagne où est installé l'Observatoire du Pic du Midi. Hors de son occupation humaine, avant d'héberger une station scientifique, le Pic du Midi de Bigorre, appartient à la chaîne des Pyrénées françaises (pour une localisation précise, voir la figure 2.3). Si l'on accepte une approximation de quelques kilomètres, selon les référence choisies, le Pic du Midi de Bigorre se trouve au plein sud de Tarbes. Haut (près de 3000m de haut) et isolé en avant de la chaîne qui s'étend derrière lui au sud, ce sommet est à part, dans la géographie et dans le paysage pyrénéens, mais aussi dans les représentations collectives. Le Pic se voit de loin depuis la vallée, et réciproquement, depuis le sommet, le regard porte loin les jours de beau temps. Il arrive même que l'on aperçoive les reliefs du massif central, à près de quatre cent kilomètres au nord. Sur place, on sent qu'il relève de la frontière visuelle : au septentrion, une plaine ininterrompue s'étend à perte de vue, alors qu'au sud, montagne et rien d'autre que montagne. Par son altitude, il domine ses voisins directs, et l'on distingue nombre d'autres monts et massifs des Pyrénées : la Brèche de Roland, le massif de Vignemale, le Pic Long, l'Arbizon, etc. En ce lieu singulier des Pyrénées où l'on grimpe en sortant de la vallée de Campan fut implanté l'observatoire.

2.2.1 L'implantation actuelle

Le site constitue aujourd'hui un dédale de bâtiments, de couloirs et de passages à flanc de montagne ou souterrains, occupant la crête terrassée du sommet sur un peu plus de 140m de long. Quatre exploitants se partagent les installations, le Ministère de la Défense partage d'une part le *Bâtiment interministériel* avec TDF (anciennement Télédiffusion de France), qui exploite l'émetteur de plus de 100m [7] de haut qui le surplombe, émetteur de télévision numérique, de radio FM et de téléphonie mobile. La Régie du Pic du Midi et l'Observatoire Midi-Pyrénées se partagent le reste des installations. Ce *reste*, se compose du Téléscope Bernard Lyot, appelé TBL d'une part, isolé à l'ouest, et du corps principal des bâtiments qui ont bourgeonné sur la partie orientale du Pic, partielle-

7. selon les sources, 102 ou 103 mètres de haut

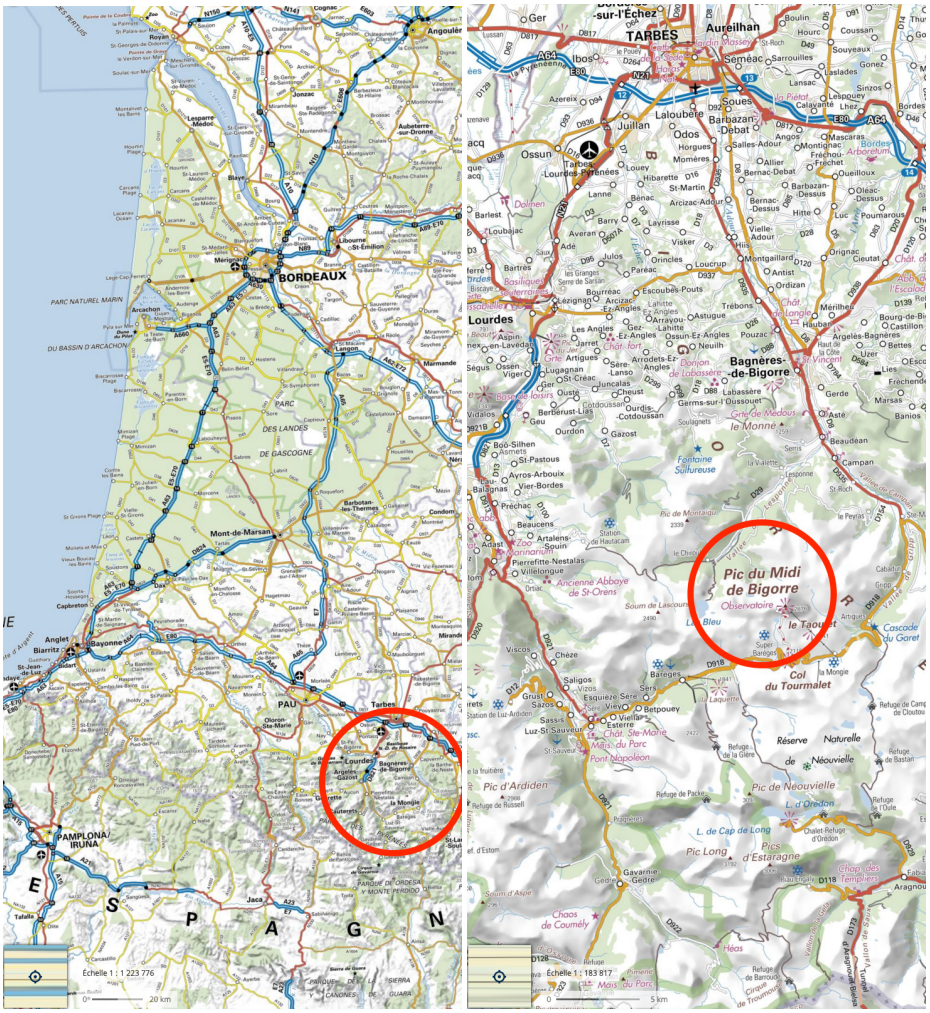


Figure 2.3 – Cartes localisant le Pic du Midi de Bigorre. | Fonds de carte : Géoportail

ment terrassée pour faciliter l'ancrage des bâtiments. Les photographie des figures 2.4 et 2.5 présentent en balayant de gauche à droite, le TBL, le bâtiment interministériel et son antenne, puis le corps de l'Observatoire. La vue satellite est orientée avec le nord vers le haut de l'image.

Les activités de recherche se concentrent pour l'essentiel dans la partie Est, qui comprend des laboratoires, des coupoles d'observation, des logements et des bureaux. Les lieux de fonctionnement quotidien

(réfectoire, transformateur électrique, groupes électrogènes de secours, chaudière, ateliers de mécanique, etc.) se situent tous dans la partie centrale. La partie occidentale du corps de l'Observatoire (c'est à dire hors TBL), et la terrasse principale accueillent touristes et visiteurs.

Figure 2.4 – L'Observatoire du Pic du Midi depuis sud.| CC BY-SA 3.0 - Serge Ottaviani - Wikimedia commons

Figure 2.5 – Vue satellite de l'Observatoire du Pic du Midi. | © 2016 - Géoportail

Un site en constante reconstruction

À cette altitude, les bâtiments sont soumis à des contraintes redoutables. En hiver, les forts gradients de température entre le jour et la nuit produisent des phases successives de gel-dégel qui dégradent violemment les bétons coulés si haut en montagne. L'eau indocile s'infiltre dans les bâtiments, la maintenance est permanente, les réparations fréquentes et les travaux d'amélioration sont aussi réguliers que les finances le permettent. Rien qu'entre 2017 et 2019, une extension du bâtiment Nansouty a été réalisée vers le nord, couvrant une partie du bâtiment et la terrasse jusqu'à l'aplomb de l'ubac, pour renforcer les installation antérieures. En 2020, un nouveau bâtiment scientifique verra également le jour. Dans la limite des finances, les maîtres d'ouvrage (dirait-on aujourd'hui) de l'Observatoire du Pic du Midi ont toujours cherché à l'agrandir, le bâtiment précédent venant accoler, recouvrir, renforcer l'implantation existante.

La science au Pic aujourd'hui

Les actuelles installations scientifiques couvrent trois thématiques scientifiques :

- L'astrophysique (activité nocturne)
- L'étude solaire
- Les observations atmosphérique

L'astrophysique Deux instruments permettent les activités d'astrophysique la nuit, le Télescope Bernard Lyot (TBL) et le Télescope 1 mètre (T1m). Le TBL est le plus grand télescope optique de France métropolitaine et, en date, le dernier instrument d'envergure installé à l'Observatoire du Pic du Midi. Il permet l'observation du magnétisme des étoiles, par l'utilisation du spectropolarimètre stellaire NARVAL [8]. Le T1m, quant à lui est équipé de capteurs CCD permettant les observations dans le visible des évolutions météorologiques de Jupiter et Saturne, de la surface de Mars et l'étude de comètes.

Le solaire L'activité solaire à l'Observatoire du Pic du midi s'appuie également sur deux instruments : CLIMSO et la lunette Jean Rösch. CLIMSO permet l'observation des phénomènes dynamiques dans l'atmosphère

8. Le NARVAL est l'instrument jumeau du spectropolarimètre ESPaDOnS

solaire (événements à la surface, couronne froide et chaude). La lunette Jean Rösch autorise deux types de mesures, l'étude des mouvements à la surface de l'astre, grâce à une caméra grand champ et l'étude magnétique par le recours à un spectropolarimètre (pour les couches supérieures du soleil). Ces mesures peuvent-être réalisées seules ou dans une étude sol-espace, synchronisées avec des satellites (pour la Lunette Jean Röch, la synchronisation est possible avec SOHO, TRACE et HINODE).

L'atmosphère Les observations atmosphériques remontent au XIX^{e} siècle et perdurent jusqu'aujourd'hui. Des mesures de thermométrie et de la concentration d'ozone dans l'atmosphère sont réalisées quotidiennement.

Le tourisme et l'Observatoire

La villégiature, puis le tourisme ont trouvé un terrain de choix au Pic du Midi de Bigorre. Aux beaux jours, l'observatoire est accessible à pied depuis la vallée de Campan. Depuis les années 50, pour faciliter l'accès au sommet, (et sécuriser la montée durant l'hiver), un téléphérique assure la liaison entre la Mongie et le Pic, qui se fait aujourd'hui en une quinzaine de minutes.

Au sommet, un musée retrace la succession des activités scientifiques. L'offre touristique est complétée par un restaurant pour les visiteurs de passage et un hôtel permettant de profiter du panorama de nuit, de la vue sur la vallée et de la vue sur la « Réserve de Ciel étoilé » [9].

L'association *T60* a qui le CNRS et l'Université de Toulouse ont confié le Télescope de 60cm organise également des séjours d'observation pour des groupes très restreints (4 personnes maximum) tout au long de l'année. Malheureusement en dehors de cette initiative associative, l'observation du ciel nocturne depuis le Pic du Midi est assez compliquée, le roulement du téléphérique uniquement de jour (pour que la visibilité soit suffisante) empêche l'accès au site de nuit sans réservation d'une chambre à l'hôtel du Pic du Midi.

9. En 2013, le Pic du Midi se voit attribuer le label *Réserve Internationale de Ciel Étoilé* (R.I.C.E). Une zone de protection a été déterminée et des actions pour réduire la pollution lumineuse des villes ont été mises en place

2.2.2 Construire un observatoire en haute-montagne

Le récit historique succinct qui va suivre se base sur les travaux de Michel Cotte pour MCC Heritage, sur les ouvrages d'Emmanuel Davoust [Dav00] et de Jean-Christophe Sanchez [San98]. Il retrace l'histoire des activités scientifiques et de la construction de l'Observatoire du Pic du Midi. Nous nous alignons ici sur la périodisation produite par Michel Cotte pour articuler les différents états de l'Observatoire.

1741 - 1882 : Des premières activités scientifiques à la construction d'un bâtiment sur la montagne

La première trace d'une activité scientifique au Pic date du XVIII^{e} siècle et porte un caractère funeste, lorsqu'en 1741, François de Plantade tente l'ascension du Pic du Midi en équipe[dRGD^{+}11], afin d'y reproduire des mesures barométriques. Âgé de 71 ans, il décède arrivé à l'altitude de 400 toises, le Pic en comptant environ 1500.

Au cours des années suivantes, quelques autres expéditions scientifiques mènent notamment Gaspard Monge et Jean D'Arcet au sommet. Par ces expéditions ponctuelles de la fin du XVIII^{e} siècle germe l'idée d'une station permanente au sommet. Il faut cependant attendre 1872 pour que démarrent les travaux d'une station météorologique au Col de Sencours, col le plus haut avant l'ascension du Pic du Midi. Au sommet du Pic, on installe également un abri en bois pour protéger des instruments de mesure météorologiques. Fort pratique mais très fragile et trop précaire, l'abri s'abime. On mesure le besoin pour un bâtiment en pierre, que l'on peut observer à la figure 2.6, dont la construction s'achève en 1881. L'implantation durable au sommet, commence ainsi par le bâtiment Nansouty, abri d'instruments, mais également de scientifiques, car dès 1881 sera réalisé le premier hivernage complet au sommet. Pour faciliter le déroulement des observations, en complément du bâtiment de vie, une plateforme, appelée *blockhaus* est maçonnée, à laquelle on adjoint un autre bâtiment accueillant le stockage de matériel et les écuries pour les ânes.

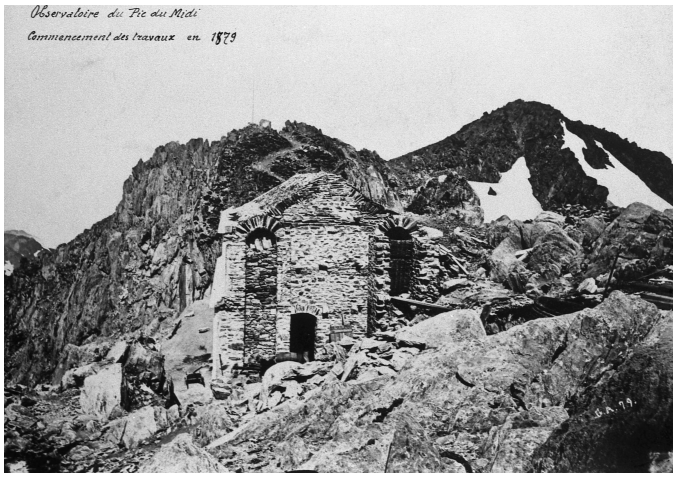


Figure 2.6 – Les travaux de construction du bâtiment Nansouty en 1879 | © Régie du Pic du Midi

1882 - 1909 : Développement de la pratique de science en altitude et apparition d'un bâtiment dédié à l'observation astronomique

En 1882, la Société Ramond lègue à l'État la station scientifique dont elle avait financé la construction. Naît Le projet d'un observatoire astronomique en haute montagne permanent, notamment après le passage d'Ernest Mouchez, directeur de l'Observatoire de Paris, membre de l'Académie des Sciences et du Bureau des Longitudes. L'élaboration du projet est menée dans cette dernière institution en 1891[10]. On s'y accorde à dire que « les images des étoiles sont excellentes » depuis le Pic, on s'interroge sur la meilleure place pour installer une coupole. Mouchez avance que ce serait « [...] au pavillon météorologique ; mais il est occupé. ». Hippolyte Fizeau « pense pour sa part que cette station est très bonne du point de vue météorologique ».

En haut du Pic, la situation s'améliore rapidement. Entre 1884 et 1887, les terrasses sont agrandies par les services de l'armée, et une partie à l'ouest du bâtiment Nansouty est aplanie entre 1888 et 1891. De même, l'équipement scientifique s'étoffe. Une expédition y est envoyée pour suivre le passage de Vénus en 1882, et dès l'année suivantes, on livre deux lunettes qui doivent y rester de façon permanente.

Durant l'été 1885, Benjamin Baillaud de l'Observatoire de Toulouse et Jules Janssen, à l'origine de l'activité d'étude solaire de l'Observatoire de Meudon montent au Pic. Par ce passage au Pic, durant lequel ils procèdent à des observation du soleil, se forge leur intérêt pour les observations d'altitude[11]. À leur montée, la station scientifique du Pic du Midi devait ressembler fortement à ce que l'on découvre dans la figure 2.7.

En 1893, une coupole hexagonale en bois est érigée pour accueillir la lunette de 8 pouces, on peut l'observer sur la photographie de la figure 2.8. On apporte au Pic un spectrohéliographe, qui permet des observations systématiques des tâches solaires jusqu'en 1914. L'installation d'un sidérostat est également ébauchée par Benjamin Baillaud et Emile Marchand[12] dès 1893, mais ne verra jamais le jour. Entre 1895 et 1898 on développe des activités de météorologie (mesures de concentration d'ozone - qui perdurent encore aujourd'hui, observation des nuages et mesures de l'électricité dans l'atmosphère). Ce programme scientifique

10. cf. comptes rendus des séances du 5 et du 12 Août 1891 (Je remercie d'ailleurs à ce propos Colette Le Lay pour avoir identifié et m'avoir transmis ces extraits)

11. Ce intérêt perdurera chez Janssen dans sa volonté d'installer un Observatoire en haut du Mont-Blanc, qui restera en place une quinzaine d'années à 4800m d'altitude à partir de 1888

12. nommé directeur de l'Observatoire du Pic du Midi en 1892

Figure 2.7 – Le site probablement autour de 1886. À gauche, le blockhaus ; à droite, le bâtiment Nansouty | © Régie du Pic du Midi

multi-disciplinaire est complété par des études géomagnétiques et des observations sismiques.

En 1900, la science pratiquée au Pic se diversifie encore davantage quand Joseph Bouget crée le jardin botanique du Pic du Midi, à flanc de montagne. La période correspond également au début de l'hégémonie de l'astronomie au Pic du Midi. En effet entre 1901 et 1904, Benjamin Baillaud et Émile Marchand, encore eux, font monter un télescope de 33cm, et deux lunettes (de 16 et 10,8cm, respectivement), qu'ils installent dans une coupole provisoire à l'ouest du bâtiment Nansouty pour profiter de la qualité du site astronomique. Cette construction préfigure la première coupole métallique, construite en 1907. On peut apercevoir la coupole malgré la neige sur la figure 2.9. Benjamin Baillaud, son fils René, Eugène Cosserat et Fernand Baldet y installeront un télescope de 50cm et une lunette associée de 23 cm. Ces instrument servent à la pratique de la photo astronomique pour documenter voie lactée et nébuleuses.

Figure 2.8 – Cérémonie d'installation des bustes sur la façade du bâtiment Nansouty, le 25 septembre 1898. | © Régie du Pic du Midi

Figure 2.9 – L'Observatoire du Pic du Midi sous la neige. | © Régie du Pic du Midi

1910 - 1936 : L'astronomie et la physique

L'astronomie change de nature entre les deux guerres, se tournant résolument vers la physique. Entre 1910 et 1914, l'installation d'un spectrographe par Jules Baillaud, cadet des enfants de Benjamin Baillaud, complète l'approche photographique du ciel d'une approche spectrographique.

La guerre, cependant, bouleverse le quotidien des institutions et de la vallée, les capacités financières des missions scientifiques en sont directement affectées mais les observations météorologiques sont maintenues, Joseph Rey, Sylvain Latreille et Paul Lugol se relaient pour accomplir les observations sans discontinuité.

Après la guerre, l'activité tend lentement à retrouver son niveau passé, mais la terrasse Nord s'effondre au cours de l'hiver 1922. Symbole de la précarité du site, cet effondrement déclenche des travaux de restauration et d'agrandissement des bâtiments dès l'année suivante.

Du point de vue scientifique, c'est le moment où le Pic devient un observatoire de physique du globe. Camille Dauzère en fait un lieu important de la géophysique et de la physique de l'atmosphère. En 1921, Jules Baillaud reprend le programme de spectroscopie stellaire commencé avant guerre. Camille Dauzère déclenche les travaux d'agrandissement du bâtiment de stockage pour y installer son laboratoire de physique du globe [13]. Ce chantier important durera 9 ans entre 1927 et 1936. En parallèle, à la fin des années 1920, Bernard Lyot met au point le premier coronographe du monde, il sera opérationnel en 1930-1931. Un coronographe permet de réaliser des photographies et, dans un second temps de opérations de photométrie de la couronne solaire. D'autres activités d'astronomie photographique sont également poursuivies pour documenter certains amas stellaires et la surface des planètes.

En 1935, Bernard Lyot, Henri Camichel et Max Wladmeier installent durablement le coronographe, autorisant l'observation de la couronne solaire en continu et en exclusivité mondiale jusqu'en 1939.

13. Le bâtiment a depuis, été renommé par le nom de son fondateur

1936 - 1952 : L'âge d'or

Nous trouvons l'Observatoire du Pic du Midi en 1936 dans un état particulier. On y distingue deux pôles importants, l'étude de la physique du globe et de l'atmosphère d'une part et l'étude astronomique et astrospectrale d'autre part. Les explorations de la physique de l'atmosphère mènent entre 1937 et 1939 aux premières expériences sur les rayons cosmiques, par Pierre Auger, Max Cosyns, Philippe Pluvinage et Robert Robley. En 1942, le télescope de 50cm anciennement installé par Benjamin Baillaud est modifié pour en faire un réfracto-réflecteur de Schaer. On le dote ainsi d'une lentille et des miroirs du grand télescope coudé de Paris. Malgré des déconvenues sur la qualité optique des premières installations et sur des nombreux problèmes logistiques dûs à l'occupation allemande en France, le télescope Baillaud - comme il s'appelle désormais - opère au Pic pour des observations en décembre 1943.

L'année 1945 voit la concrétisation d'une volonté forte et ancienne de faciliter l'accès logistique au Pic par un câble transporteur, qui préfigure l'arrivée d'un téléphérique. En 1949 on construit un plan incliné depuis le lieu dit « les Laquets », pour transporter un électro-aimant au sommet. La même année, une ligne électrique à 10KV alimente les bâtiments.

Ces améliorations permettent à Jean Rösch, directeur de l'Observatoire depuis 1947, d'améliorer beaucoup les capacités d'étude des rayons cosmiques de l'Observatoire, où se relaient des équipes de l'École Normale Supérieure avec Jean Daudin, de l'Université de Manchester avec Patrick Blackett [14] et de l'École Polytechnique avec Louis Leprince-Ringuet. Ces deux dernières équipes étudient la matière nucléaire grâce aux particules cosmiques. La continuité de leurs travaux se retrouve dans les accélérateurs de particules du CERN, où elles poursuivront leur programmes de recherche dès le milieu des années 50.

Le début des années 50 est une période d'intense activité au Pic, les équipes et les améliorations des conditions matérielles se succèdent. En 1950, le premier téléphérique entre en construction, il sera mis en service en 1952. Les travaux d'agrandissement du bâtiment Nansouty de 1937 sont visibles dans la figure 2.10 [15], la figure 2.11 montre la construction de la gare de téléphérique lors de l'été 1950.

14. prix Nobel de physique en 1948

15. On y voit qu'un des buste a été déplacé pour conserver le centrage des bustes par rapport à la largeur du bâtiment.

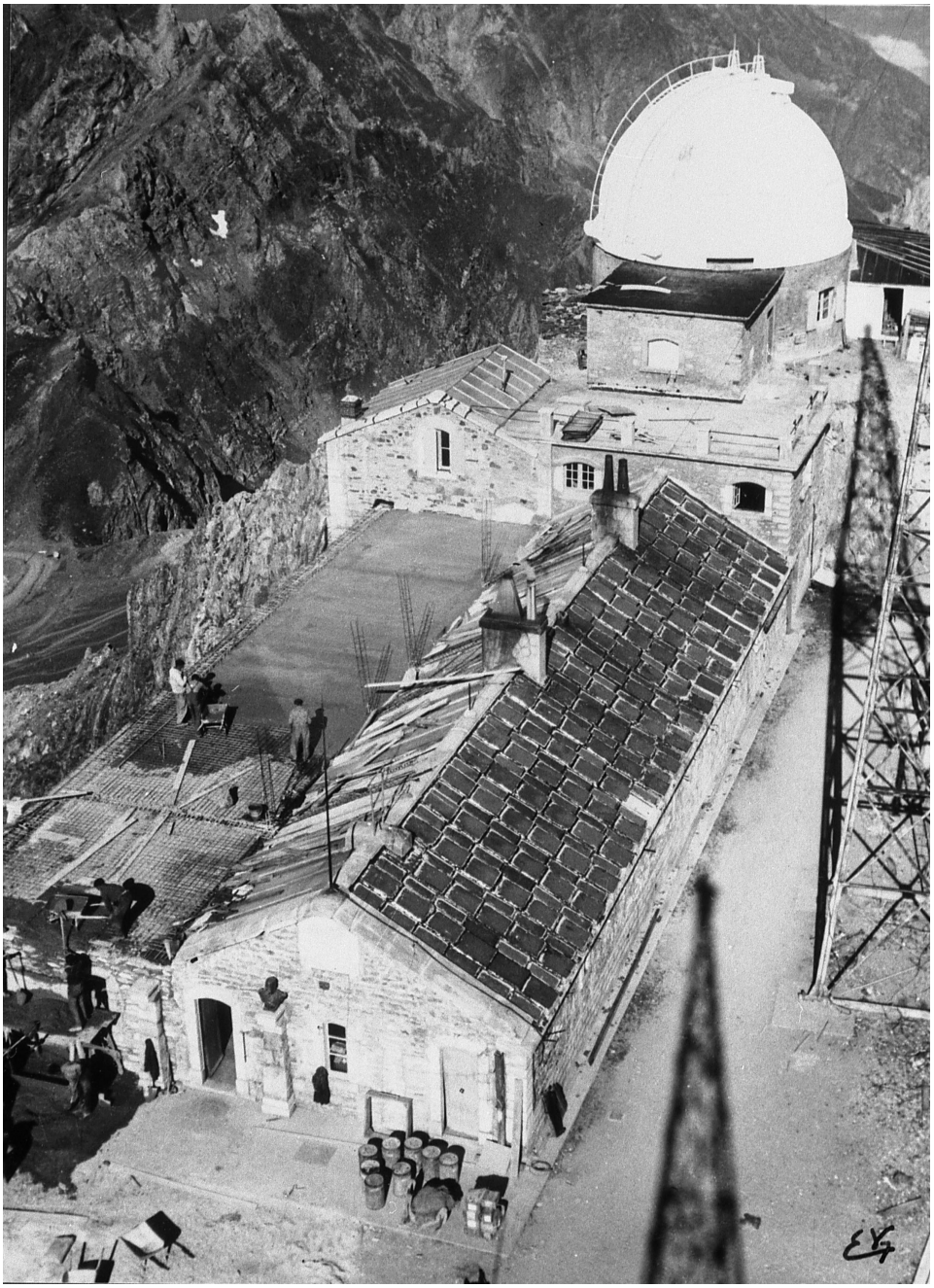


Figure 2.10 – Travaux d'agrandissement du bâtiment Nansouty, 1937.| © Régie du Pic du Midi

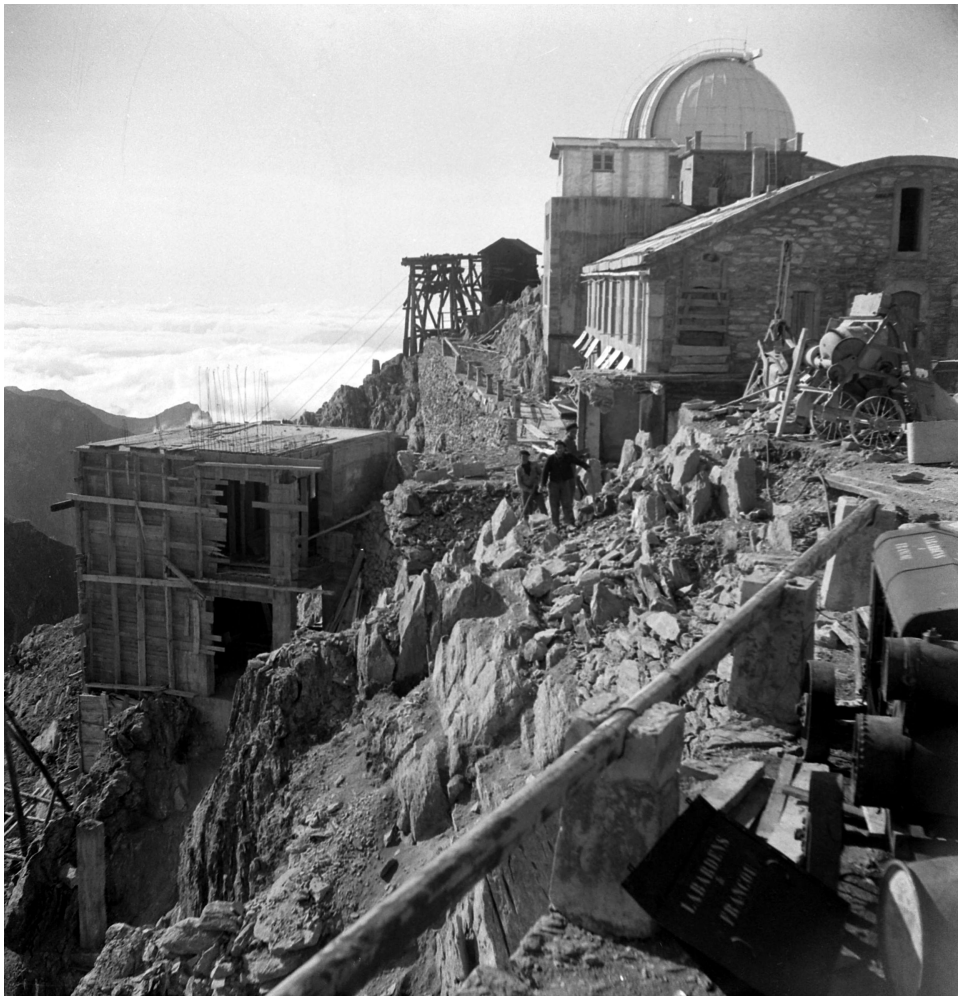


Figure 2.11 – Construction de la gare de téléphérique, été 1950. | © Régie du Pic du Midi

1953 - 1980 : Le centre de gravité des observations se déplace

Pour qu'il y ait « âge d'or », il faut en voir la fin. Bien que les années 50 témoignent encore d'une certaine vitalité, un certain déclin a déjà commencé. Le développement du site se poursuit cependant avec l'installation d'ateliers et des services techniques sous la grande terrasse entre 1952 et 1953, le Laboratoire Marchand est construit en 1956, puis le Bâtiment Labardens terminé en 1957. Entre 1959 et 1961 on crée un nouveau laboratoire de biologie alpine.

En parallèle des activités scientifiques, la facilité d'accès par le téléphérique entraîne la création d'un bâtiment interministériel et d'une tour de télédiffusion, qui changent radicalement le profil du site. La figure 2.12 laisse deviner, tout à fait à droite, les travaux du chantier du bâtiment interministériel. Sur la gauche, on peut également constater les agrandissements et renforcements des terrasses et bâtiments.

Lentement mais inexorablement, le dynamisme insufflé dans les années 40 s'essouffle. D'une part, la création du CERN, aux installations spécialement dédiées à l'étude de la matière, éloigne certaines équipes, et d'autre part les constructions successives, au début des années 60, des grands télescopes des plateaux de haute-montagne au Chili et à Hawaï enfoncent le clou, terminant d'éloigner les observateurs astronomiques. Durant les années 60 à 80, l'observatoire vit une période d'activité sporadique.

Dès 1964, on met à l'étude la possibilité d'un grand télescope, pour réduire l'écart avec les observatoires des hauts plateaux de l'hémisphère Sud. Le Télescope Bernard Lyot (TBL) est construit entre 1970 et 1972 et mis en service en 1980. La construction du TBL s'accompagne d'une autre phase de construction et d'agrandissements du site : déplacement de la gare et rénovation du téléphérique, agrandissement des bâtiments d'accueil des chercheurs, etc. On peut voir la construction de la coupole du Télescope Bernard Lyot sur la figure 2.13.

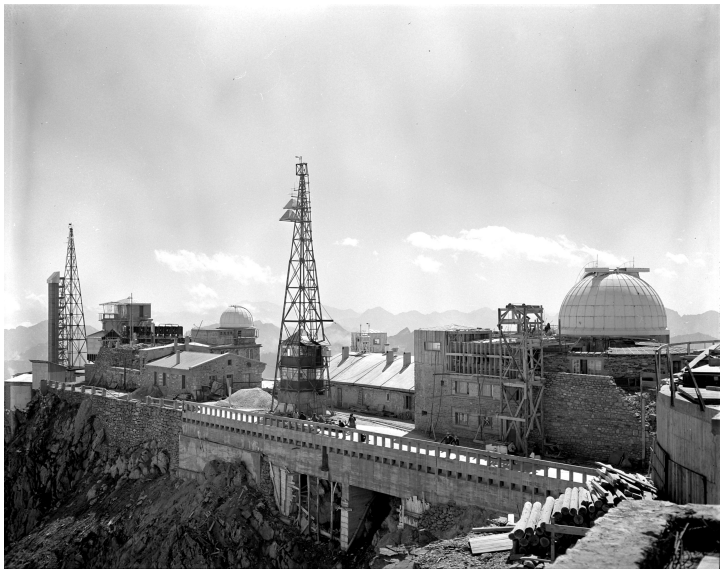


Figure 2.12 – L'Observatoire durant les travaux du bâtiment interministériel, 9 septembre 1962 | © Régie du Pic du Midi

Figure 2.13 – Construction de la coupole du Télescope Bernard Lyot (probablement en 1971). | © Régie du Pic du Midi

1980 - aujourd'hui : Le TBL et le tourisme

Les travaux du TBL sont les derniers grands travaux scientifiques jusqu'aujourd'hui. La figure 2.14 montre la silhouette, globalement stable que tient l'Observatoire du Pic du Midi depuis les années 70. Manquant de fermer à la fin des années 1990, le site a changé de gouvernance pour faire cohabiter plus facilement les activités scientifiques perdurant au sommet avec l'accueil grandissant de touristes. Ce changement apporta d'autres travaux, rénovations et aménagements, comme la création d'un espace d'accueil dédié au tourisme, d'un musée dans l'ancien bâtiment entourant la coupole Toulouse, elle-même devenue planétarium [16]. Un restaurant a également été ajouté au sein du bâtiment Nansouty, initialement à l'étage de la terrasse principale, puis déménagé entre 2018 et 2019, il occupe aujourd'hui une terrasse orientée vers le Sud, aux environs de l'implantation de la première gare de téléphérique.

Figure 2.14 – L'Observatoire du Pic du Midi (probablement autour de 1975). | © Régie du Pic du Midi

16. en 2019, le musée accueillant les touristes a subi d'autres modifications, il se peut que la description que nous dressons soit déjà dépassée

L'activité scientifique perdure cependant, bien que l'Observatoire ne soit plus aussi attractif qu'au moment de l'immédiate après-guerre. Rattaché à l'Université de Toulouse Paul Sabatier, il est un des sites de l'Observatoire Midi-Pyrénées.

La vie de l'observatoire évolue depuis son origine au gré des volontés et opportunités scientifiques et politiques. Il semble que l'Observatoire fait naître tôt et perdurer longtemps un intérêt chez ses visiteurs de passage. La candidature à l'inscription sur la Liste du Patrimoine Mondial représente une ambition et un enjeu de taille pour ce site scientifique. Comment présenter au mieux la valeur patrimoniale de l'Observatoire du Pic du Midi en visant la reconnaissance de l'universel et l'exceptionnel ? Nous présentons une réponse à cette question dans la prochaine partie de ce chapitre.

2.2.3 Valeur patrimoniale de l'observatoire

On prête et on mesure une influence directe de l'inscription sur la liste du patrimoine mondial [Buc04], en particulier sur la quantité de visiteurs et sur le niveau de dépense de ces visiteurs. Pour l'écrire sans détour, un site patrimoine mondial est plus visité et ses visiteurs dépenseront davantage que tout autre type de patrimoine [17]. Cependant, et nous le verrons plus en détail dans le chapitre consacré au patrimoine, la valeur des biens patrimoniaux n'est pas en premier lieu la valeur financière qu'elle permet de dégager ou qu'il faut lui consacrer. Pour intégrer la Liste du Patrimoine Mondial, il est nécessaire de faire la démonstration de la valeur patrimoniale **universelle exceptionnelle** du site[Jok06].

Je cherche ici à relayer l'analyse et le modèle produit pour le Pic du Midi dans le cadre de la mission de conseil de MCC Heritage. Les éléments que je présente, je les dois aux différents échanges et travaux menés. Il me semble important de préciser ici que je formalise un interprétation de ces discussions et de ces travaux, et ce faisant, n'engage que moi.

MCC Heritage avance plusieurs éléments, témoins de la valeur patrimoniale du site, constitutifs de son récit explicatif. La discussion, qui mène à la décision, patrimoniale commence par ce récit. Aussi, il comporte une très grande dimension stratégique. On ajuste l'angle d'explication au gré de la constitution du dossier de candidature, en comprenant progressivement quels aspects du bien sont solides et quels autres paraissent moins robustes à la critique. Ce récit, ultimement, relève de la responsabilité de la Régie. MCC Heritage conseille, mais n'est pas le porteur final du dossier.

Sont rassemblés dans la suite, sans ordre d'importance et sans articulation particulière, les quelques éléments dont j'ai connaissance et qui témoignent de la valeur patrimoniale de l'observatoire de haute-montagne.

Une volonté ancienne et permanente Depuis la fin du XIX^{e} siècle, l'activité scientifique incarne l'affirmation d'une volonté. Les difficultés extrêmes d'accès à une telle altitude, d'approvisionnement et de maintenance du matériel, combinées aux conditions climatiques

17. Il est cependant difficile de distinguer nettement l'effet du *label* de l'effet des contraintes de son obtention. Le processus de constitution d'un dossier de candidature pour la Liste du Patrimoine Mondial impose de faire montre de sa capacité à accueillir un nombre de visiteur important. Dans quelle limite les investissements dans des infrastructures pour faciliter l'accueil des visiteurs ne tient pas de la prophétie autoréalisatrice ? Cette question sort du spectre de mon travail, mais nuance un peu le rapport de correlation-causation que je relaye ici.

démontrent cette volonté. L'exploit initial de la construction d'un premier bâtiment en entraîne un second, celui de la présence humaine ininterrompue au sommet depuis 1881. Dompter la pierre pour stabiliser des terrasses qui facilitent l'installation des instruments et les activités des scientifiques sur le site, la chose est habituelle au Pic du Midi depuis près de 150 ans, de façon continue. La Société Ramond, le Bureau des Longitudes, l'Université de Toulouse, le CNRS, et la Régie du Pic du Midi partagent cette même volonté d'établir, de consolider et d'étendre la pratique de la science en haute montagne, comme un dépassement de l'horizon du laboratoire et de l'observatoire. Empreintes des esprit du XIX^{e} et du début du XX^{e} siècle, celui de la conquête scientifique, de la science aux frontières de notre monde, parfois teintées de compétition scientifique nationale, ces volontés révèlent le goût du dépassement, des scientifiques mais également de toute la société qui les englobe.

Implication locale, attractivité internationale J'évoque en fin du point précédent les métiers périphériques à ceux de la science. Et il y en a beaucoup dans le cas du Pic du Midi. Ce sont des porteurs, qui transportent le matériel et la nourriture en été comme en hiver jusqu'au sommet, des maçons, charpentiers, architectes qui construisent bâtiments, coupoles et terrasses ; des techniciens, mécaniciens, thermiciens, électriciens, qui assurent la maintenance des installations ; des boulangers, cuisiniers, serveurs, qui permettent le ravitaillement ; ... La liste est longue de ces habitants des vallées environnantes indispensables aux activités du sommet. Moins directement impliqués dans les réalisations scientifiques, on pourrait les voir comme des employés dont la motivation tient en un salaire perçu. Ce serait omettre la difficulté de l'ascension en hiver, renouvelée malgré les disparus. Ce serait oublier les conditions à près de 3000 mètres de haut, lorsque alors que l'oxygène s'amenuise et qu'il faut piocher ou transporter des sacs de ciment. Ce serait ignorer l'isolement lors des hivernages, l'éloignement des proches. Ces difficultés sont certes aujourd'hui fortement réduites par la mécanisation (téléphérique et machines de construction), mais l'implication locale reste visible et forte, ne serait-ce que par la constitution de la Régie du Pic du Midi, en gestionnaire de la montagne-phare de la vallée. L'exceptionnel de l'aventure se traduit également par une attractivité nationale et internationale : les scientifiques, les politiciens et simplement les touristes de différents horizons y séjournent, le visitent. Nous en avons la trace

depuis le XVIII^{e} siècle.

Des résultats et des perspectives de première importance Le site motive et attire, depuis longtemps, mais il est aussi le théâtre d'activités scientifiques de premier plan. L'étude de la couronne solaire, ainsi que l'astrophysique s'y sont développées. Par une lecture plus indirecte, il apparaît que l'étude des particules élémentaires constitue une pierre angulaire de la valeur patrimoniale du Pic : le Pic du Midi fut le terrain d'expérimentations dont les retombées sont incommensurables pour la science internationale (création du CERN et de l'Union Astronomique Internationale, de l'UNESCO). Bien sûr, il n'y a pas ni bijection ni confusion entre le Pic du Midi et ces institutions, mais Auger, Baillaud, Leprince-Ringuet, qui en furent des bâtisseurs importants, ont tous travaillé en surplomb de l'Adour de Gripp et de l'Adour de Lesponne, à l'Observatoire du Pic du Midi.

Un site naturel de grande qualité Un dernier élément, que j'aurais peut-être pu mettre en premier ordre de cette liste tient dans le site lui même. Ses qualités pour l'observation astronomiques sont vantées depuis plus de 150 ans, appuyées encore récemment par la création d'une réserve de ciel étoilé. La position géographique du Pic, la diversité biologique du site et des massifs environnants, les paysages auxquels donnent accès les différents panoramas en font un site de patrimoine naturel précieux. Complété par les installations scientifiques, antennes et coupoles, bâtiments et instruments, visibles depuis le sommet, mais également depuis la vallée, et même depuis Tarbes dans la plaine, le paysage culturel complexe et témoin des étapes de sa construction s'offre au regard.

Entre le moment où j'écris ces lignes, la publication de la thèse, et la candidature de l'observatoire, la modélisation de l'observatoire se sera encore affinée. Ce rapport d'analyse ne vaut ni l'analyse, ni le récit qui accompagnera la candidature, ni dans son exhaustivité thématiques ou ni dans leur explicitation. L'exercice de la candidature pour le patrimoine mondial comprend la production d'une analyse comparative. Il faut alors penser l'importance patrimoniale du Pic en tant que station scientifique de haute-montagne. L'Observatoire du Pic du Midi n'est pas seul dans ce cas, rejoint par d'autres sites, notamment d'astronomie. Les stations/observatoires de Lick et Palomar aux États-Unis, par exemple, ont été construits de façon globalement contemporaine du Pic ; on peut également penser aux observatoires installés à des altitudes comparables à celle du Pic, comme les plateformes du Chili de d'Hawaï. Cette approche nécessite de construire la valeur patrimoniale de la série, nous

n'en sommes pas encore là.

2.3 Analyse du processus d'étude

L'observatoire mieux décrit, retournons à l'analyse du processus. De notre figure 2.2, bien que toutes les activités méritent une plus grand explicitation, à mes yeux les deux« boîtes noires » les plus intéressantes sont : A1 : Colliger les informations et, surtout, A2 : Modéliser le bien.

Éloigné physiquement du quotidien du travail de MCC Heritage, je ne pouvais pas documenter le processus de travail au fil de l'eau, mais les échanges nombreux avec Michel Cotte sur son travail ont généré la modélisation qui suit, et qui relève de la rétro-ingénierie du processus de modélisation.

2.3.1 Récupérer des informations de différentes sources

À mes yeux, il est difficile de désigner de façon univoque un point de départ à ce processus. A1 : Colliger les informations, A2 : Modéliser le bien et A3 : Identifier les sources d'informations forment des boucles itératives courtes et nombreuses qui réajustent sans cesse la matière première à la conceptualisation du bien. Pour ordonner les choses considérons que les premières boucles informelles de ces trois étapes sont préliminaires aux activités d'étude patrimoniale. C'est à dire que l'on suppose que le cabinet de conseil commence son approche avec d'une part des sources d'informations pré-identifiées. D'autre part, j'assimile la compréhension du site, c'est à dire sa modélisation conceptuelle initiale, ainsi que le contexte (temporel, matériel, etc.) de l'étude patrimoniale à ce que j'appelle les *intentions de candidature*.

Dans ce cas particulier, les sources d'informations ont été de trois types : des personnes, des objets (bâtiments, instruments scientifiques, ...), et enfin la documentation (au sens large incluant les documents et les différents systèmes de gestion de la documentation). Je sépare ici la documentation du reste des objets matériels, mais nous discuterons cette ségrégation dans le chapitre consacré à la documentation.

Je ne connais pas le détail des sources d'informations du cabinet conseil. Mais, par exemple, les interlocuteurs des structures dont dépend l'Observatoire du Pic du Midi, soit la Régie, et l'Observatoire Midi-Pyrénées, me paraissent constituer une partie des personnes directement identifiées. Il en va de même pour les objets actuellement sur le site de l'observatoire, qui sont un point de départ évident pour comprendre et présenter le site. Enfin, pour la documentation, peut-être le cabinet de conseil de par son activité passée avait une connaissance aiguisée des

ouvrages de référence sur l'activité en haute montagne, sur l'astronomie, ou sur la science aux XIX^{e} et XX^{e}siècles. Sans présager de rien, rompu à la recherche documentaire, il partait avec des sources documentaires usuelles (des moteurs de recherche sur internet en général, sur des sites en particulier (Gallica, la bibliothèque de l'Observatoire de Paris,...), des ouvrages de référence sur la patrimoine scientifique, etc.).

La figure 2.15 détaille très succinctement les étapes de traitement des sources d'informations, hiérarchiser selon une ou plusieurs contraintes inhérentes à l'étude (l'importance de la source, ou contrainte temporelle, d'accès, etc.), consulter les sources d'informations et récupérer des informations. On pourrait décliner ce diagramme selon le type de source, afin d'expliciter encore le processus. L'activité A1.3 : Récupérer lesinformations recouvre cette fois à nouveau un gradient de réalités que nous aimerions pouvoir expliciter afin d'en permettre l'étude précise, mais là encore cette récupération s'inscrit dans l'évolution itérative du processus global. Je veux dire par là que le type d'informations, leur granularité, et la forme de la récupération vont évoluer de façon organique avec l'évolution de la compréhension du bien, avec l'accumulation et la hiérarchie des sources d'informations :

- Les informations récupérées seront différentes selon qu'elles proviennent d'un type de source ou d'un autre (e.g. le plan de la façade d'un bâtiment pourrait livrer les dimensions et la position de la porte principale, alors que l'entretien avec un habitué du bâtiment pourrait livrer son impression de la taille de la porte dans le bâtiment et dans l'absolu (une large porte, une porte trop basse, ...).
- On récupèrera des informations différentes selon la modélisation que l'on fait du bien (e.g. Si l'on considère l'Observatoire du Pic du Midi comme un observatoire astronomique strictement ou comme une station scientifique, on omettra peut-être de récupérer l'existence du jardin botanique d'altitude)

À ce stade, le détail du processus apparait timidement, tout reste encore très générique. La grande diversité des sources d'informations et des types d'information démultiplie le nombre les schémas nécessaires à couvrir tous les cas. comme pour la figure 2.2, dans la figure 2.15, nous avons omis de spécifier les outils de manipulation (consultation, création, édition) d'information. Depuis des outils extérieurs simples, comme le couple crayon/carnet jusqu'au système de gestion de base de données en passant par l'enregistreur audio à cassette magnétique (l'apparition de certaines informations n'a peut-être jamais été incarné dans un document particulier, simplement retenue à l'issue d'un entretien).

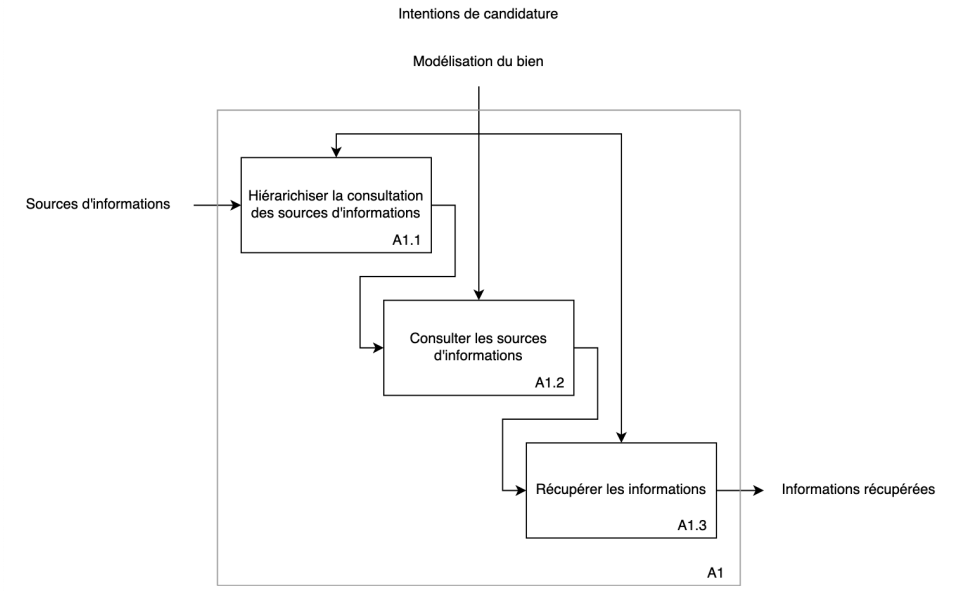


Figure 2.15 – Actigramme de la récupération d'information

Avançons à l'étape suivante du processus, essayons d'expliciter un peu plus en quoi consiste la modélisation.

2.3.2 Modéliser l'Observatoire du Pic du Midi

Modéliser est entendu dans le diagramme 2.2 de façon globale. Modéliser, c'est à dire spécifier formellement la compréhension que l'on a du site. La modélisation générale se compose de plusieurs sous-modélisation, correspondant à une facette et bien souvent également un formalisme spécifique de l'étude. Par exemple, dans notre cas nous pouvons mettre en avant 2 modélisations complémentaires :

- Une chronologie, mettant en relation principalement les personnes, institutions, évènements, lieux et dates. Dans l'absolu, cette modélisation se compose à son tour, elle aussi, de plusieurs sous-modélisations :
  - Un découpage chronologique, qui articule des phases temporelles cohérentes grâce à des dates pivot.
  - Un angle d'étude, une forme de compréhension du site. Les

intentions de candidature (initiales et modifiées avec les modélisations produites) engendrent l'angle d'étude. Dans notre cas, c'est une recherche de compréhension historique du site avec un forte influence de l'histoire des sciences.

Ces deux sous-modélisations interagissent nécessairement, mais on aurait pu en penser d'autres. On aurait pu, par exemple, bâtir un découpage spatial, à l'échelle du site, qui vient articuler l'angle d'étude.

— Une série de composantes de la valeur patrimoniale, parfois développées, auxquelles on a parfois rattaché des marqueurs qui les expriment directement ou les représentent.

La rédaction et l'intégration de ces deux modélisations m'apparait facile, cependant, les intégrer dans une présentation du bien et de la candidature voilà une autre paire de manches. MCC Heritage ayant produit l'étude du site sans outillage informatique particulier a priori autres que des outils de bureautique permettant la rédaction et l'agrégation manuelle d'informations dans un tableau, nous n'avons pas pu tester l'intérêt de modifier la pratique de la modélisation par le recours à des outils logiciels ou matériels nouveaux. Cependant, Michel Cotte identifia et manifesta un besoin clair : le recours à la visualisation 3D pour présenter le bien candidat. Ayant déjà travaillé sur le sujet de l'imagerie 3D avec Jean-Louis Kerouanton et Florent Laroche lorsqu'il encadrait la thèse de ce dernier[LCKB07], il cherchait à obtenir une visualisation qu'il appelle « 3D + t ». C'est à dire qu'il cherchait à pouvoir présenter un modèle 3D de l'observatoire du Pic du Midi, schématisant l'évolution du site. Il souhaitait de plus pouvoir interagir avec la maquette pour qu'elle s'ajuste à son discours explicatif.

2.3.3 Synthèse de la démarche

L'étude de l'Observatoire du Pic du Midi articule trois moments, alternés et itérés. La **récolte d'informations** permet la **production de modélisations**, qui seront formalisées durant la phase de **production de documents**, consultés par les différents acteurs de l'activité d'évaluation patrimoniale.

La récolte d'information se fait *à partir de* et *vers* différents supports d'information. D'un point de vue méthodologique, dans la plupart des cas, on lie les informations sélectionnées à leur source afin de pouvoir vérifier ou préciser l'information postérieurement.

Les modélisations produites apparaissent dans leurs dernières formes, le dossier de candidature et la présentation. Les formes précédentes, les document de travail, les étapes de leur construction ne sont pas accessibles.

Dans l'évaluation patrimoniale du patrimoine mondial de l'UNESCO, la documentation joue un rôle prépondérant vers la décision [18]. La présentation relaie les points saillants du discours explicatif et argumenté porté par la documentation.

Le travail nécessaire à la candidature dépasse l'étude stricte, il faut en,suite exposer l'étude et les résultats de l'analyse. Dans la présentation, on cherche à donner accès, à montrer, à faire entendre les différentes modélisations produites par l'étude.

Le prochain paragraphe est justement consacré à l'expérimentation qui a été menée dans la direction de la production de supports visuels interactifs permettant d'accéder à la modélisation de l'évolution des bâtiments de l'Observatoire du Pic du Midi.

18. Et même après la décision, puisque l'historique documentaire est conservé par l'UNESCO et disponible pour tous les biens inscrits sur la Liste du Patrimoine Mondial.

2.4 Un premier essai d'outil de soutien à la présentation

Le besoin le plus clairement formalisé dans l'étude de l'Observatoire du Pic du midi tient dans le concept de « 3D + t », cher à Michel Cotte. Dans la suite de cette section, nous présentons des travaux réalisés en collaboration avec différents collègues. Matthieu Quantin, Florent Laroche (pour les phases de photographie), et particulièrement Paul-Loup Gobinet, qui a fait un stage de son cursus d'études sous mon encadrement durant l'été 2017 (pour la production de l'exécutable). Je tiens ici à les remercier pour leurs concours.

Sous les recommandations de Florent Laroche[19], nous nous avons choisi de produire un exécutable *Unity*, c'est à dire un programme autonome qui continent d'une part les données, mais également d'autre par les outils de visualisation et d'interaction nécessaires. *Unity*, moteur de rendu tri-dimensionnel, permet la construction d'un environnement 3D adjoint de règles. On peut y importer des modèles 3D (permettant l'affichage de formes, de textures...), y créer des formes simples et attribuer des règles de comportement aux différents objets en fonction d'actions (déplacement de la souris, 'clic' sur un bouton, ...). À la base d'un très grand nombre de jeux vidéos actuels, les moteurs de rendus réalisent les principales fonctions que nous avons en tête à ce moment de notre travail : visualiser et interagir avec des formes tridimensionnelles.

2.4.1 Gérer l'évolution de la forme des bâtiments

L'exécutable *Unity* permet avant tout d'afficher des modèles 3D d'objets. Nous nous sommes donc efforcés de produire une représentation 3D de l'observatoire. Pour récupérer l'information de la forme des bâtiments, nous avions un certain nombre d'options. Les forts courants aériens qui circulent autour du Pic nous ont poussé à éliminer assez tôt la photographie du site par le recours à un drone. La Régie du Pic du Midi nous a cependant généreusement transmis un une vidéo d'un tour du Pic en hélicoptère. Les images, capturées en hiver, montraient le site en grande partie recouvert de neige et ne permettaient pas d'accéder à l'information précise des formes des bâtiments. On pouvait cependant tout de même voir clairement la forme générale de la montagne lors de l'hiver 2016 et la position relative des bâtiments sur celle-ci.

19. F. Laroche et J.L. Kerouanton ont déjà fait des essais similaires en ayant recours à *Unity* dans leur étude des salons Mauduit à Nantes, par exemple [LK16]

Nous avions encore besoin d'une autre source d'information pour compléter la géométrie des bâtiments. Des photographies d'un modèle réduit du site, exposé dans le musée de l'observatoire nous permirent de compléter la forme des bâtiments rapidement. La véracité ou la précision du modèle réduit pourrait se discuter dans l'absolu. La précision de la modélisation photogrammétrique que nous avons produite sera cependant suffisamment faible éliminer cette question de véracité.

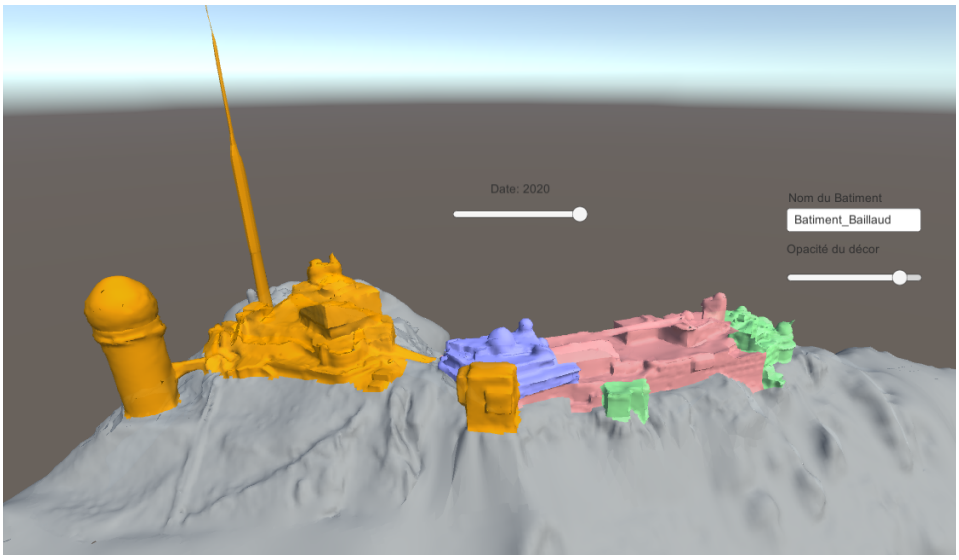


Figure 2.16 – Modèle 3D global de l'état du site .| © 2017 P.-L. Gobinet, L. Jeanson

La figure 2.16 montre la modélisation 3D du site dans son entièreté, produite par la combinaison des photographies du tour d'hélicoptère et par la photogrammétrie du modèle réduit.

Le problème de l'évolution du site, que nous avons à régler apparait aussitôt : le modèle réduit présente le site dans un certain état, antérieur à celui du tour d'hélicoptère. L'observatoire, en perpétuel changement, se laisse mal représenter. D'une année sur l'autre, les photographies ne correspondent plus à l'état constaté du site, notre modélisation 3D représente forcément des objets passés, et pire encore, avec un niveau de précision très relatif! Justement, la recherche de précision semble un enjeu secondaire, il nous fallait d'abord permettre la représentation, c'est à dire la visualisation d'une forme, la capacité à en définir des limites (même approximatives), à désigner des entités,... C'est pourquoi nous

considérons, en première approximation, pour les besoins d'un récit patrimonial global, que la modélisation hybride visible dans la figure 2.16 correspond à l'état actuel de l'observatoire.

Pour les états antérieurs, nous avons procédé par déconstructions successives, partant de la modélisation complète de l'état actuel. À partir des photographies, nous avons ainsi altéré la modélisation pour reproduire les états passés. Au total, guidés par le découpage temporel de l'étude patrimoniale, nous avons ainsi produit 5 fichiers, un pour chaque état de référence successifs du site dans la modélisation chronologique. La figure 2.17 met en regard les modélisations et les photographies du bâtiment Baillaud lors de 2 états. Lors de la programmation des règles de l'exécutable *Unity*, Paul-Loup Gobinet a crée un curseur glissant le long d'un axe permettant de choisir la date correspondant à la représentation du site (ou inversement pour permettre l'affichage de la modélisation correspondant à la date choisie).

Nous obtenons ainsi une représentation discrétisée des différents états. Les formes sont imprécises, mais l'intention n'est pas de *reproduire avec un grand degré d'exactitude* l'évolution du site, mais bien de la *représenter*. Lors des moments de présentation, cette forme de visualisation interactive permet d'accompagner le récit de façon visuelle. Lors des échanges qui mènent à la décision, elle permet d'avoir un support commun pour désigner les objets précisément.

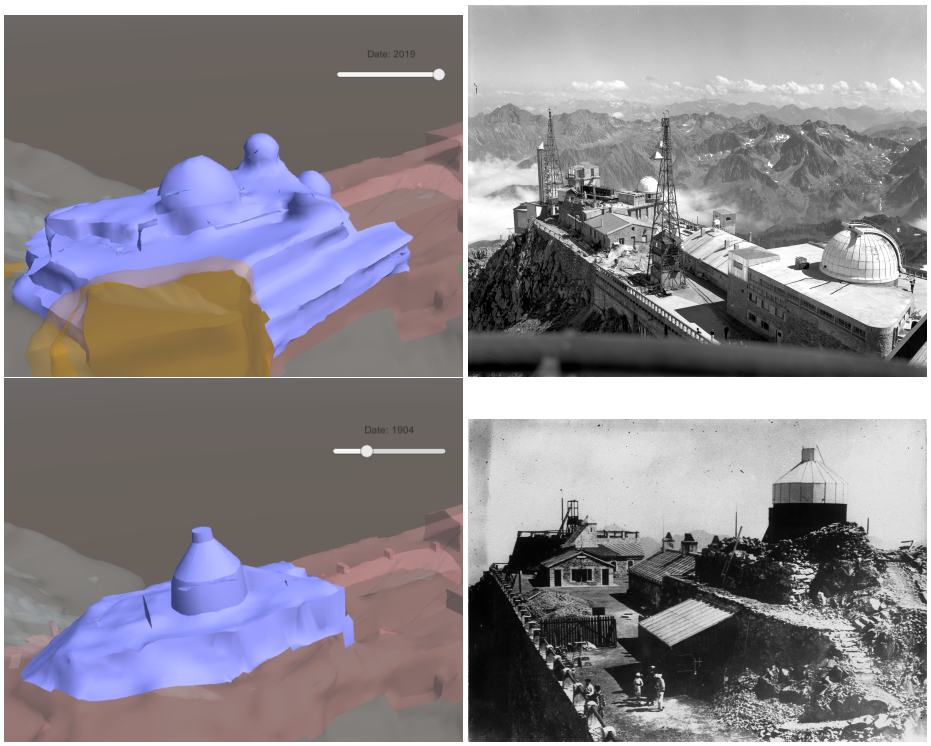


Figure 2.17 – Modélisations et photographies de 2 états du bâtiment Baillaud. Au dessus, l'état actuel. En dessous, l'état en 1901)

2.4.2 Modéliser la succession des modifications

En complément des modélisations 3D, nous avons constitué une base de données modélisant l'histoire des modifications que nous avons relevées. À partir des sources documentaires à notre disposition, dans une perspective historiographique, nous avons sélectionné un certain nombre de type d'entités à lier les unes aux autres pour décrire les différents évènements successifs, constitutifs de l'histoire de l'Observatoire que l'on retrouve dans l'étude patrimoniale qui a été produite. Les différents types d'entités sont rassemblées dans le tableau 2.1. Ces entités sont ensuite reliées entre elles, par différentes relations (présentées dans le tableau 2.2.

Entité	**Eq. CIDOC**
Source	E84 - Information Carrier
Lieu	E53 - Place
Personne	E39 - Actor
Batiment	E71 - Man Made Thing
Organisation	E40 - Legal Body
Instrument	E71 - Man Made Thing
Installation	E71 - Man Made Thing
Travaux	E11 - Modification
Domaine	E73 Information Object
Type	E55 - Type
Activité	E7 - Activity
Appellation	E82 - Actor Appelation

Table 2.1 – Les types d'entités de la base de données sur le Pic du Midi

Avec Paul-Loup Gobinet, nous étudiâmes les documents rassemblés et décidâmes, d'après notre connaissance du site et de l'étude patrimoniale, des informations à intégrer à notre base de données. *Unity* permettra l'affichage et l'interaction des modèles 3D, il nous reste à regarder les systèmes de gestion de base de données compatibles avec *Unity*. Or, un *plug-in* d'*Unity* permet de connecter une base de données SQLite au moteur de rendu [Hue] et ainsi permettre d'accéder au contenu d'une base de données relationnelle depuis l'exécutable.

Nous avons donc implémenté la base de données SQLite. Pour cela, nous avons cependant conservé une structure de données très simple, voire trop simple, à deux composantes seulement, des entités et des

Relation	Eq. CIDOC
Est de type	P2 - has type
Est commandé	
Est catégorisé	
Dirige	
Appartient	
Est en charge	
Est marié	
Est réalisé	
Est utilisé	P101 - had as general use
Fait partie	P46 - is composed of
Habite	
Possède	P49 - has former or current keeper
Prend place	
Visite	
Est situé	P54 - has current permanent location
Assiste	
Est conçu	
Est l'enfant	
Est identifié comme	P131 - is identified by
Est de la fratrie	
Est modifié	
Concerne	

Table 2.2 – Les types de relations de la base de données sur le Pic du Midi

relations. Le *Modèle Entité-Relation* ne nous semble pas précisément être le modèle que nous utilisons ici. Nos entités ne sont pas caractérisées par des propriétés (les propriétés sont représentées par de nouvelles relations) et aucune règle de cardinalité contraignant les entités reliées par les relations n'a été introduite. Tout repose ici sur la rigueur de la personne qui a la charge de modifier les données, les sources d'erreurs ou d'irrégularités sont nombreuses.

Au total, nous avons construit quatre tables SQL. Deux ressemblaient beaucoup aux tableaux 2.1 et 2.2, contenant les types d'entités et les types de relations, une troisième contenant les entités individuelles (le détail des lieux, des personnes) et la quatrième contenait l'implémentation effective des relations que nous voulions modéliser.

C'est visible dans les tableaux, parmi les éléments (entités ou rela-

tions), on trouve des traces de notre volonté de conserver la source des informations au même endroit que les informations, de conserver données et meta-données dans la même base.

Pour ce qui est des données choisies, nous nous concentrons dans un premier ordre de priorité sur les constructions des bâtiments et des instruments. Rapidement, nous associons à ces installations des individus et des collectifs (que nous appelons *Personnes* et *Organisations*, des noms de lieux et des actions dans le temps (des campagnes de travaux, des activités scientifiques), etc.

En parallèle de la constitution de notre modèle de données in situ, nous avons cherché des modèles de données de référence. Nous avons alors découvert le CIDOC-CRM [20], que les créateurs définissent comme un *modèle conceptuel de référence*. C'est à dire que c'est une ontologie formelle de haut niveau qui manipule des concepts très généraux et les articule les uns par rapport aux autres. Centré sur les évènements (c'est à dire une activité rattachée à un lieu, une date et des acteurs), le CIDOC CRM constitue un des méta-modèles de données dominant dans les modélisations à visée historiographique et nous semblait correspondre à ce que nous cherchions à représenter. Nous avons donc essayé de faire correspondre des concepts du CIDOC-CRM avec nos entités et nos relations. Cette correspondance nous a permis de nous baser sur les définition des termes proposées dans le CIDOC.

Le tableau 2.2 montre un modèle particulièrement spécifique à la modélisation du l'Observatoire du Pic du Midi, notamment la recherche d'explicitation des certans types de liens. Prenons l'exemple de la famille Baillaud. Elle connait une grande activité au Pic du Midi. Le père d'abord, puis plusieurs de ses enfants y mènent une partie de leur carrière. Cela nous aura mené à spécifier la notion de filiation (*Est l'enfant* ou *Est de la fratrie*), afin de faciliter l'analyse généalogique dans les relations à l'Observatoire du Pic du Midi. Dans l'étude patrimoniale du site est avancé le fait que l'intérêt pour le Pic témoigné et partagé par cette dynastie (toute proportion gardée) de scientifiques, et à plus large échelle, par des générations de scientifiques s'y succédant, témoigne de la valeur du site. Mais à l'inverse, ces informations montrent également que les liens familiaux ne sont pas innocents et donnent un nouveau contexte aux carrières, aux programmes de recherche, et aux résultats qu'ils produisent. Ainsi la modélisation du site cherche à exprimer avec précision

20. CIDOC est l'acronyme pour Comité International sur la DOCumentation, ancien comité rattaché à l'ICOM, fermé aujourd'hui, mais dont les travaux ont été repris par le *CIDOC CRM Special Interest Group*

le propos de l'étude patrimoniale et gagne en nuances. Il nous semble que l'étude patrimoniale réside principalement dans la mise en lumière de ces reliefs, et il nous fallait alors des entités et des relations capables de cet éclairage. Choisir ce niveau de détail dans la modélisation nous rend cependant partiellement incompatibles avec le CIDOC-CRM et d'autres méta-modèles génériques.

L'exécutable *Unity* fonctionne bien, cependant, rapidement, nous avons rencontré des problèmes trahissant sa faiblesse dans le temps. Une mise à jour d'*Unity* rompit la compatibilité du plug-in, qui n'était plus mis à jour par son créateur. Après avoir ajouté de nouvelles informations, il nous était impossible de produire un nouvel exécutable. Utilisateurs de solutions extérieures, aux visées différentes des nôtres [21], nous nous sommes trouvés dans un contexte logiciel trop incertain.

2.4.3 Apports et limites

De ce premier essai d'outil, qui s'est révélé concluant, mais très peu résistant dans le temps, nous tirons plusieurs pistes de réflexions. D'une part, nous nous sommes uniquement concentrés sur une petite partie du processus d'étude et de candidature pour penser un outil support au récit pour la présentation de l'observatoire. Les modélisations utilisées dans l'exécutable n'ont pas servi à l'étude patrimoniale en elle-même. Illustrations de conceptualisations dans la construction desquelles elles n'ont pas été impliquées, la portée de nos modélisation me semble assez limitée. On a montré le caractère itératif du processus et je considère qu'elles trouvent malgré tout une place à part entière dans l'étude, qu'elle « rebouclent » a postériori, entraînant des modifications dans les modélisations précédentes, dans le dossier de candidature et dans la présentation. Nous modifions ici la compréhension que nous avons du processus global, qui est présenté par la figure 2.18. Il nous est désormais plus difficile de distinguer le dossier patrimonial et la présentation. Comme précédemment, les modélisations du bien se retrouvent en entrée ou en information de contrôle de toutes les activités. Le postulat que cette réalisation nous apporte est que les formulations et les vues, c'est à dire les interprétations et les utilisations des modélisations dans le dossier de candidature et dans la présentation, constituent des objets plus aboutis, explicitatifs ou illustratifs d'un propos, qui viennent eux-même modifier la compréhension de l'objet (en précisant ou en excluant d'autres interprétations et utilisations).

21. *Unity* s'adresse surtout aux développeurs de jeux vidéos

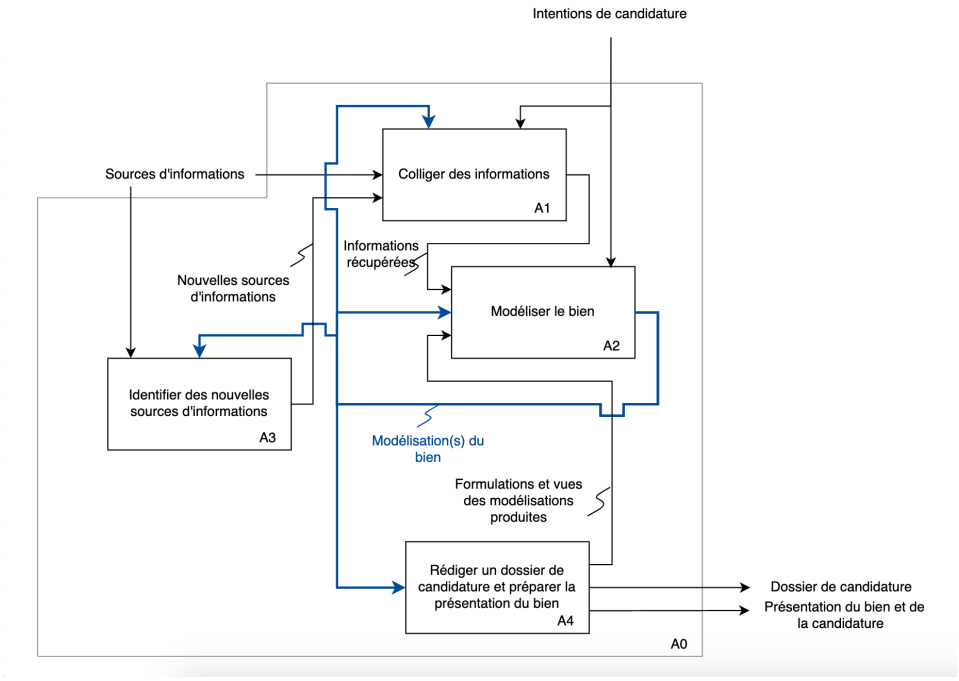


Figure 2.18 – Actigramme de la production d'une candidature patrimoniale, nouveau détail d'A0.

Dans un second temps, ces modélisations ont pu apporter leur contribution à l'élaboration de la compréhension du site. Mais le fait que ces modélisations soient réalisées de façon indépendante de la modélisation permettant l'étude témoigne de leur manque de nécessité. Michel Cotte n'a pas eu besoin de bases de données ou de modèle 3D pour penser le caractère patrimonial de l'Observatoire du Pic du Midi, pour déployer une analyse historiographique. À mes yeux, l'enjeu réside donc plutôt dans l'identification, au cas par cas pour chacune des situations d'étude patrimoniale, de *domaines de pertinence* de l'utilisation d'outillage informatique, d'activités améliorées (et encore, après avoir pris le temps de définir l'amélioration recherchée) par le recours à l'informatique.

Enfin d'autre part, les deux modélisations (les modèles 3D et la base de données) me semble trahir une tension inhérente à la modélisation, qui dessine un gradient entre deux pôles : la spécificité et la capacité à l'interopérabilité. L'imprécision de nos modèles 3D leur donne une capacité à être utilisés sans difficulté pour représenter de longues périodes

de temps. La qualité médiocre des formes de nos modèles 3D exclut toute hypothèse de réalisme. Ils sont représentations, évocations et ainsi permettent l'approximation valable sur plusieurs années. De même, mais à l'inverse, la spécificité de certaines informations que nous avons cherché à modéliser dans notre base de données, la rend incompatible avec d'autres bases plus génériques. Pour les partager à d'autres, les transformer pour convenir à une structure de données commune, nous devrions choisir de renoncer à partager certaines informations, ou trouver une autre structure formelle capable de les inclure et définir des règles de transformation entre les deux formalismes.

Il m'aura fallu passer par la réalisation de ce prototype d'outil pour formuler ce qui relève pourtant de l'évidence : L'interopérable, le générique et le partagé par tous se limite dans le spécifique, l'unique, le distinctif. La pertinence ne s'obtient que par la capacité de navigation le long de ce gradient pour permettre aux récits patrimoniaux différents niveaux de granularité.

2.5 Retour général sur ce cas pratique

Cette première confrontation aux pratiques et aux théories mises en jeux par une étude patrimoniale fût sans doute la meilleure première expérience imaginable : l'étude porte sur un vaste site composé par différents espaces. On peut envisager des angles d'approche nombreux, au travers d'unités de temps, d'espace, d'unités thématiques et conceptuelles multiples. Le nombre des choix qui composent et conditionnent l'étude augmente plus on l'observe de près.

D'un point de vue pratique, et au delà de la question de la pérennité logicielle pour la construction et la consultation de modélisations (que pose malgré tout notre expérience), le caractère récursif et itératif du processus d'étude patrimoniale rend rapidement problématique la production de documents *terminaux*, dont la version numérique englobe les exécutables *Unity*, empaquetant des informations une fois pour toutes, dans un document facile à exporter, à transmettre. Limitant, ces document le sont pas deux aspects : ils n'apportent pas de contexte à la modélisation (méta-données, et choix de modélisation), il est alors difficile de chercher à porter un regard critique sur le modèle ; de plus, ils ne permettent pas l'ajout d'informations a posteriori.

La tension entre l'évolution sans cesse du processus et la finitude portée par la production de documents met en lumière deux besoins, qui

nouent des problématiques théoriques et opérationnelles particulièrement stimulantes :

Un besoin de robustesse, de pérennité Les sources de données, les sources documentaires impliquées dans l'étude sont sujettes au changement, il en est de même pour les points d'intérêt et les angles d'étude. Les outils technologiques employés doivent alors nécessairement présenter la plus grande durabilité et persistance possible, afin que l'accès aux modélisations puisse s'abstraire des évolutions des organisations institutionnelles ou individuelles, pratiques ou conceptuelles. Pire (ou mieux) les outils technologiques par leur robustesse doivent pouvoir accompagner ces évolutions pour les documenter au fil de l'eau.

Un besoin de souplesse, de versatilité L'étude patrimoniale comme celle du Pic du Midi manipule des objets très différents, considérés de plusieurs façons. Pour que les modélisations soient intriquées et que la vision de l'objet soit la plus complète, nous avons besoin d'outils capable d'appréhender des données différentes, et de les considérer de différentes façons.

Forts de cette expérience, nous allons essayer de prendre du recul dans les prochains chapitres. En premier lieu, nous considérerons le patrimoine et l'étude patrimoniale afin de mieux en comprendre les ressorts, la mécanique. Nous regarderons aussi différentes formes de modélisation pour distinguer invariants et spécificités. La documentation sera à son tour sur la table de travail, et les approches informatiques de la modélisation et de la documentation constitueront notre dernier point d'analyse. Ces analyses successives et complémentaires nous permettront de bâtir une meilleure définition de ce problème qui est le notre : la modélisation informatique de l'étude patrimoniale.

Chapitre 3

Le patrimoine, la reconnaissance d'attachements

> Il fallait, en même temps, définir puis affiner la méthode, et mener des opérations, c'est-à-dire des vraies stations sur le terrain, [...] devant les gamins et les braves gens ébahis qu'on s'intéresse à leurs demeures, à leurs calvaires, à leurs fontaines, qu'ils n'auraient jamais cru si intéressants. Maintenant, on le saura, disaient-ils.
>
> *L'invention de l'Inventaire* - **André Chastel**

3.1 Introduction

Dans ce chapitre, je cherche à poursuivre ce qui a été ébauché dans le chapitre précédent, en adoptant un point de vue plus général. Nous tirerons des indices trop spécifiques d'une seule étude de cas. Pour espérer être pertinent dans la compréhension de besoins d'outillage informatique pour les différents travaux patrimoniaux, il nous faut chercher à modéliser les processus à l'œuvre ; notamment celui de la décision patrimoniale en particulier, intégré dans le processus plus diffus qu'est la vie patrimoniale de l'objet.

Avant toute chose, il sera question de mieux cerner cette notion de patrimoine, culturel ou naturel. Originairement formé à l'ingénierie mécanique et industrielle, mon rapport direct aux dimensions patrimoniales des objets commence avec mes travaux de thèse, c'est dire si je pars de loin ! Le patrimoine se construit fondamentalement par choix ; la bibliographie sur le sujet propose peu de définitions a priori, directes et

précise du *patrimoine*, mais se contente d'en dessiner un profil descriptif a posteriori. Elle inclut cependant des textes réglementaires précisant certaines catégories de patrimoines en particulier. Car pour les administrer, les patrimoines collectifs ont été divisés, ou regroupés, selon le point de vue, en typologies et en catégories de patrimoine spécifiques.

L'observation de différents types de patrimoines met au premier plan la notion de valeur et en lumière la nécessité de leur explicitation et de leur réification en différents attributs. Lors d'une candidature patrimoniale, cette modélisation est d'abord présentée lors de l'explication du bien, puis soumise à un retour critique lors de l'évaluation qui débouche à la décision de reconnaissance patrimoniale. L'obtention d'un label patrimonial, c'est à la reconnaissance de l'appartenance à type de patrimoine n'est pas sans conséquence pour le bien. Nous y pencher permettra d'observer et de nous approprier les *fonctions* mises en œuvre tout au long de la vie patrimoniale de l'objet.

En prêtant un regard attentif à l'approche méthodologique de l'UNESCO, je montrerai la limite de l'étude de l'intégrité des biens, et la pertinence que l'on pourrait trouver à substituer l'étude de l'intégrité, à l'étude de la connaissance de l'intégrité. La contradiction entre une interopérabilité recherchée et la spécificité nécessaire des modélisations se révèle être une pierre d'achoppement, résolue seulement à l'issue du prochain chapitre.

La plupart des modélisations adoptent ici aussi le formalisme IDEF, mais quelques unes sont plus libres. De ces représentations schématiques génériques, je tire des indications fortes quant à la zone d'intérêt d'un outillage informatique pour accompagner ces travaux sans (trop) en modifier le déroulement, et en cherchant (autant que possible) à en conserver les aspects déontologiques, voire ontologiques. La place primordiale de la documentation dans la dimension patrimoniale de l'objet sera particulièrement marquée.

3.2 Qu'est-ce que le patrimoine ?

3.2.1 Une notion changeante

La notion de *patrimoine*, Jean-Pierre Babelon et André Chastel [BC12] la voient naître au Moyen-Âge. Le truchement du « fait religieux » et du « fait monarchique » laisse apparaître la question de la conservation délibérée et la protection particulière que l'on accorde à des objets auxquels sont reconnues certaines valeurs. Babelon et Chastel voient la notion de

patrimoine ensuite nettement plus affirmée à la renaissance dans une déclinaison privée, au travers des collections privées d'objets anciens, issues de l'« anticomanie » en vogue.

Thibault Le Hégarat [LH15] poursuit l'historique avec Babelon et Chastel, en montrant en France l'importance de la Révolution française dans la prise en main collective des choix patrimoniaux. Les périodes de changements poussent à l'interrogation de ce que l'on veut conserver. La réflexion de la valeur prêtée aux objets gagne alors d'autres types d'objets ; Le Hégarat retrace cette progression de l '« ouverture de la notion » de patrimoine et de sa plasticité (monuments historiques et maisons particulière, mais également leurs contenus - patrimoine religieux, patrimoine urbain, bien culturel, monument d'art,...).

Je n'ai trouvé dans la littérature aucune définition *a priori* pour comprendre de quoi le patrimoine se constitue. Même en approchant le patrimoine par les dictionnaires, on n'obtient que des indices évasifs de la nature du patrimoine.

- Le *TLFi*[1] en fait l'« Ensemble des biens hérités des ascendants ou réunis et conservés pour être transmis aux descendants. [...] », ou encore « Ce qui est transmis à une personne, une collectivité, par les ancêtres, les générations précédentes, et qui est considéré comme un héritage commun ». Une série d'exemples vient en renfort : « Patrimoine archéologique, artistique, culturel, intellectuel, religieux ; patrimoine collectif, national, social ; patrimoine d'une nation, d'un peuple ».
- Le *Dictionnaire de l'Académie française*[2], reprend cette notion d'héritage (« Ensemble des biens que l'on hérite de ses ascendants ou que l'on constitue pour le transmettre à ses descendants [...] ») et l'étend à « [l']ensemble des biens, des richesses matérielles ou immatérielles qui appartiennent à une communauté, une nation[...] ».
- Le Larousse[3], enfin conserve la notion d'héritage, et apporte l'idée nouvelle du choix : le patrimoine est « Ce qui est considéré comme un bien propre, une richesse » et « comme l'héritage commun d'un groupe ».

Babelon et Chastel utilisent eux aussi une définition très inclusive, lorsqu'ils avancent que « le patrimoine, au sens où on l'entend aujourd'hui

1. Trésor de la Langue Française informatisé https://www.cnrtl.fr/definition/patrimoine
2. https://www.dictionnaire-academie.fr/article/A9P1012
3. Consultable dans sa version papier de 2019 ou à l'URL suivante : https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/patrimoine/58700

dans le langage officiel et dans l'usage commun, est une notion toute récente, qui couvre de façon nécessairement vague tous les biens, tous les « trésors » du passé »[BC12].

> **Définition 1**
> Le patrimoine est constitué d'un ensemble de biens transmis et conservés, auxquels on reconnait (individuellement et collectivement) des *valeurs* au travers différentes relations (usage, propriété, etc.).

Le renouvellement permanent du choix de conserver et transmettre les objets - ou non, alors même que changent les relations que l'on entretient avec les biens, engendre un concept nécessairement plastique. Aussi, essayer de penser le patrimoine dans l'absolu, hors l'imparfaite relativité de contextes humains changeants, nous entraine inéluctablement vers l'aporie.

Aujourd'hui, ce que l'on considère comme pouvant relever du patrimoine présente une très grande diversité de formes. Le Hégarat le montre en se basant sur l'énumération vertigineuse de Jean-Yves Andrieux[And97], pour qui « [...] le patrimoine recouvre à la fois le temporel (le palais de l'Elysée) et le spirituel (le Sacré Coeur de Montmartre), le réel (le monument aux morts) et l'immatériel (la cérémonie du 11 novembre), le multiple (la langue) et l'unique (le sceptre de Charles V ou la chapelle-reliquaire de La Martyre), l'industriel (la fonte Art nouveau) et l'artistique (la maison de Victor Horta à Bruxelles, 1898), le tout (la Grande Guerre) et la patrie (Verdun), le genre (le patrimoine naturel) et l'espèce (le paysage), le signe (la cathédrale de Reims, le Panthéon) et le sens (la monarchie, la république). On pourrait décliner longtemps les formes de sa variété. ».

Thierry Bonnot et Joël Candau nous proposent deux outils conceptuels complémentaires pour appréhender nos rapports patrimoniaux à des biens aussi différents, au travers des notions de valence et d'*affordance*, respectivement. Ils inversent alors la question. On ne cherche plus ici à comprendre l'objet, mais nos rapports à celui-ci.

Bonnot définit la valence d'un bien comme « l'ensemble de ses liaisons avec des individus, la combinaison de son histoire singulière et collective, l'attraction ou la répulsion qu'il a suscité et suscite encore, tout ce qui dans sa biographie a compté pour que cet objet soit conservé et devienne patrimonial » [Bon14]. Collection complète, l'étude de la valence permet de montrer avec précision et force détail les valeurs successivement reconnues au bien, et celles qui ont pesé dans les décisions de

sa *patrimonialisation*. C'est l'outil conceptuel pour la constitution de biographies d'objet, qui produit autant d'analyses que l'on envisagera, que l'on cherchera d'angles d'approche. Bonnot appelle « attachement », le processus de reconnaissance de valeur.

L'*affordance*, pour sa part, prend la question patrimoniale par l'autre extrémité, en caractérisant l'éligibilité d'un bien à une reconnaissance patrimoniale. On s'intéresse alors seulement à ce qui influe dans l'éligibilité patrimoniale des biens, « éligibilité devenant plus probable que l'objet candidat à la patrimonialisation porte cette qualité *d'affordance*. »[CF15]. L'*affordance* traduit de fait l'adéquation entre un type de patrimoine et les valeurs prêtées aux biens.

Ces deux approches complémentaires permettent de penser les objets patrimoniaux par le spectre de leurs valeurs, et dans le cas particulier de l'*affordance* en confrontant les valeurs du bien aux typologies de patrimoines existantes. Car, en effet, pour les patrimoines collectifs institutionnels, c'est à dire ceux qui m'intéressent en premier lieu dans ce travail, la décision collective entraine un recours au texte réglementaire explicitant et délimitant les types de biens et les valeurs considérés.

3.2.2 L'explicitation pour les patrimoines collectifs

Chiara Bortolotto explique que pour administrer les patrimoines collectifs, nous nous sommes dotés d'institutions responsables d'attribuer ou de retirer un statut patrimonial officiel aux biens[Bor11]. Ce qu'elle appelle les « praticiens », ou les « communautés », attribuent la valeur du bien, mais le statut patrimonial officiel dépend de la décision institutionnelle.

Ici encore nous rencontrons le grand nombre : institutions nationales (comme le Ministère de la Culture en France), supranationales (comme l'Union Européenne ou l'UNESCO), ou internationales (comme l'ICOMOS pour le patrimoine mondial). Quelles que soient leurs formes, elle se dotent d'un cadre pour orienter leurs actions, et dans le cas la reconnaissance patrimoniale, cela passe par l'explicitation des statuts ou des labels dont elles s'occupent, qu'elles traduisent en typologies de biens et de valeurs.

La reconnaissance patrimoniale, ou l'obtention d'un label, c'est à dire le changement de statut, s'inscrit comme une nouvelle étape de la vie patrimoniale de l'objet, mais y apporte également une dynamique nouvelle. Distinguer l'étude et la modélisation de l'explication du bien et de ses valeurs, puis de son évaluation qui débouche sur la décision permet

d'articuler ces moments au sein d'un processus plus global et parfois plus diffus.

Différentes institutions, différents patrimoines

Commençons par voir la diversité des typologies et des valeurs patrimoniales considérées par le prisme des textes suivants :

- la Convention du Patrimoine Mondial,
- la Déclaration européenne sur les objectifs culturels
- des éléments du droit français (Code du patrimoine, ...)
- des éléments du droit allemand en matière de protection des biens de patrimoine culturel
- des éléments du droit autrichien
- des éléments du droit italien
- des éléments du droit espagnol

Cependant, pour éviter de noyer ces considérations dans un détail excessif, j'en resterai à présenter l'analyse du contenu des textes qui seront joint en annexe. Seule exception, pour montrer un exemple de l'explicitation des typologies et des valeurs, quelques extraits de la Convention du Patrimoine Mondial seront inclus.

Le patrimoine mondial

La *Convention du Patrimoine Mondial* est le texte patrimonial qui réunit le plus grand nombre de pays. 193 États parties ont ratifié ce texte. Ils acceptent ainsi d'identifier et de décrire leurs biens susceptibles d'être inscrits sur la *Liste du patrimoine mondial*. C'est à ce titre que la candidature du Pic du Midi du chapitre précédent est envisagée. La *Convention* commence par les trois articles suivants :

Article 1 Aux fins de la présente Convention sont considérés comme « patrimoine culturel » :

- les monuments : œuvres architecturales, de sculpture ou de peinture monumentales, éléments ou structures de caractère archéologique, inscriptions, grottes et groupes d'éléments, qui ont une valeur universelle exceptionnelle du point de vue de l'histoire, de l'art ou de la science,
- les ensembles : groupes de constructions isolées ou réunies, qui, en raison de leur architecture, de leur unité, ou de leur intégration dans le paysage, ont une valeur universelle exceptionnelle du point de vue de l'histoire, de l'art ou de la science,

— les sites : œuvres de l'homme ou œuvres conjuguées de l'homme et de la nature, et zones incluant des sites archéologiques, qui ont une valeur universelle exceptionnelle du point de vue historique, esthétique, ethnologique ou anthropologique.

Article 2 Aux fins de la présente Convention sont considérés comme « patrimoine naturel » :

— les monuments naturels constitués par des formations physiques et biologiques ou par des groupes de telles formations qui ont une valeur universelle exceptionnelle du point de vue esthétique ou scientifique,

— les formations géologiques et physiographiques et les zones strictement délimitées constituant l'habitat d'espèces animale et végétale menacées, qui ont une valeur universelle exceptionnelle du point de vue de la science ou de la conservation,

— les sites naturels ou les zones naturelles strictement délimitées, qui ont une valeur universelle exceptionnelle du point de vue de la science, de la conservation ou de la beauté naturelle.

Le tableau 3.1 distingue les qualificatifs producteurs de catégories, les échelles des biens à l'intérieur de ces catégories et enfin, les valeurs concernées par l'évaluation. Pour ce qui est des catégories de patrimoine, je reprends les catégories de Zaki Aslan [AA06].

Tous les textes institutionnels sont synthétisés au travers de cette grille de lecture.

Qualificatifs	**Échelle**	**Valeurs**
Naturel	Monuments	Histoire
Culturel	Ensembles	Art
Mixte	Sites	Science
		Esthétique
		Ethnologique
		Anthropologique
		Conservation
		Beauté Naturelle

Table 3.1 – Qualificatifs, échelles et valeurs du Patrimoine Mondial

Les institutions européennes

Pour les institutions européennes, je me concentre sur les deux seuls textes explicites que j'ai pu trouver, c'est à dire

— la décision No 1194/2011/EU du parlement européen et du concile de l'Europe du 16 Novembre 2011, aussi appelée *Establishing a European Union action for the European Heritage Label*, en particulier ses articles 2 et 7,

— la déclaration européenne sur les objectifs culturels - Adoptée par la 4^{e} Conférence des ministres européens responsables des Affaires culturelles (Berlin, 1984).

L'article 2 définit les types de patrimoine et la première partie de l'article 7 présente les valeurs recherchées pour ce label de Patrimoine Européen. La typologie n'est pas hiérarchisée. Contrairement au Patrimoine Mondial, le terme de *site* semble directement synonyme de bien, et n'a pas de valeur significative sur une échelle de taille. Le détail des textes est disponibles en Annexe A, le tableau 3.2 synthétise.

Qualificatifs	**Échelle**	**Valeurs**
Naturel	Monuments	Symbole européen
Culturel	Sites	Transfrontalité
Sous-marin	Paysages	Pan-Européisme
Archéologique	Objets (M. & Im.)	Histoire européenne
Industriel		Histoire intégration europ.
Urbain		Dévelop. val. européennes
		Défense val. européennes.

Table 3.2 – Qualificatifs, échelles et valeurs du Patrimoine Européen

Le droit français

Dans le droit français, le Code du patrimoine (dans sa version en vigueur en 2019), par sa structure et son Article L111-1 nous donne les indices relatifs aux typologies et aux valeurs considérées. Le tableau 3.3 en reprend les éléments, et l'annexe A les extraits choisis.

Les patrimoines culturels et naturels sont traités par des ministères différents en France, pour cette raison, le Ministère de la Culture évoque peu le patrimoine naturel. Dans la plupart des textes sondés, le terme employé pour y faire référence est celui d'environnement. Le ministère de l'environnement (aujourd'hui appelé « ministère de la Transition écologique et solidaire ») a la charge des décisions de patrimoine naturel. Les textes relatifs au patrimoine naturel et culturels sont cependant inégaux et le patrimoine naturel se trouve défini avec moins de précision.

Qualificatifs	Échelle	Valeurs
Culturel	Les biens d'Archives et Bibliothèques Les biens de musées Issus de travaux d'archéologie Les biens mobiliers Les monuments historiques Les sites (villes, villages ou quartiers)	Histoire Art Archéologie Documentation Conservation

Table 3.3 – Qualificatifs, échelles et valeurs du Patrimoine Français

Ainsi dans le décret 67-158 du 1e Mars 1967 instituant les Parcs naturels régionaux, qui fut jusqu'au début des années 2000 la seule forme de reconnaissance patrimoniale naturelle en France, on trouve seulement, à l'Article 1 :

> Article $1er$ — Le territoire de tout ou partie d'une ou de plusieurs communes peut être classé « parc naturel régional » lorsqu'il présente un intérêt particulier, par la qualité de son patrimoine naturel et culturel, pour la détente, le repos des hommes et le tourisme, et qu'il importe de le protéger et de l'organiser.

Le droit allemand

Le *Kulturgutschutzgesetz* [WL16] (Loi de protection des biens culturels) dans sa version de 2016 présente assez génériquement et simplement les biens culturels de la façon suivante :

> *[...] „Kulturgut" jede bewegliche Sache oder Sachgesamtheit von künstlerischem, geschichtlichem oder archäologischem Wert oder aus anderen Bereichen des kulturellen Erbes, insbesondere von paläontologischem, ethnographischem, numismatischem oder wissenschaftlichem Wert,[...]*
> „Bien culturel" toute chose ou ensemble mobilier, présentant une valeur artistique, historique ou archéologique, ou bien présentant une valeur d'un autre domaine du patrimoine culturel, en particulier, paléontologique, ethnographique, numismatique ou scientifique.

Probablement par défaut de connaissance linguistique, il ne nous a pas été possible de trouver d'indications quant au patrimoine naturel. Peut-être à l'image du traitement français, le patrimoine naturel est-il

Qualificatifs	Échelle	Valeurs
Culturel	Mobilier	Artistique
	Immobilier	Historique
	Monuments Historiques	Archéologie
	Objets sacrés et profanes	Paléontologie
	Bibliothèques	Ethnographique
	Archives	Numismatique
	Fonds archéologiques	Scientifique

Table 3.4 – Qualificatifs, échelles et valeurs du Patrimoine Allemand

traité de plus près par un autre ministère ou entité gouvernementale. Nous n'avons de plus pas étudié tous les textes régionaux relatifs à la conservation (*Denkmalpflege*). Cela aurait pourtant précisé notre regard sur les pratiques outre-Rhin.

Le droit autrichien

Le droit autrichien pour ce qui est du patrimoine culturel (géré par l'ÖGKGS, *die Österreichische Gesellschaft für Kulturgüterschutz*) en revanche m'a semblé davantage accessible. Le tableau 3.5 reprend les éléments présents en Annexe A.

Le droit espagnol

En Espagne, la législation porte sur le *patrimoine historique* au travers de la « *Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español* » [dE85], de 1985, réactualisé le 27 mai 2015. À nouveau, les extraits sont en Annexe A, et le tableau 3.6 reprend les éléments.

Le droit italien

Deux lois de 1939 régissent le patrimoine culturel italien :

- la *Legge Bottai* (la Loi Bottai, loi n. 1089/1939), traitant « *per la tutela delle cose di interesse artistico e storico* » (pour la conservation des choses d'intérêt artistique et historique) [bot39].
- Accompagnée quelques jours plus tard d'une seconde loi (n. 1497/1939) [] dite « *per la tutela della bellezze paesistiche* » (pour la conservation de la beauté du paysage) [leg39]

Qualificatifs	Échelle	Valeurs
Culturel	Mobilier Immobilier Monuments Historiques Objets sacrés et profanes Bibliothèques Archives Fonds archéologiques Jardins historiques Monuments industriels Langues Coutumes Musiques Danses Rituels Fêtes Médecines traditionnelles Outillages Habitats	Reflète un collectif, un groupe Symbole national Symbole régional Symbole d'identité locale

Table 3.5 – Qualificatifs, échelles et valeurs du Patrimoine Autrichien

Récapitulatif

Le tableau 3.8 reprend les différentes valeurs mises en avant par les différents textes patrimoniaux sur lesquels je me suis basé. J'ai exclu de la synthèse le texte du conseil de l'Europe. Les valeurs mises en avant, très spécifiques, ne recoupaient pas vraiment avec celles des autres textes. Ce texte traduit davantage l'européanisme inhérent à cette institution en particulier. En ce sens, ce texte montre une grande liberté dans ce qu'il enjoint à considérer comme types d'objets et comme valeurs (qui me semble s'accompagner d'une difficulté à l'application).

Cette réserve cependant n'écorne en rien la remarque principale que je tire de cette synthèse, qui est que les reconnaissances patrimoniales différentes partagent des angles d'évaluation (historiographique notamment), mais surtout se distinguent principalement par des angles spécifiques.

La place partagée de l'histoire dans l'évaluation patrimoniale n'arrive pas comme une surprise au regard de la définition du patrimoine. La place des biens dans l'histoire des groupes de personnes (quelle que soit

Qualificatifs	Échelle	Valeurs
Culturel	Immobilier Mobilier Fonds archéologiques Objets sacrés et profanes Bibliothèques	Archéologie Ethnographie Conservation Appartenance à une collection Documentation

Table 3.6 – Qualificatifs, échelles et valeurs du Patrimoine Espagnol

Qualificatifs	Échelle	Valeurs
Artistique Historique Paysage	Monument (M. & Im.) Édifice Témoignage antique Ensemble urbain Livres et Documents	Art Histoire Architecture Archéologie Documentaire Appartenance à une collection Conservation

Table 3.7 – Qualificatifs, échelles et valeurs du Patrimoine Italien

l'échelle d'analyse) se traduit pour ces groupes en une valeur inévitable du bien.

> **Proposition pour l'outil 1**
> L'outillage informatique ne peut pas proposer de cadre conceptuel prédéfini, la combinaison des types de patrimoine et des types de reconnaissance patrimoniale demandent un ajustement systématique, au cas par cas.

3.2.3 La dimension patrimoniale des biens

L'effet des labels

Par l'explicitation des valeurs et des typologies, les institutions opèrent un tri. Tous les biens ne seront pas reconnus d'importance internationale. Même à l'échelle nationale, la France reconnait différents types

	UN	FR	DE	AT	ES	IT
Anthropologie	X				X	
Archéologie		X	X		X	X
Architecture						X
Art	X	X	X			X
Esthétique	X	X			X	
Ethnologie	X		X		X	
Identité				X		
Histoire	X	X	X	X	X	X
Numismatique			X			
Rap. Documentation		X			X	X
Rap. Collection		X			X	X
Rap Conservation	X	X			X	X
Science	X		X			

Table 3.8 – Valeurs patrimoniales à l'UNESCO, en France, en Allemagne, en Autriche, en Espagne et en Italie

de biens permettant leur gestion par des services spécifiques. Le site internet du Ministère de la Culture [dlC]distingue par exemple :

- les « Monuments Historiques »,
- les « Musée de France »,
- les « Jardins Remarquables »,
- les « Maisons des illustres »,
- le« Patrimoine européen »,
- l'« Architecture contemporaine remarquable »,
- les « Villes et Pays d'art et d'histoire »,
- les« Librairies indépendantes de Référence » et
- le « Patrimoine du XX^{e} siècle ».

Autant de labels poursuivant l'explicitation commencée de façon générique en précisant davantage les critères de choix et/ou l'échelle du patrimoine considéré. En 2005 est apparu, par exemple, le label *Culture et Santé en Ile-de-France* qui récompense des établissements de santé mettant en œuvre une politique culturelle et artistique de qualité, en Île-de-France.

Ainsi les labels explicitent, possiblement de façon cumulative :

- l'appartenance à une aire géographique ou à une identité territoriale (e.g. Le patrimoine de la Thiérache ou le patrimoine autochtone canadien),
- l'appartenance à une époque temporelle (e.g. le patrimoine du XXe siècle),
- l'appartenance à une sous-catégorie conceptuelle du patrimoine :
  - le patrimoine mobile ou immobile (e.g. les monuments, le mobilier national),
  - le patrimoine matériel ou immatériel (e.g. le Patrimoine Culturel Immatériel (PCI), le patrimoine architectural),
  - le patrimoine classique ou les nouveaux patrimoines (e.g. les antiquités et objets d'art, le patrimoine scientifique, technique ou industriel).

Les activités de la vie patrimoniale des biens

D'après Marion Roux-Durand, l'utilisation de ces labels cherche à réaliser les trois fonctions des travaux patrimoniaux : **protection**, **sensibilisation** et **valorisation** [RD12], qui constituent les activités de la vie patrimoniale des biens. Tel l'exemple de la "femme réfugiée" pour Ian Hacking [HH+99], dont le comportement change lorsque que le statut change, notre perception du bien patrimonial s'altère par l'attribution d'un label.

Ces trois fonctions interagissent en cercles vertueux ou vicieux. La reconnaissance patrimoniale cherche précisément à initier un cercle vertueux (le cercle en haut de la figure 3.1). La reconnaissance institutionnelle réalise la première fonction, en **sensibilisant** à l'existence d'un bien auquel ont été officiellement reconnues des valeurs.

La connaissance et la reconnaissance de l'existence de ce bien, pousse à son **étude** au sens large, par différents angles d'approche : historiographiques, techniques, esthétiques, etc. Ces études aboutissent à la production de ré-interprétations et de découvertes, c'est à dire, à la réalisation de la seconde fonction du label : la **valorisation** du bien.

Des récits nouveaux produits par ces différentes études viennent compléter l'**explication** du bien patrimonial. De nouvelles explications, de nouveaux points de vue sur le bien mettent en évidence des valeurs, plurielles, et alors se réalise la troisième fonction, la **valorisation**. Réactualisé, réhaussé dans ses valeurs par les différents travaux nouveaux, le bien change encore de statut. Afin de lui assurer longévité, la protection

du bien, paradoxalement, engendre nécessairement des modifications (physiques ou de son statut légal, par exemple) ; ces modifications rattachent la vie patrimoniale de l'objet à la vie quotidienne du groupe concerné. Son évaluation sera sans doute brève, l'attachement au bien étant alors fort, et la conscience des richesses qu'il porte vive.

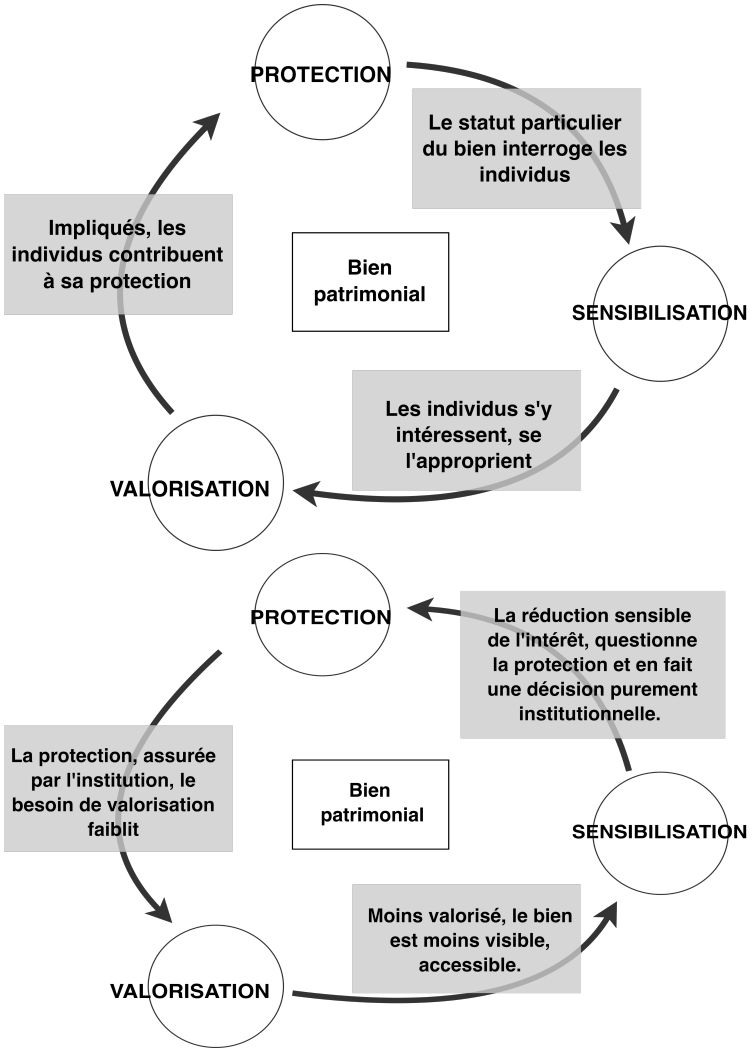


Figure 3.1 – Effets bénéfiques et néfastes introduits par l'attribution d'un label patrimonial

Un autre cycle, représenté dans la moitié basse de la figure 3.1, est

également à l'œuvre suite à l'attribution d'un label patrimonial. Le label témoignant un soutien institutionnel (qui reste parfois strictement symbolique), individus et collectifs comptent implicitement sur l'institution pour mobiliser des moyens nécessaires à la mise en valeur du bien, ce qui n'arrive pas toujours, ou pas suffisamment. Moins expliqué, moins exposé, le bien est moins étudié, moins connu. Reconnu officiellement, mais moins connu et moins *visité*, il est plus difficile de justifier les moyens nécessaire à sa conservation, son statut patrimonial institutionnel l'installe dans une logique canonique statique. C'est un bien patrimonial *dans les textes*, moins considéré et vécu comme un bien à protéger et transmettre *dans les faits*.

Trois types principaux de travaux patrimoniaux Pour commencer cette généralisation sur la nature des travaux patrimoniaux, je tiens à prendre quelques précautions. Mon parcours m'a permis de rencontrer un nombre restreint de métiers du patrimoine. On peut en considérer un nombre très conséquent, depuis le chef de chantier de la restauration de la cathédrale de Notre-Dame de Paris jusqu'à l'informaticien qui entretient la base de données *Joconde* [4], en passant par l'historien de l'astronomie qui étudie les astrolabes à partir d'archives… Cette richesse de métiers restreint la pertinence de ce que je vais développer ensuite au strict cadre de mon expérience.

Le fonctions mises en avant par Roux-Durand sont mon point de départ, mais ne correspondent pas à tous les travaux patrimoniaux. Elles sont issues de différents travaux, que je cherche précisément à classifier. En retour, la réalisation de chacune de ces trois fonctions entraine un certain type d'activité :

- la valorisation demande **expliquer** les valeurs, les différentes dimensions du bien,
- la sensibilisation pousse à **étudier** le bien,
- la protection entraine les nécessité de **modifier** le bien.

Étudier le patrimoine La figure 3.2 propose une schématisation très générique des activités d'étude patrimoniale. Producteurs d'informations et de documentation, ils sont conditionnés par des intentions d'étude, des questionnements initiaux. Pour matière première, ces travaux d'étude utilisent évidemment le bien en question, mais également

4. *Joconde* donne accès au catalogue et aux notices des collections des musées de France.

toutes les sources d'information à disposition. Deux éléments constituent ce que j'appelle le *contexte* de l'étude ou du travail patrimonial en général : les intentions et la matière première à disposition.

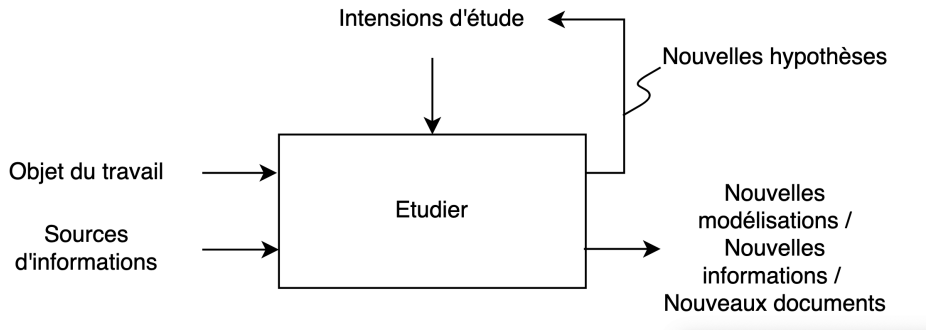


Figure 3.2 – Actigramme générique des activités d'étude patrimoniale

Expliquer le patrimoine Les travaux d'explication patrimoniale agrègent, et re-formalisent les informations issues des activités d'études patrimoniales pour produire des dispositifs de médiation, d'exposition, d'explication des biens patrimoniaux. On ne vise alors pas la création de connaissances nouvelles, mais bien leur relai, leur transmission. La figure 3.3 propose une modélisation très générique des activités d'explication patrimoniale. Il arrive que l'étude et l'explication soient liées en un seul mouvement.

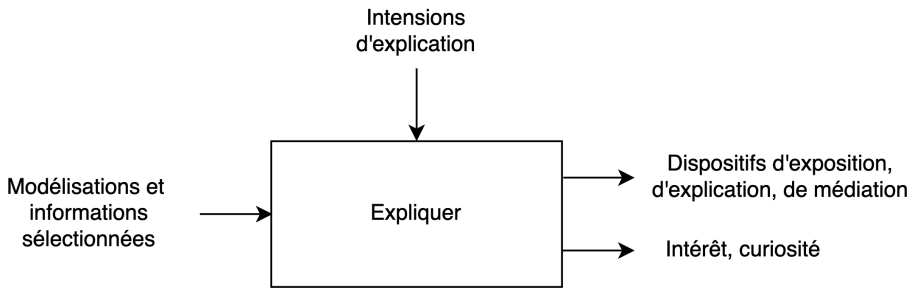


Figure 3.3 – Actigramme générique des activités d'explication patrimoniale

Modifier le patrimoine Les travaux de modifications du patrimoine, recouvrent les activités de protection, de restauration, de conservation. À partir de l'objet du travail et des différentes sources d'informations, on transforme l'objet lui même, que ce soit dans le contexte légal qui l'entoure (son statut patrimonial, par exemple), dans sa situation matérielle (son lieu de stockage, par exemple), ou dans ses conditions physiques (l'assèchement d'une partie dangereusement humide d'un bâtiment en pierre calcaire, par exemple). Ces changements visent la protection du bien et leurs réalisations sont enregistrés par des documents. La figure 3.4 propose une modélisation très générique des activités de conservation patrimoniale.

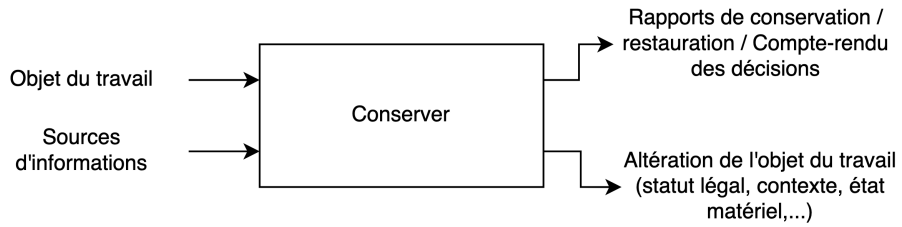


Figure 3.4 – Actigramme générique des activités de conservation patrimoniale

Une vue générale Ces trois types d'activités réalisent et découlent de trois fonctions. Interdépendantes sans être séquentielles, elles montrent leurs recours (production ou consultation) systématique à la documentation. Quelles que soient les formes de cette documentation, il apparaît que pour accompagner les travaux patrimoniaux, et avant toute autre chose, un outil informatique doit être en mesure de gérer informations et documentation, dans la diversité que produira la multitude de travaux. La figure 3.5 articule les trois types d'activités où les sources d'informations trouvent une place centrale.

> **Proposition pour l'outil 2**
> L'outillage informatique, pour accompagner les travaux patrimoniaux en général doit se concentrer d'abord et avant tout sur les sources d'informations.

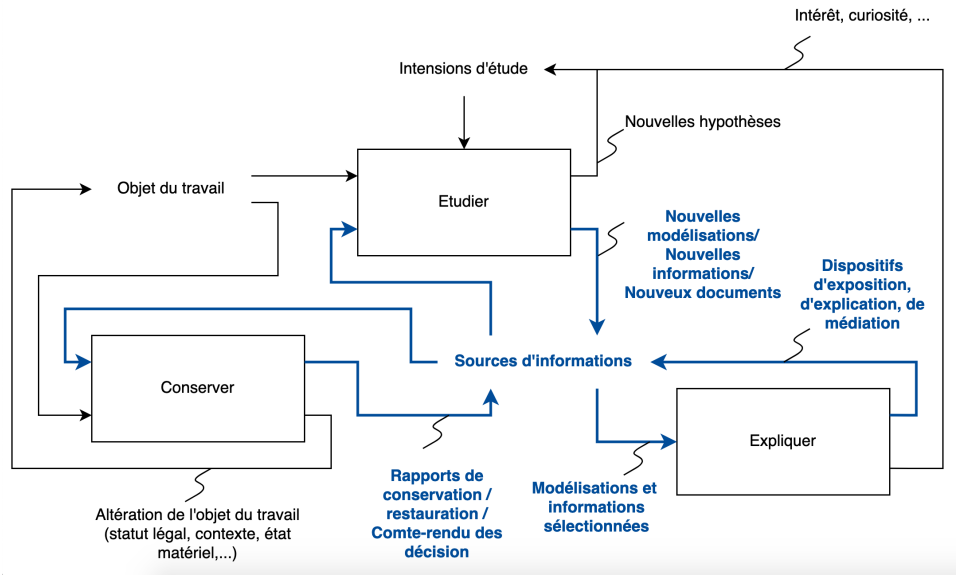


Figure 3.5 – Actigramme générique des activités patrimoniale

Modéliser, expliciter Les labels et les textes règlementaires explicitent les conditions d'*affordance* patrimoniale du label. En revanche, pour aboutir à la décision, l'évaluation a besoin de l'explicitation de l'adéquation du bien avec le label. C'est à dire qu'il reste à expliciter les éléments du bien qui réalisent, qui justifient de la reconnaissance. L'évaluation porte sur des éléments identifiés, mis en contexte, dont il faut pondérer l'importance, en un mot qu'il faut modéliser. La reconnaissance existe après l'évaluation de cette modélisation constitutive de l'identité patrimoniale du bien. Le *Compendium du Patrimoine Mondial*[5] appelle ces éléments identifiés, mis en relation, des « attributs [porteurs] des valeurs des biens ».

Je ne m'attarderai pas à la notion d'identité, elle pourrait nous occuper un long moment. Je m'en remettrai à ce que Norbert Elias en dit en peu de mots. « L'identité n'est pas tant celle d'une substance que celle de la continuité des transformations conduisant d'un stade au suivant. Il s'agit d'une continuité remémorée.[Eli14] ».

Cette opération consiste en une réification des valeurs et produit une liste d'attributs qui ouvre la porte à une approche davantage quan-

5. https ://whc.unesco.org/fr/compendium/

titative. Le terme de quantitatif est sans doute ici exagéré, reste qu'un premier pas dans la direction de la quantification est accompli : sans que le décompte effectif soit nécessairement opéré ou opérable, les éléments nécessairement présents sont explicites, et pour certains on dispose même d'indications globales quant à leur intensivité ou leur extensivité. Une fois traduits en éléments définis, qu'ils soient matériels et immatériels, les résultats de l'étude des biens sont davantage explicites, et répétables, comparables ou cohérents avec les précédents.

Le besoin du passage par l'exemple apparaît pour éclairer mon propos par trop abstrait. Je choisis ici un exemple d'explicitation du patrimoine naturel, simplifiant l'illustration. Voici un extrait de la décision 32COM 8B.6, relative au Parc national du mont Sanqingshan en Chine, qui nous montre cette pratique de réification, courante dans l'évaluation des biens dans le cadre conceptuel de l'UNESCO et du Patrimoine Mondial :

Les remarquables formations rocheuses granitiques du mont Sanqingshan, associées à des forêts diverses, à des panoramas distants et rapprochés et à des effets météorologiques étonnants créent un paysage d'une qualité esthétique exceptionnelle.
L'aspect le plus remarquable est la concentration de colonnes et de pics aux formes fantastiques. La beauté naturelle du mont Sanqingshan provient aussi de la juxtaposition de ses formations granitiques avec la végétation de montagne, le tout dans des conditions météorologiques qui créent un paysage mouvant à couper le souffle. L'accès par des chemins suspendus permet aux visiteurs du parc d'apprécier le paysage extraordinaire du parc et de profiter de son atmosphère sereine.

Dans ce court extrait, j'ai surligné en jaune les valeurs et en bleu, les attributs. À nouveau, l'inventaire n'est pas nécessairement réalisé de manière exhaustive, mais les types d'éléments porteurs des valeurs sont explicités.

> **Proposition pour l'outil 3**
> L'outillage informatique doit permettre l'explicitation, l'identification et la sélection d'éléments de niveaux structurel, conceptuel, hiérarchique, etc. différents. Il doit pouvoir faire faire référence aux attributs et aux valeurs.

La figure 3.6 montre schématiquement le processus de réification des valeurs en attributs. L'étude attentive des attributs se substitue alors à l'étude des valeurs. Ce recours aux attributs, réducteur permet de modéliser

- ce bien particulier en comparaison d'autres biens de patrimoine,
- un état particulier du bien en comparaison d'autres états passés documentés.

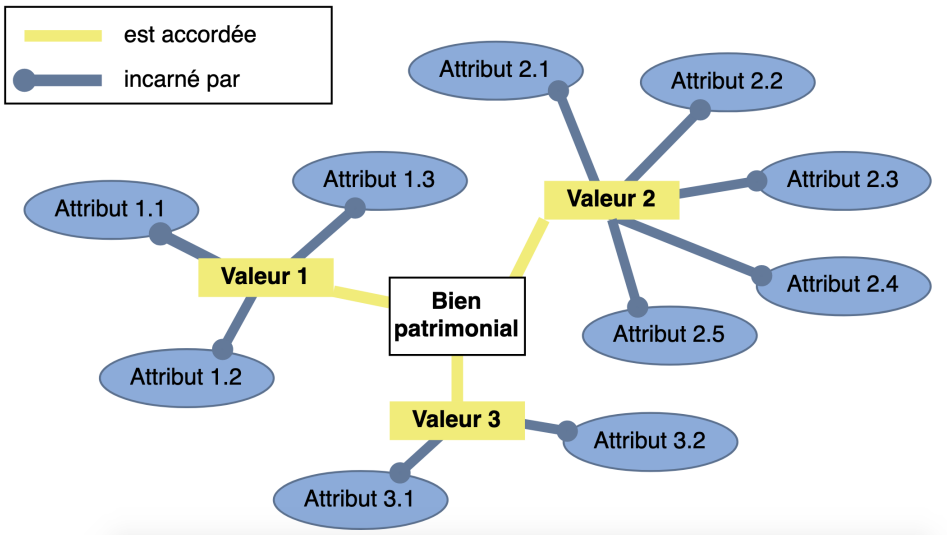


Figure 3.6 – Décomposition d'un bien en Valeurs et Attributs

La description du bien au travers du couple *valeurs—attributs* relève de choix et réduisent en concrétisant. Les valeurs reconnues dépendent du type de label patrimonial visé, de la connaissance et de la compréhension que l'on a du bien. La figure reprend ces étapes.

Mais la modélisation permettant de comprendre le bien n'engage en rien une décision patrimoniale. Celle-ci est rendue par une commission dédiée à l'issue de l'évaluation du bien et de son explication.

Décision issue de l'évaluation, basée sur la documentation

Regardons de façon différenciée la place de l'évaluation dans les activités patrimoniales, après avoir regardé le rôle de la documentation.

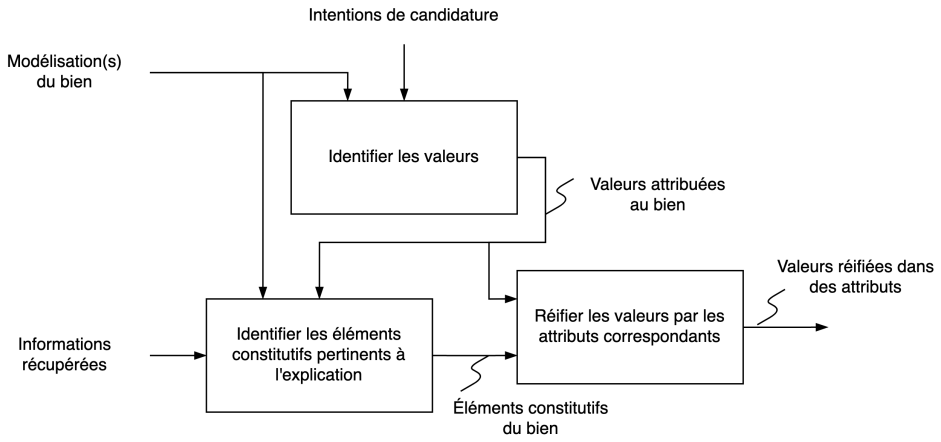


Figure 3.7 – Actigamme de l'attribution des valeurs par réification

L'évaluation et documentation Dans l'absolu, on pourrait reconnaitre différentes valeurs, même contradictoires, à un même bien en fonction des intentions de candidature ou de modélisation que l'on suit. L'évaluation a alors le rôle de remettre en question l'explication pour en tester la solidité. On retrouve ici la distinction de Jacques Ellul entre *vérité* et *réalité* [Ell14]. La modélisation produit un cadre de vérité qu'il est nécessaire de confronter autant que possible à la réalité pour en mesurer la conformité. *A priori*, toutes les modélisations sont légitimes, mais la validité que leur attribuera l'instance d'évaluation de décision dépend de leur conformité attestée face à la réalité.

Cependant, la commission en charge de l'évaluation peut n'avoir jamais l'expérience directe du bien, n'avoir jamais visité le site ou n'avoir jamais eu un accès direct à l'objet. Le rapport indirect au bien se traduit aussi dans toute tentative d'en attester l'importance historique. Ces enjeux habituels pour l'archéologue et l'historien se résolvent dans le recours à la documentation. Témoin-durable de l'évanescent, comme témoin-relai de l'immobile, guide au travers des échelles, les documents sont utilisés pour se substituer aux attributs du bien dont on n'aurait pas l'accès direct. Ils servent de description à distance, ils permettent la comparaison entre deux objets éloignés, ils peuvent être à la fois la synthèse des informations compilées et les sources dont ils sont issus.

La substitution des valeurs par les attributs revient à réifier, on identifie alors ce qui incarne au mieux les valeurs. Le processus de substitution

des attributs par la documentation relève en revanche plutôt de l'objectivation. C'est à dire qu'on ne procède pas à une sélection *a priori*. Tous les documents décrivant les attributs s'agrègent pour produire l'image la plus nette possible. Et seule la remise en question de la véracité ou de l'intégrité documentaire produit une forme de sélection.

La figure 3.8 étend la figure 3.7 et déploie le processus pour relier le bien patrimonial, les valeurs, les attributs et la documentation.

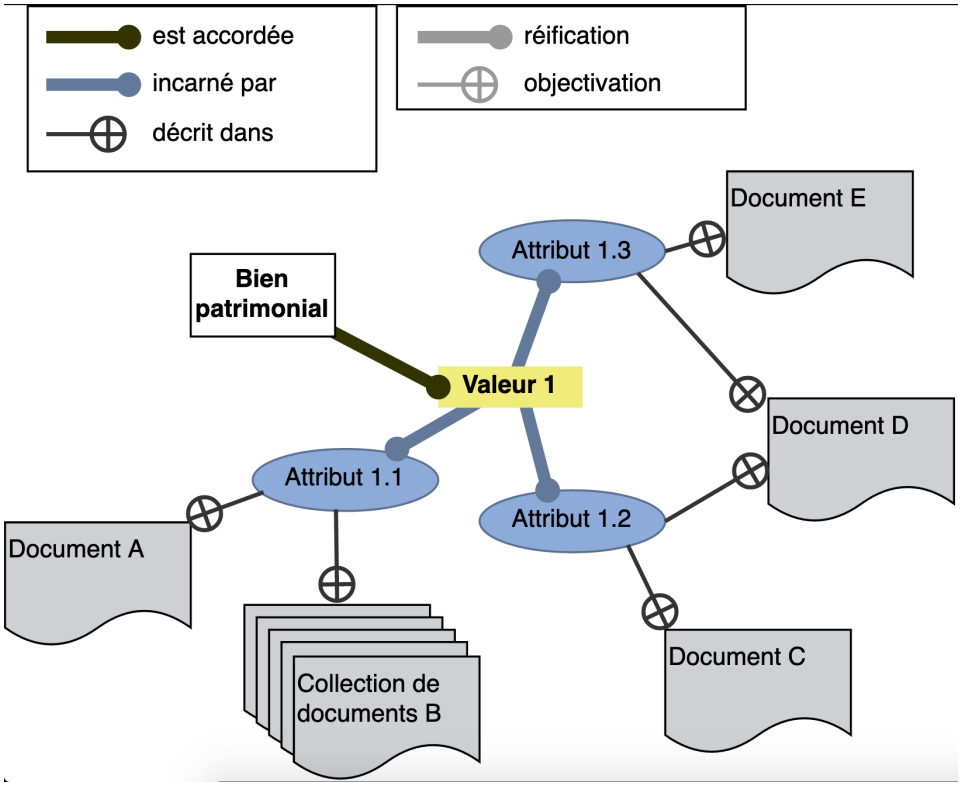


Figure 3.8 – Les relais de la démonstration patrimoniale : du bien à la documentation

De même, 3.9 étend l'actigramme de la figure 3.7. Progressivement, se constitue le détail de l'activité A2 : Modéliser le bien de notre figure 2.2 du chapitre précédent.

D'une part, par cette succession réification/objectivation, la construction de la démonstration de l'expression des valeurs recherchées relève bien de la modélisation au sens de Bruno Vallespir [VCD05] : **une**

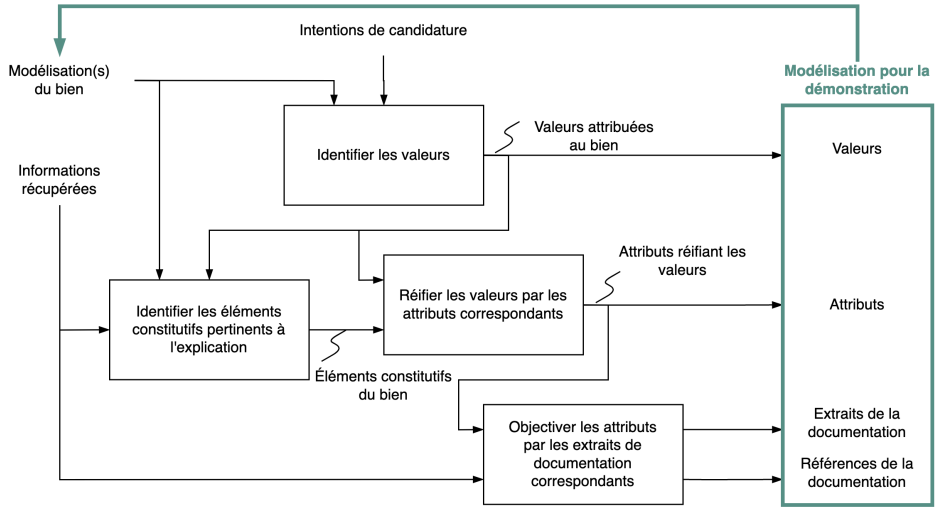


Figure 3.9 – Actigamme de l'attribution des valeurs par réification

construction qui répond à une question ou un but initial. Il n'est pas le seul à attester de cette dimension intentionnelle et « sur-mesure » de la modélisation, validité en dehors du cadre du travail, sans aucune garantie que sa cohérence ne soit conservée en dehors de ce cadre. Je pense notamment aux travaux de Marvin Minsky et Franck Varenne [Min65, Var08]. Dans une perspective plus large encore, Gaston Bachelard l'annonce dans *La formation de l'esprit scientifique* : « Pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir connaissance scientifique. Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit. » . Et de même dans le cadre de modélisations abstraites, Ludwig Wittgenstein, Rudolf Carnal et Alfred Tarski [Tar72] explorent eux aussi les limites de modélisations (mathématiques et logiques) et des cadres de vérité et de sens qui les entourent. Mais nous frôlons alors la fin des questionnements sur la modélisation pour arriver aux théories des langages qui dépassent largement mon propos.

D'autre part, la validité de cette modélisation repose sur le crédit donné à la documentation. C'est à dire qu'elle repose sur l'intégrité documentaire au sens de Bruno Bachimont [Bac00], dans la préservation de la forme, du contenu et de notre capacité à accéder à la forme et au fond. Un outil informatique, pour montrer son utilité dans notre capacité à établir cette intégrité documentaire, ne pourra pas faire l'économie de la supervision de la documentation et toutes ses transformations

successives dans la modélisation.

De plus, Sylvain LAUBé pose des conditions pour une bonne gestion des documents numériques pour les travaux en histoire des techniques [Lau09] :

- l'explicitation de la méthode de modélisation,
- la publication des sources
- la critique des sources

> **Proposition pour l'outil 4**
> Pour conserver la cohérence (et le sens) de la modélisation, l'outillage informatique doit enregistrer les informations contextuelles (intentions de modélisation, sources d'informations disponibles) au fur et à mesure du travail de modélisation.

> **Proposition pour l'outil 5**
> L'outillage informatique doit permettre l'analyse critique de l'intégrité documentaire, et de l'intégrité de l'information, depuis les documents vers les modélisations produites.

L'évaluation, activité ponctuelle Si la démonstration est convaincante, si l'évaluation confirme les valeurs mises en lumière par la modélisation, le bien accède à une reconnaissance patrimoniale officielle. Alors que les biens sont soumis aux activités d'étude, d'explication et de modification en continu, l'évaluation et la décision sont déclenchées seulement ponctuellement en réponse à une candidature patrimoniale ou à un problème de modification du bien incompatible avec le statut acquis.

La décision, l'obtention d'un label, ravive l'activité des fonctions dont nous parlions plus tôt. L'évaluation pour sa part s'inscrit dans l'intrication des trois activités précédentes pour les mettre en ordre, pour produire un fonctionnement cyclique temporaire. Le processus que reprend la figure 3.10, se lit dans les deux cas : la décision de reconnaissance du bien en tant que patrimoine et la décision inverse, le retrait du statut patrimonial.

Dans le premier cas, l'intention de candidature produit l'étude et l'explication, qui mènent à l'évaluation, puis, potentiellement, à la modification du statut patrimonial. À chaque changement d'activité des informations sont transmises, remises en question et critiquées par l'activité suivante.

Dans le second cas, la modification est à l'initiative. Risquant d'endommager l'*affordance* du bien, l'étude cherche à établir l'impact du changement, que l'explication présente. Enfin, la décision clôt la boucle en entrainant, ou non, le retrait de statut patrimonial.

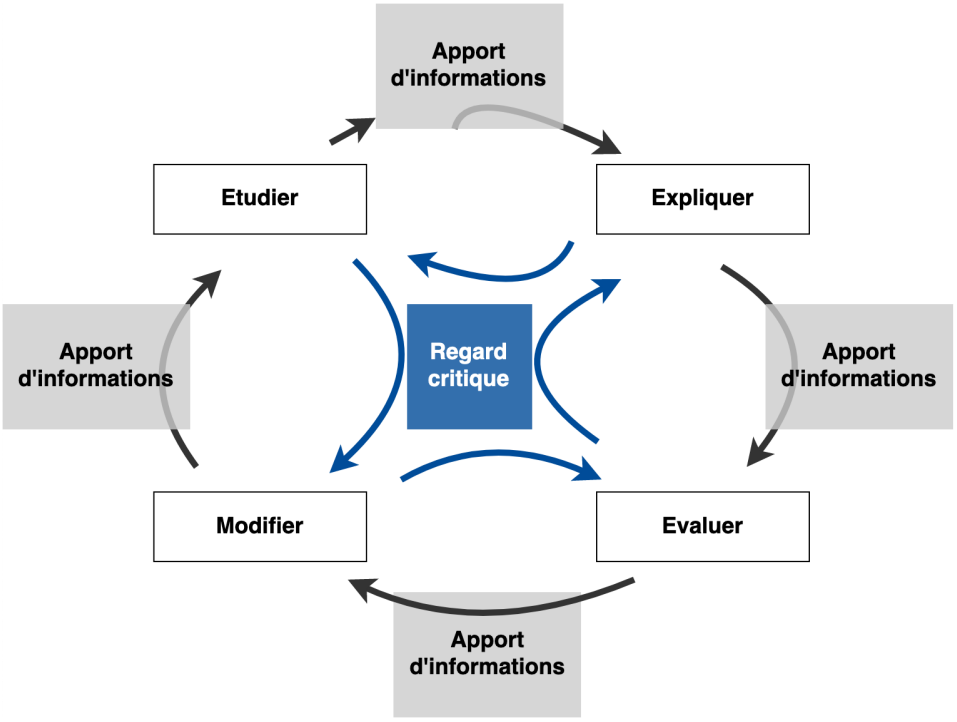


Figure 3.10 – Interaction entre quatre types d'activités patrimoniales

3.3 Désintégrer le patrimoine et les catégories de patrimoine ?

Ce paragraphe est l'occasion de questionner le cadre méthodologique d'évaluation du patrimoine. Je ne me concentre ici que sur les pratiques

du Patrimoine Mondial, pour plusieurs raisons. C'est la méthodologie la plus aboutie visant à établir une *Valeur Universelle Exceptionnelle*. C'est également la méthode la plus discutée, tant au sein de l'UNESCO, (par Christina Cameron, par exemple [Cam05]), qu'en dehors (par exemple par Alain Chenevez et Nanta Novello Paglianti [CP15]).

Les travaux patrimoniaux se structurent autour de méthodologies opératoires et les pratiques de l'UNESCO font référence en ce sens. Cependant, l'inclusion de la modification du patrimoine comme l'une des activités clés du patrimoine entre en conflit avec l'approche classique, bien que cette dernière subisse soit sujette à questionnements, de façon progressive depuis quelques années. L'analyse mène à proposer de considérer l'intégrité et l'authenticité patrimoniales, mais également les catégories de patrimoines, de façon dynamique. Autrement dit, je me range à la proposition de remplacer l'étude de l'intégrité et de l'authenticité par l'étude de la connaissance de l'intégrité et de l'authenticité.

En ce sens, le titre de ce paragraphe tient davantage du jeu de mot [6] que de l'incitation à la dégradation matérielle.

3.3.1 Les critères d'évaluation UNESCO

Les évaluations du Patrimoine Mondial se sont dotées d'un niveau supplémentaire dans l'outillage de l'étude, la notion de *critère* s'ajoute aux valeurs et attributs. Si les valeurs orientent l'analyse en diverses directions, et que les attributs incarnent les valeurs, les critères sont des indices pour l'évaluation. Lorsque l'étude des valeurs au travers des attributs conclut raisonnablement que le bien relève au moins d'un des critères, alors l'issue de l'évaluation est positive, le bien pourra être inscrit sur la *Liste du Patrimoine Mondial*. On trouve des critères pour les biens naturels et les biens culturels. Lorsque les biens relèvent de plusieurs critères, ils pourront être considérés comme mixte. Les critères sont les suivants :

Les critères « culturels »

Les biens doivent

(i) représenter un chef-d'œuvre du génie créateur humain ;

(ii) témoigner d'un échange d'influences considérable pendant une période donnée ou dans une aire culturelle déterminée, sur le dé-

6. Jeu de mot que je dois à Alain Michel

veloppement de l'architecture ou de la technologie, des arts monumentaux, de la planification des villes ou de la création de paysages ;

(iii) apporter un témoignage unique ou du moins exceptionnel sur une tradition culturelle ou une civilisation vivante ou disparue ;

(iv) offrir un exemple éminent d'un type de construction ou d'ensemble architectural ou technologique ou de paysage illustrant une ou des périodes significative(s) de l'histoire humaine ;

(v) être un exemple éminent d'établissement humain traditionnel, de l'utilisation traditionnelle du territoire ou de la mer, qui soit représentatif d'une culture (ou de cultures), ou de l'interaction humaine avec l'environnement, spécialement quand celui-ci est devenu vulnérable sous l'impact d'une mutation irréversible ;

(vi) être directement ou matériellement associé à des événements ou des traditions vivantes, des idées, des croyances ou des œuvres artistiques et littéraires ayant une signification universelle exceptionnelle (Le Comité considère que ce critère doit préférablement être utilisé en conjonction avec d'autres critères) ;

Les critères « naturels »
Les biens doivent :

(vii) représenter des phénomènes naturels ou des aires d'une beauté naturelle et d'une importance esthétique exceptionnelles ;

(viii) être des exemples éminemment représentatifs des grands stades de l'histoire de la terre, y compris le témoignage de la vie, de processus géologiques en cours dans le développement des formes terrestres ou d'éléments géomorphiques ou physiographiques ayant une grande signification ;

(ix) être des exemples éminemment représentatifs de processus écologiques et biologiques en cours dans l'évolution et le développement des écosystèmes et communautés de plantes et d'animaux terrestres, aquatiques, côtiers et marins ;

(x) contenir les habitats naturels les plus représentatifs et les plus importants pour la conservation in situ de la diversité biologique, y compris ceux où survivent des espèces menacées ayant une valeur universelle exceptionnelle du point de vue de la science ou de la conservation.

Les dimensions de l' « exceptionnel » : analyser les attributs au travers d'une grille

Les critères donnent des lignes directrices, mais pas de modèle explicite. Qu'est-ce qu'un chef d'œuvre du génie créateur humain ? Qu'est-ce qui fait la beauté exceptionnelle d'une aire géographique ? L'étude de la *Valeur Universelle Exceptionnelle* (VUE), qui légitime l'inscription sur la liste du patrimoine mondial passe par l'analyse des attributs, individuellement et rassemblés en ensembles selon quatre dimensions :

Unicité On cherche alors à identifier si le bien est le seul dans son genre, dans son ampleur, dans son importance. Et, de façon complémentaire ce qui le rend unique.

Typicité On cherche ici à identifier en quoi il se rapproche d'un type particulier, d'un style, d'une époque, d'une aire géographique, d'un équilibre particulier dont il serait le témoin, et un témoin particulièrement représentatif.

Intégrité Dimension majeure de l'analyse, l'étude d'intégrité cherche à montrer en quoi le bien est conforme à lui même. En quoi le bien est-il conservé dans un état suffisamment proche de son dernier état d'étude ou d'un état de référence ? L'intégrité se décompose en plusieurs niveaux, articulant la présence et l'identification des éléments, de leurs relations et l'activité effective de ces relations entre éléments.

Authenticité Autre dimension chronologique, l'étude de l'authenticité questionne la continuité des usages humains. Quelle place d'usage et quelle place symbolique le bien a-t-il conservé à travers le temps ? Quelle *transmission* de l'usage ou de sa place symbolique aura persisté dans le temps ?

Les dimensions d'authenticité et d'intégrité sont sujettes à confusion, certaines institutions nationales ayant recours à ces termes de façon différenciée de l'acception de l'UNESCO. L'approche que je présente ici est issue des travaux de Herb Stovel [Sto07] ainsi que des *Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage* (Principes opérationnels pour l'implémentation du Patrimoine Mondial), [Une99] ainsi qu'aux échanges avec et aux travaux de Michel Cotte (comme [CJQ+19]).

Cette grille de lecture permet une étude *dans l'absolu* du bien, qui se voit systématiquement complétée par une étude comparative. Le bien doit présenter des qualités inhérentes, mais doit également se distinguer face aux autres biens de patrimoine auxquels on pourrait le rapprocher.

Intégrité et authenticité

Le patrimoine peut changer de statut pour de nombreuses raisons. La vallée de l'Elbe et la ville de Dresde en Allemagne, par exemple, fut inscrite puis retirée de la Liste du Patrimoine Mondial [AD09], [dpm09]. Dans ce cas particulier, la construction du pont de Waldschlösschen, décongestionnant le trafic automobile de la ville fut considérée comme un changement mettant « portant irrémédiablement atteinte aux valeurs et à l'intégrité du bien du patrimoine mondial [...]. »

La notion d'intégrité étudie principalement l'évolution du bien dans le temps, en tous cas son évolution physique. L'authenticité porte elle aussi une part de l'évolution, celle des usages et des représentations que nous entretenons avec le bien. L'étude d'authenticité passe au crible les usages du bien dans le temps en regard des usages actuels. Ces deux notions interagissent l'une avec l'autre. Un nouvel usage peut engendrer des modifications physiques du bien et inversement. Le questionnement sur l'authenticité entraine alors également un questionnement sur l'intégrité.

Étudier l'intégrité revient à comparer des moments : un état physique, matériel du bien sert de référence pour estimer la complétude ou la part d'évolution. Depuis la réunion internationale d'experts sur l'intégrité du patrimoine culturel qui s'est tenue à Al Ain, aux Émirats Arabes Unis les 12, 13 et 14 mars 2012, on distingue 3 niveaux dans cette estimation de l'intégrité [Une12] :

Intégrité de composition On cherche à répondre à la question : Quels éléments existent ou si inexistant restent identifiables ?

Intégrité de structure, de relations et l'intégrité visuelle On cherche ici à répondre à la question : Quelles relations entre les éléments existent ou si inexistantes restent identifiables ? Autrement dit : Dans quelle mesure peut-on dégager une structure des éléments rassemblés par le bien ? Ou encore autrement dit : Dans quelle mesure peut-on comprendre le bien visuellement ?

Intégrité fonctionnelle On cherche ici à répondre à la question : Le bien est-il toujours fonctionnel, opérationnel ?

Dans les cas usuels de patrimoine « classique », les réponses à ces questions permettent d'évaluer l'intégrité efficacement. Par exemple, la charpente de la cathédrale de Reims a été remplacée par une charpente en béton armé. C'est un problème d'intégrité à peser.

1. Du point de vue de l'intégrité de composition, la charpente remplacée pose problème, indubitablement. Par rapport à l'état de réfé-

rence passé où la charpente était en bois, et datait du 15^{e} siècle, le changement est significatif.

2. L'intégrité visuelle a été très peu modifiée du fait du changement de charpente. La nouvelle charpente, en effet s'ajuste à la maçonnerie. Elle a même été pensée pour être montée comme une charpente en bois. Depuis l'intérieur de la cathédrale, peu de changement et depuis l'extérieur de la cathédrale, peut de changement
3. Du point de vue de l'intégrité fonctionnelle, là aussi très peu de changement : la nouvelle charpente remplit son rôle et permet aux charges de se répartir sur la structure et les soutènements.

Le choix de la charpente en poutres normalisées en béton armé assure une plus grande durabilité aux autres éléments constructifs, suite au bombardement de la cathédrale en 1914. Fragilisée, elle n'aurait probablement pas soutenu la charge d'une charpente en chêne. Le choix du changement dans l'intégrité de la charpente a été dirigé par l'intention de conserver dans le temps l'intégrité du bâtiment.

L'état de référence de charpente pour la cathédrale était assez facile à identifier : depuis sa construction, la charpente n'avait pas été modifiée. On compare la nouvelle charpente avec l'ancienne version. L'étude de l'intégrité est ici efficace.

Certains objets, cependant par leurs usages ou par leur nature changent beaucoup plus rapidement dans le temps. C'est le cas notamment du patrimoine technique et scientifique, ou encore du patrimoine industriel.

Quelle intégrité pour le patrimoine scientifique et technique ?

La temporalité des objets de patrimoine scientifique et technique peut varier. Catherine Cuenca la décrit comme suivant les évolutions des sciences et des techniques à leur rythme [Cue10]. Augmentant encore la complexité, les objets de patrimoine scientifique sont conçus en visant une utilité bien spécifique. Ils sont produits par des processus de concrétisation au sens de Gilbert Simondon [Sim58]. La concrétisation c'est l'adjonction de plusieurs fonctions complémentaires en vue de la réalisation d'une fonctionnalité désirée. Les fonctions complémentaires sont parfois atteintes involontairement. En améliorant le rendement ou l'efficacité de l'objet technique, elles le rendent supérieur aux autres objets cherchant à réaliser la fonctionnalité désirée. C'est ainsi que les objets techniques apparaissent, sont caractérisés par des générations successives cherchant la plus grande efficacité, et se voient supplantés

dans l'usage par d'autres objets techniques présentant un plus grand niveau de concrétisation.

L'amélioration incrémentielle de la réalisation de certaines fonctionnalités rend l'objet technique par nature inscrit dans un rapport de *pertinence* à l'usage. En effet, tant dans la recherche de la connaissance par la science que dans la recherche productiviste par l'industrie, les processus de concrétisation progressive des objets rend obsolète leurs versions précédentes. L'objet technique le plus concrétisé présente une sorte d'avantage concurrentiel, permet la réalisation d'expériences plus poussées, plus précises, plus répétables,... ou bien la réalisation d'opérations plus rapides, plus précises, à moindre coût, de meilleure qualité,... Ces changements de générations d'objets se traduisent dans des objets techniques successifs, mais également des objets techniques améliorés de façon incrémentielle.

La dynamique de l'étude devient également plus complexe par les effets de la maintenance, inévitable pour les objets techniques. En utilisant l'objet technique, le scientifique, l'artisan, l'artiste ou l'industriel use, oxyde, abime, fatigue. Depuis la scie à bois au télescope spatial, l'efficacité des objets techniques ne dure qu'un temps limité. Passé ce temps, seules des modifications pourront restaurer l'efficacité de l'objet. On avoyera la lame de la scie pour lui rendre son tranchant, et peut-être même un jour, la lame sera-t-elle remplacée par une autre. Le télescope spatial Hubble, par exemple a connu 5 opérations de maintenance depuis son lancement en 1993 et sa fin d'activité est prévue pour 2021 (à cause de la dérive en précision de certains de ses instruments). L'expérience du bateau de Thésée que nous propose Plutarque, dans la *Vie des hommes illustres* résume bien le paradoxe identitaire par lequel ces modifications constantes des objets tout à la fois renforcent et affaiblissent leur identité :

> Le navire à trente rames sur lequel Thésée s'était embarqué avec les jeunes enfants, et qui le ramena heureusement à Athènes, fut conservé par les Athéniens jusqu'au temps de Démétrius de Phalère. Ils en ôtaient les pièces de bois, à mesure qu'elles vieillissaient, et ils les remplaçaient par des pièces neuves, solidement enchâssées. Aussi les philosophes, dans leurs disputes sur la nature des choses qui s'augmentent, citent-ils ce navire comme un exemple de doute, et soutiennent-ils, les uns qu'il reste le même, les autres qu'il ne reste pas le même.

Plutarque, *Vies des hommes illustres*

Sur cette base Hobbes rebondit dans *De corpore* pour poser la question extrême suivante : si l'on avait gardé toutes les planches du bateau qui avaient été remplacées et qu'avec elles, on en avait reconstruit un autre, lequel serait le vrai bateau de Thésée ?

Cette question de la persistance de l'identité au travers des altérations perdure dans le temps, irrésolue. Elle a d'ailleurs connu plusieurs déclinaisons, par différents auteurs. En 1779, par exemple, une pièce de théâtre de Dorvigny, *Les battus paient l'amende* la réinterprète autrement :

> [...] Mais c'est égal, je vous en donnerai un autre, un véritable couteau de Langue [Langres], tout ce qu'il y a de plus meilleur ; vous n'en verrez pas la fin de celui-là. Il m'a déjà usé deux manches et trois lames, c'est toujours le même ! [...]

Ou encore bien plus récemment, dans la série télévisée britannique, un personnage de balayeur de rue annonce avec fierté, dans un passage connu sous le nom de *Triger's broom* :

> *I've maintained it for twenty years. This old broom has had 17 new heads and 14 new handles.* Depuis vingt ans je l'entretiens. Ce vieux balai a connu 17 nouvelles têtes et 14 nouveaux manches

Quoi de plus simple comme objet, en effet qu'un balai ou qu'un couteau ? Et que reste-t-il du balai original lorsqu'on lui a changé 17 fois la tête et 14 fois le manche ?

Dans notre perspective d'étude patrimoniale des objets en changement, la question de l'identité est centrale, mais même à supposer qu'elle soit partiellement réglée par l'étude de l'authenticité, l'étude de l'intégrité s'y trouve pour autant prise au piège.

Quel état de référence choisir pour ces objets, par nature changeants, intégrant des innovations ou des remplacements de pièces à l'identique ? Comment approcher l'intégrité d'un site industriel qui aura pu évoluer de façon significative durant son demi-siècle d'activité ? Comment les comparer entre eux sur cette question d'intégrité ?

Je me rallie ici à la position développée par Michel Cotte et notamment publiée dans [CJQ+19], c'est à dire procéder à l'étude de l'intégrité à partir de plusieurs états de référence pour retracer le changement du bien au complet, et non se restreindre à une simple comparaison.

L'étude de l'intégrité perd son sens pour un bien toujours en changement (même si ce changement est minimal). Loin de désintégrer les biens patrimoniaux cette approche décale l'étude d'un rang : l'étude de

l'intégrité devient l'étude de la connaissance des différents états successifs et de l'intégrité de la connaissance de ces états. S'y retrouvent alors intégrés l'étude des modifications et de leurs causes. Le patrimoine scientifique, technique et industriel tient d'abord dans la persistance de l'usage et de la connaissance. IOr, il se trouve que conserver, entretenir, voire améliorer l'objet permet cette persistance d'usage.

Cette caractéristique des patrimoines industriels et scientifiques les distingue très nettement des patrimoines « classiques ». Ils s'autoentretiennent (moyennant l'intégration de modifications, améliorations, changements) tant qu'ils ont un usage. Dès que l'usage disparait, les objets sont abandonnés et leur conservation dans leur dernier état connu commence. Mais que devient un tel objet, s'il est conservé sans usage, et peut-être sans la connaissance pour retrouver l'usage ?

De plus, je me demande dans quelle mesure d'autres dimensions d'analyse, comme la recherche de la *valence* de Bonnot [Bon14]) ne pourraient-il pas compléter la palette d'outils de façon opérationnelle pour soutenir les processus de décision.

> **Proposition pour l'outil 6**
> L'outil informatique doit pouvoir enregistrer les justifications des changements subis par les biens patrimoniaux pour constituer la connaissance d'une intégrité dynamique. Il doit aussi pouvoir produire des documents présentant l'état des biens patrimoniaux dans des configurations de différents moments. Peut-être pourrait-il également proposer un soutien à leur comparaison ?

3.3.2 La tendance vers l'immatériel

Étudier les attributs au regard de contextes plus larges (dépendant des valeurs concernées) c'est précisément considérer les dimensions immatérielles des biens patrimoniaux. On pourrait pousser jusqu'à ne considérer que ces dernières dimensions et chercher à étudier des biens sans matérialité évidente. C'est ce qu'a autorisé l'UNESCO en octobre 2003, en adoptant la *Convention pour la sauvegarde du patrimoine culturel immatériel*[NKA13].

La *Convention pour la sauvegarde du patrimoine culturel immatériel* définit le Patrimoine Culturel Immateriel (PCI) dans son Article 2 dans les termes suivants :

1. On entend par "patrimoine culturel immatériel" les pratiques, représentations, expressions, connaissances et savoir-faire - ainsi que les instruments, objets, artefacts et espaces culturels qui leur sont associés - que les communautés, les groupes et, le cas échéant, les individus reconnaissent comme faisant partie de leur patrimoine culturel. Ce patrimoine culturel immatériel, transmis de génération en génération, est recréé en permanence par les communautés et groupes en fonction de leur milieu, de leur interaction avec la nature et de leur histoire, et leur procure un sentiment d'identité et de continuité, contribuant ainsi à promouvoir le respect de la diversité culturelle et la créativité humaine. Aux fins de la présente Convention, seul sera pris en considération le patrimoine culturel immatériel conforme 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.
2. Le "patrimoine culturel immatériel", tel qu'il est défini au paragraphe 1 ci-dessus, se manifeste notamment dans les domaines suivants :
   (a) les traditions et expressions orales, y compris la langue comme vecteur du patrimoine culturel immatériel;
   (b) les arts du spectacle;
   (c) les pratiques sociales, rituels et événements festifs;
   (d) les connaissances et pratiques concernant la nature et l'univers;
   (e) les savoir-faire liés à l'artisanat traditionnel.

L'UNESCO et sa convention sur le Patrimoine Culturel Immatériel s'inscrit dans une vague plus globale d'institutions patrimoniales explicitant formellement l'importance du Patrimoine Culturel Immatériel pour établir une image complète de la complexité des patrimoines. Par exemple, en 2003 également, en juillet, TICCIH (*The International Committee for the Conservation of Industrial Heritage* – Conseil international pour la préservation du patrimoine industriel) décrit le patrimoine industriel de la façon suivante, en 2003 dans sa charte dite de Nizhny Tagil. Le passage en gras est de notre fait.

> Le patrimoine industriel comprend les sites, les constructions, les complexes, les territoires et les paysages ainsi que les équi-

> pements, les objets ou les documents qui témoignent des procédés industriels anciens ou courants de production par l'extraction et la transformation des matières premières ainsi que des infrastructures énergétiques ou de transport qui y sont associées. Il exprime une relation étroite entre l'environnement culturel et naturel puisque les procédés industriels anciens ou modernes dépendent de ressources naturelles, d'énergie et de voies de communication pour produire et distribuer des biens sur les marchés. **Ce patrimoine comporte des dimensions immatérielles comme les savoir-faire techniques, l'organisation du travail et des travailleurs ou un héritage complexe de pratiques sociales et culturelles résultant de l'influence de l'industrie sur la vie des communautés et sur la mutation des sociétés et du monde en général**.

Le ministère de la Culture en France lance ses campagnes d'inventaire national du Patrimoine culturel immatériel en 2008 (suite à la ratification de la *Convention pour la sauvegarde du patrimoine culturel immatériel* de l'UNESCO par la France en 2006) ; il fait aussi en 2011 de la *Maison des Cultures du Monde* à Vitré le *Centre français du Patrimoine culturel immatériel*.

Plusieurs facteurs ont produit cette tendance, mais elle a en partie été plus directement déclenchée par la proposition japonaise d'inscrire le site de Hôryû-ji (près de Nara) [Bru13] . Ce site comprend des temples initialement érigés aux VII^{e} et VIII^{e} siècles (ce qui les range parmi les plus anciens bâtiments en bois du monde) ont connu des campagnes de restaurations, voire de reconstruction aux XVIII^{e}, XIX^{e} et XX^{e} siècles. La question de leur intégrité et de leur authenticité a vite été pointée du doigt par des experts européens, mettant en lumière une divergence culturelle d'appréhension du patrimoine entre certains experts européens et certains experts asiatiques. Cette divergence a abouti en 1994 à la publication du « document de Nara sur l'authenticité », qui porte en germe les discussions sur le patrimoine culturel immatériel.

François Hartog interprète cette tendance à considérer d'avantage le patrimoine immatériel à une montée de ce qu'il appel un « patrimoine2 » [Har18], qu'il définit, en reprenant l'ouvrage collectif sous la direction de Daniel Fabre [Fab13], comme : « sentiment démocratique du passé » . Ce « patrimoine2 » nait en conséquence d'une tendance au *présentisme* qui instrumentalise patrimoine, mémoire et commémoration pour les relier à la notion d'identité, excluant l'historien, faisant la part belle à l'émotion et au spectaculaire.

Je ne rejoins pas entièrement cette vision, qui met beaucoup d'emphase sur la dérive *présentiste* du patrimoine. Il me semble au contraire que cette tendance au patrimoine immatériel rend une place plus grande à l'historien, au détriment de l'antiquaire. Il me semble que la place grandissante du patrimoine immatériel replace le patrimoine matériel comme un attribut de l'étude d'un patrimoine immatériel considérant une perspective plus historisée, des articulations proches de l'histoire. On considère les biens matériels en série ou en groupe pour exprimer non plus l'exceptionnel d'un objet, mais celui d'une démarche, d'un mouvement dans le temps. Les schémas 3.11 3.12 présentent ce changement.

Reste que ce décalage vers l'immatériel, produit deux cas, ceux où le patrimoine matériel sera vu comme relégué au rang de nouvelle documentation et ces autres cas où les seuls biens matériels seront la documentation « traditionnelle ». Dans les deux cas, ce rapport grandissant à l'immatériel augmente encore l'importance de la documentation.

3.3.3 L'étude patrimoniale, une approche non standard

La modélisation souhaitée dans le cadre de l'étude patrimoniale de l'Observatoire du Pic du Midi vise un double objectif de compréhension :

Accéder pour générer Accéder à des informations de façon simultanée pour les *croiser*, pour créer des liens nouveaux, générer des hypothèses nouvelles, produire des informations qui n'étaient pas encore explicites.

Sélectionner pour présenter Sélectionner des informations spécifiques pour constituer un support de présentation, soutien à la narration patrimoniale et historique.

Ainsi donc, dans sa première utilisation, les moyens de modélisation servent comme *outil d'étude*. Collecter, créer, sélectionner des informations, les pondérer, les annoter, les comparer.

Modèle et modélisation sont des termes d'usage fréquents dans les sciences et les techniques à l'heure où j'écris ces lignes et questionnent depuis quelques décennies déjà, que ce soit Anne-Marie Drouin, à la fin des années 80, Gilles Willet à la fin des années 90, ou encore Franck Varenne à la fin de années 2000 [Dro88, Wil96, Var08]. Loi, théorie, paradigme, modèle, etc., synonymes pourtant distincts.

Ce constat de polysémie, nous l'avons fait en équipe, lors des premières réunions du projet ReSeed. Nous n'étions alors pas capable, dans l'équipe de nous entendre sur ces acceptions, entendions mal ce que cherchait l'autre à exprimer la plupart du temps. Les modèles et les maquettes

des architectes n'étaient ni les modèles ni les maquettes des ingénieurs ; l'incompréhension grandissait encore lorsque les professionnels du patrimoine entraient dans la discussion. Ce fut notre première rencontre collective avec les difficultés ontologiques et sémantiques, la question du langage s'est affirmé comme centrale aux enjeux de modélisation et d'interopérabilité.

Malgré ces écueils, nous avons su développer des ébauches de vocabulaire commun, pour préciser ce que nous voulions désigner ensemble. La question du langage, de la capacité à nommer les choses apparait centrale pour la modélisation et l'interopérabilité. Mais là encore espérer un vocabulaire statique et figé est illusoire. Reinhart Kosselleck dresse le constat d'évolution de la sémantique et pose les bases de la notion de sémantique historique, de sémantique des temps historiques[Kos90]. Considérer la sémantique dans une perspective historique, c'est affirmer l'évolution de la signification des termes dans le temps. Ce que Kosselleck affirme pour l'historien et l'étude de ses sources me semble indispensable à notre réflexion numérique.

La sémantique historique de Kosselleck se combine avec la place déterminante de la question ou de l'intention de modélisation initiale. Toute modélisation répond à une question et se structure par des termes dont la signification varie dans le temps. Tout au mieux, une structuration par des règles logiques permet de dépasser la limite sémantique.

L'interopérabilité des données et des modèles de données pourrait entrer en conflit avec le nécessaire ajustement du modèle au problème auquel il cherche à répondre, et son ré-ajustement au gré de l'amélioration de la compréhension du système modélisé. Alors que les injonctions à la réutilisation des données et à leur interopérabilité se multiplient [WDA+16] [Bra04] [Com16], il manque les solutions pratiques pour naviguer entre des modèles de données fixés pour permettre le calcul et la nécessaire souplesse conceptuelle humaine.

3.4 Synthèse

De ce panorama des pratiques et concepts patrimoniaux, je tire plusieurs propositions, guides pour la suite de ce travail. Avant tout le patrimoine se constitue dans des choix collectifs et individuels. Autrement dit, on ne peut pas penser les biens de patrimoine sans leur étude active, relayée d'une génération à l'autre. De même pour la décision, elle relève d'une activité humaine, c'est un choix de conscience. La place de l'histoire dans l'évaluation patrimoniale montre également que celle-ci se

fait en particulier en regardant la place des biens patrimoniaux dans les sociétés humaines au travers du temps.

D'autre part, le patrimoine auquel on attribue des valeurs se laisse modéliser par le truchement d'attributs, que l'on considère incarner, représenter les précédentes valeurs. L'explicitation des valeurs reconnues au bien, traduites en attributs, dont la documentation fait le témoignage, relève de pratiques de modélisation. L'explicitation permet la comparaison et la répétabilité de l'étude, au travers des évolutions inévitables au cours du temps. La modélisation met en jeu très largement la documentation existante ou produite pour l'occasion, née numérique ou numérisée. Chercher à accompagner la modélisation du patrimoine implique nécessairement d'encadrer l'intégrité documentaire, mise en jeu au gré de la succession des modélisations.

Les pratiques de modélisation et la documentation restent à observer de plus près pour nous construire une meilleure idée de *Comment*, nous pourrions accompagner la modélisation patrimoniale à l'interface des pratiques. En ce sens, prochain chapitre présente des pratiques de modélisation patrimoniale.

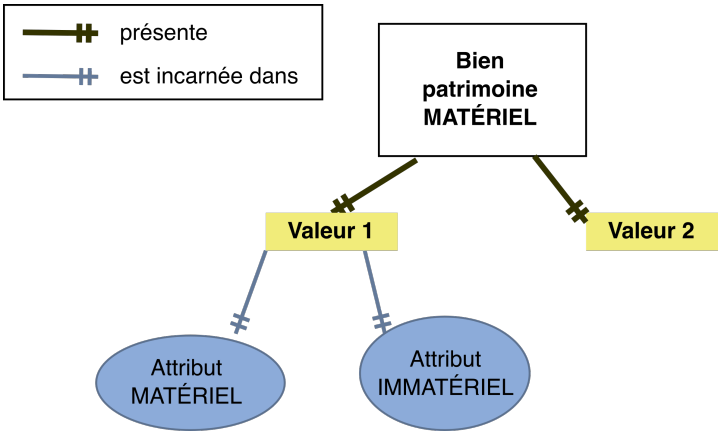


Figure 3.11 – Schéma présentant les étapes d'explicitation dans l'étude du patrimoine culturel matériel

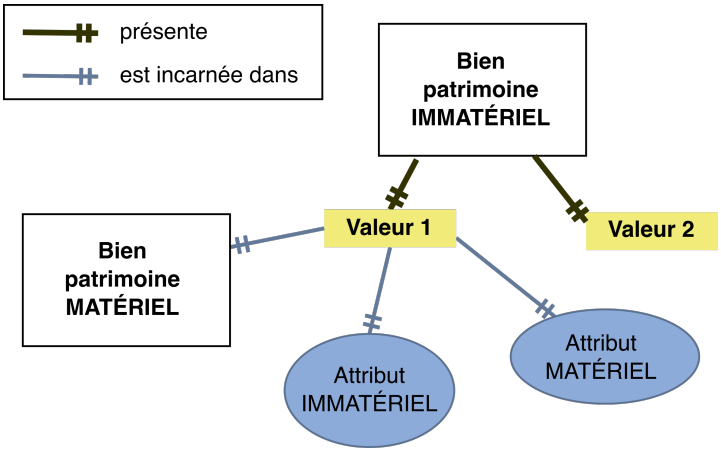


Figure 3.12 – Schéma présentant les étapes d'explicitation dans l'étude du patrimoine culturel immatériel

Chapitre 4

Outils et pratiques de modélisation du patrimoine

> Bien que son contour soit assez flou, nous mettrons l'ensemble des objets [...] au centre de ce chapitre et la question que nous nous poserons sera de savoir ce qui fait dire que tel objet est une œuvre et que tel autre ne l'est pas.
>
> *L'œuvre et le produit*, p11. - **Yves Deforge**

Historiens et professionnels du patrimoine étudient les biens patrimoniaux, pour accroitre notre connaissance d'une époque, de personnes, de l'objet lui même, etc. Les objets s'approchent par différentes intentions. Ces intentions sont traduites par des choix méthodologiques, par différents types d'approches, par l'outillage utilisé.

Les travaux patrimoniaux, comme les autres disciplines des *humanités*, cherchent à tirer profit des possibilités offertes par le recours au calcul numérique. Ces pratiques de moins en moins nouvelles, mais sans cesse enrichies des développements informatiques sont regroupées sous le terme inclusif d'*humanités numériques*. Fondées sur des approches conceptuelles, déclinées en différentes façon de les réaliser, on peut les regarder au travers d'une typologie des activités mises en œuvre et des outils qu'elles sollicitent.

En dresser une liste exhaustive relève du tour de force hors de ma portée, mais il me semble possible de dessiner un panorama représentatif, producteur d'une vision globale. Ainsi, nous discernerons mieux les causes des limites actuelles, notamment, l'hétérogénéité des modélisations, les difficultés de réutilisation des données produites et le besoin d'outils spécifiques à certaines activités.

Ce chapitre sera également l'occasion de relayer un appel à la pratique d'interdisciplinarité et au décloisonnement disciplinaire.

4.1 Des approches conceptuelles

Les différentes modélisations patrimoniales explicitent une ou plusieurs dimensions du bien en question. Ces dimensions dépendent des intentions de modélisation et les différentes typologies de travaux ont abouti à la production de cadres conceptuels génériques.

Fruit de près de 25 ans de travail interdisciplinaire, le CIDOC-CRM [Cid03] est une ontologie formelle de haut niveau développé pour gérer des informations utiles dans les travaux patrimoniaux. Le modèle propose des définitions et une structure logique à un très grand nombre d'éléments utilisés dans les modélisations patrimoniales. Maintenu et étendu par des groupes de travail du CIDOC (Comité International pour la DOCumentation), le CIDOC-CRM est reconnu comme un standard ISO depuis 2006. Structurant des concepts génériques, le CIDOC-CRM a souffert d'une difficulté à la mise en œuvre. Cette limite d'usage est en cours de résolution par le développement d'extensions spécialisées par cadre d'application :

- FRBR [Til05] et FRBR$_{OO}$ [RDZ08] pour modéliser des informations relatives à la documentation biblioarchivistique.
- CRM$_{archeo}$ développé pour accompagner les activités de fouilles archéologiques,
- CRM$_{geo}$, pour gérer les informations spatiales et temporelles,
- CRM$_{ba}$, pour manipuler les informations des bâtiments.
- ...

Ces quatre extensions sont officiellement reconnues et développées en synergie avec le CRM générique. D'autres extensions en revanche, ciblant des types de modélisations encore plus spécifiques ne sont pas directement reconnues pas l'organisation internationale. On peut penser, par exemple à PHO (Port History Ontology)[RLG17], développée par Bruno Rohou et al. pour modéliser l'histoire des sites portuaires ; on peut également citer MONDIS (MONument Damage Information System), ontologie pour modéliser le suivi de dégradation de monuments[NS15]. Développé dès 1994 pour la gestion d'information en musée, puis élargi en 1996, le CIDOC-CRM est maintenu par une communauté d'utilisateurs. Pensé

pour rester évolutif, ce modèle de référence est fréquemment utilisé dans les modélisations patrimoniales.

Des historiens ayant adopté le CIDOC-CRM comme cadre conceptuel se sont rassemblés et ont fondé le consortium *Data for History* pour « améliorer l'interopérabilité des données géo-historiques ». Cette dynamique a commencé par la production de l'ontologie Symogih, qui fut ensuite alignée au CIDOC-CRM.

Florent Laroche adopte une approche mécanicienne lorsqu'il présente son *Digital Heritage Reference Model* [Lar07], en 2007, repris dans la figure 4.1. Spécifiant les éléments de modélisation permettant d'accompagner la gestion du cycle de vie d'objets patrimoniaux, ce modèle sera, par exemple, repris ensuite par Benjamin Hervy dans une application en musée [HLB12].

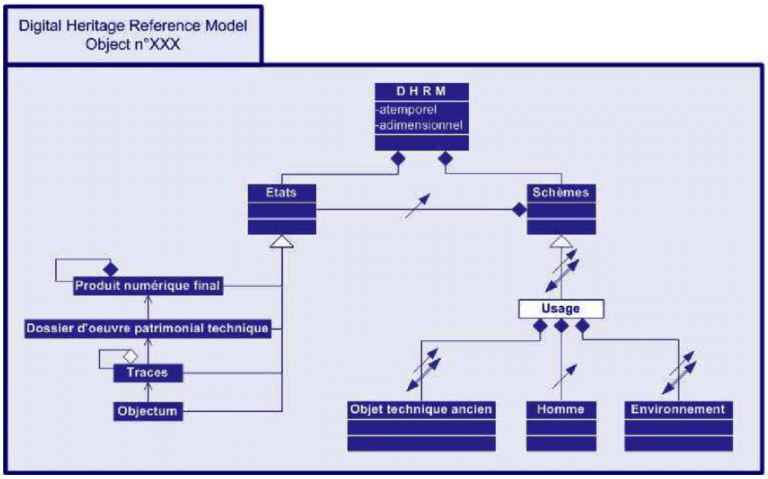


Figure 4.1 – Le DHRM de Laroche

Pour la modélisation de bâtiments, d'autres travaux cherchent à intégrer les spécificités patrimoniales dans les approches BIM (Building Information Modelling). Appelées H-BIM, ces approches se voient accompagnées d'autres types de modélisation pour coller aux problématiques multiples des bâtiments patrimoniaux : BIM seul, BIM avec outils auxiliaires, BIM avec SIG (Système d'Information Géographique) et leurs combinaisons. Lopez et al. prêtent aux limites de coopérations internationales et de développement d'outils internationaux le principal frein à l'utilité des approches H-BIM[LLL+18].

Une autre approche collective, menée par un collectif académique

international est l'Initiative d'Encodage de Texte, ou TEI (*Text Encoding Initiative*). Permettant la modélisation de la représentation de documents textes, de façon générale. Là encore, une structure centrale gère les dimensions les plus générique et des satellites produisent des outils de modélisation plus spécifiques, pour modéliser :

- les manuscrits [Dri06]
- l'orientation du texte [Zgh15]
- les personnages
- ...

Cette initiative a inspiré la constitution de la MEI (Music Encodin Initiative), qui est une sorte de bouture de la TEI pour les documents musicaux.

Des travaux ont été menés afin de permettre l'interopérabilité entre CIDOC-CRM et TEI[CE14]. Construisant le passage d'une type de modélisation à l'autre, ils ont produit une correspondance entre les concepts manipulés. Mais la pertinence des développement de chaque domaine ne laisse pas envisager de fusion.

4.2 Des activités de modélisation

Les outils conceptuels guidant la modélisation sont issus des besoins de certains types d'activités de modélisation. Les méthodologies sont nombreuses et j'ai bien conscience que la modélisation des activités que je propose ici n'est pas exhaustive. Détailler trois types d'activité permet de montrer des invariants entre les activités, même si les sujets et les produits par la modélisation diffèrent beaucoup.

Je propose de détailler te de comparer la création d'une maquette numérique à partir d'un objet numérisé (modéliser la forme des objets et lui ajouter des informations, spécifier des attributs aux objets), la création d'une base de données (modéliser un système d'entités liées par des relations, et de son évolution dans le temps) et la création d'une modélisation de texte en TEI (modéliser les entités conceptuelles mises en jeux).

4.2.1 Créer un maquettes numériques

La création d'une maquette numérique est une succession de choix, qui spécifient et limitent les éléments que l'on cherche à représenter,

depuis l'objet que l'on cherche à modéliser, la méthode de numérisation, les dimensions spécifiques que l'on veut mettre en avant, le format de fichier, etc. La figure 4.2 montre tout le détail.

4.2.2 Modéliser des systèmes

La modélisation de systèmes aboutit en la production d'une base de données structurant des entités reliées entre elles suivant un modèle de données. Mais là encore, depuis la sélection des sources d'informations, la constitution ou le choix du modèle de données final et de la matrice d'alignement des schémas-source à combiner. La figure 4.3

4.2.3 Modéliser du texte

La modélisation du texte en TEI produit son édition numérique. Depuis le choix du ou des textes, en passant par l'identification des éléments constitutifs du texte que l'on cherche à modéliser, produisant un schéma TEI, les modalités de numérisation des textes, et les modalités de visualisations du modèle, tout est encore une affaire de choix. La figure 4.4 détaille cette activité.

La transcription et la modélisation du texte par des formalismes informatiques permet de les approcher de façon calculatoire, autorisant des *lectures distantes*, pour traduire littéralement le concept anglo-saxon de *distant reading*[Mor13]. Ces approches distantes, automatisées, porteuses de limites [1] font naitre l'engouement par leur capacité à traiter le grand nombre d'informations.

Les approches calculatoires du texte sont déjà anciennes. Un consensus se forme pour prêter à Roberto Busa[Rob92], [Bus74] la première approche calculatoire des textes [Win99], qui serait fondatrice de ce que l'on appelle aujourd'hui les humanités numériques. Ce travail de Busa est contemporain de la seconde guerre mondiale (entre 1941 et 1946 d'après les dires du principal intéressé [Bus04]).

4.2.4 Synthèse

La modélisation est produite pour répondre à des besoins, à une question. Différents types de questionnements émergent de communautés d'intérêts et de pratiques différentes, produisant des standards divers.

1. Notamment le report des décisions de modélisation à un ailleurs et un autre moment

La richesse et la pertinence des modélisations tient dans l'existence de moyens différents (conceptuels et pratiques) de modélisation.

Les dynamiques multiples des métiers, des disciplines se traduisent dans la multitude d'approches et d'outils existants.

4.3 Des outils logiciels

Les modélisations mettent en jeux différents types d'informations. Les outils informatiques en revanche manipulent souvent l'information de façon spécialisée. La quantité de logiciels utilisés dans la modélisation de biens patrimoniaux ne se retrouve pas pleinement dans la figure 4.5, qui en présente une sélection, répartie selon leur rapport aux pratiques de modélisation. Je m'inspire pour la création de ce graphique des travaux de Chris Alen Sula [Sul13]. Il propose pour sa part un modèle conceptuel de compréhension des activités d'étude du patrimoine et répartit les activités selon deux axes, un premier axe porté par la question « Qui réalise l'activité, l'humain ou la machine ? » et un second axe qui s'intéresse au contenu de la modélisation, à savoir si l'on modélise du contenu de premier ordre (les données) ou de second-ordre (des méta-données).

Pour comprendre les spécificités des outils, j'ai choisi de répartir les outils sur les deux axes suivants :

- Modélisation **libre** (méta-modèle « maison », propre à la modélisation) ↔ Modélisation **standard** (méta-modèle « normalisé », construit à plusieurs),
- Modélisation **légère** (régie par des relations strictement lexicales) ↔ Modélisation **lourde** (structurée par une sémantique explicite et des règles logiques).

Les outils représentés par la figure 4.5 sont les suivants :

Magrit : logiciel de cartographie thématique [VGL18] (http://magrit.cnrs.fr/

Gephi : logiciel de visualisation et d'analyse de données orientées graphe [BHJ09] (https://gephi.org/)

Cytoscape : logiciel de visualisation adjoint de modules permettant l'analyse de données orientées graphes [SOR+10] (https://cytoscape.org/)

Recogito : plateforme en ligne de création d'index cartographique (*gazeeter* en anglais) [SBIdSC15] (https://recogito.pelagios.org/)

Arches : plateforme de gestion de données pilotée par le *Getty Institute* [MDA16] (https://www.archesproject.org)

Revit : logiciel édité par Autodesk pour la conception et la reconception 3D [Win11] (https://www.autodesk.fr/products/revit/overview)

Recap : logiciel édité par Autodesk pour le traitement de numérisation d'objets 3D [Cox15] (https://www.autodesk.fr/products/revit/overview)

Omeka : SGC (Système de Gestion de Contenu), [2] édité par le *Roy Rosenzweig Center for History and New Media* décliné en une version classique et une version "S" se rapprochant des technologies du web sémantique [KRS10], [MSB19] (https://omeka.org/classic/, https://omeka.org/s/)

3DExperience : plateforme en ligne regroupant plusieurs outils (de modélisation, simulation, gestion de données) développés par *Dassault Systèmes*, très orienté développement (conception et gestion de la vie) de produits manufacturés [Sys19] (https://www.3ds.com/fr/a-propos-de-3ds/la-plate-forme-3dexperience/)

Siemens NX et sa suite logicielle PLM : une série de logiciels aux fonctionnalités très proche de la précédente [Sie17] https://www.plm.automation.siemens.com/global/fr/

Zooniverse : portail en ligne permettant de réaliser des classifications collaboratives[SPDR14] (https://www.zooniverse.org/)

Oxygen XML-TEI Editor : éditeur de texte à l'interface adaptée pour l'édition TEI [Wie] (https://www.oxygenxml.com/)

ArkeoGIS : application de cartographie pluridisciplinaire développée par Loup Bernard à l'Université de Strasbourg [Ber16], (http://arkeogis.org/)

Haruspex : application de modélisation thématique de corpus, développée par Matthieu Quantin à l'Université de Nantes [QHLK17]

IRaMuTeQ : application de textométrie développé par Pierre Ratinaud [LR14] (http://www.iramuteq.org/)

TXM : application de textométrie développée à l'Université de Lyon [HMP10] (http://textometrie.ens-lyon.fr/)

TAPAS : application d'archivage et facilitant l'accès aux textes encodés d'après le formalisme TEI [FH13] (http://tapasproject.org/)

Protégé : éditeur d'ontologies et outil-support pour créer des « systèmes intelligents » [TNTM08] (https://protege.stanford.edu/)

2. Autrement dit un CMS (*Content Management System*, l'acronyme français nous semblant rarement utilisé dans la pratique

4.4 « La moitié du travail scientifique »

Enfin, avant de me pencher en détail sur la documentation, base du travail et résultat produit, je voudrais encore relayer le billet de Bernard Hours, directeur du Laboratoire de recherche historique Rhône-Alpes (LARHRA UMR 5190) à l'époque où il écrivait ce billet, en 2019. Intitulé « La méthodologie relève-t-elle de la recherche disciplinaire ? », il me semble mériter une place sans coupe.

> À l'heure où tend à se généraliser, dans les appels à projet, l'exigence d'un plan de gestion de données et du respect des principes FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable), il semble que la communauté historienne soit encore assez loin d'en avoir mesuré tous les enjeux. Le sujet est vaste, tant il relève à la fois de la réflexion disciplinaire et de choix politiques, donc d'une vraie vision du développement de la recherche en histoire sur les moyen et long termes. A partir de l'expérience développée depuis une dizaine d'années au sein du Pôle Histoire Numérique du Larhra, je me limiterai ici, avec un peu d'humeur, à une réflexion sur un point : quelle est la place de l'historien dans la mise en place des outils et des méthodologies numériques de la recherche en histoire ?
>
> Quels que soient les débats qu'ils ont pu susciter, nul n'a estimé que, vénérables professeurs de l'université républicaine, Langlois et Seignobos s'écartaient de leur champ de compétence lorsque, dans "Introduction aux études historiques (1898), ils expliquaient les avantages et les limites du dépouillement des sources à l'aide de fiches. Ils citaient d'ailleurs Renan : « ces arrangements personnels de bibliothèque qui sont la moitié du travail scientifique », pour renchérir : « Tel érudit doit une bonne part de sa légitime réputation à l'art qu'il a de colliger ; tel autre est, pour ainsi dire, paralysé par sa maladresse à cet égard » . Il leur paraissait donc naturel que l'historien réfléchisse à « sa manière de colliger » .
>
> Ces remarques ne sont pas frappées d'obsolescence à l'âge du numérique. Qu'il s'agisse de fichiers papier ou de caractères numériques, la question pour l'historien est la même, et là réside la vraie question méthodologique : selon quelle architecture organiser la masse des données que l'on stocke ? Ce n'est pas sur la pertinence de cette question que l'on constate des divergences, mais sur la réponse, ou plutôt sur le rôle

> de l'historien dans sa formulation. Il est assez commun d'entendre affirmer de façon péremptoire, y compris au plus haut niveau des instances qui « encadrent » la recherche historique, que l'historien n'a pas à se préoccuper de cette architecture mais qu'il s'agit d'informatique, que ce n'est pas une question de recherche mais de technique. L'affirmation est d'ailleurs d'autant plus péremptoire que l'on déclare – ou que l'on tente de masquer – en même temps son incompétence technique. Construire l'architecture des données et de l'information, c'est-à-dire les structurer, cela suppose de modéliser, et pour que cette modélisation soit robuste, de se référer à une ontologie adaptée. Ce travail qui doit être documenté, peut seul garantir l'adéquation aux principes FAIR. Or qui d'autre que l'historien peut définir un modèle de données pour l'histoire ? Qui d'autre que l'historien, une fois déterminés le modèle et l'ontologie de référence, peut concevoir l'architecture de la base données, avec l'ingénieur qui la réalisera ?
>
> Soyons sérieux, affirmer que l'élaboration des outils adéquats pour la recherche historique est une pure affaire d'ingénieur et qu'elle ne relève pas de la recherche, c'est refuser de faire, selon les termes de Renan, « la moitié du travail scientifique » . On peut s'aveugler, on sait ce qui arrive à l'autruche...
> Bernard Hours, Lettre du LAHRA n°15, 2019 (accessible au 15sept 2019 à l'adresse https://lpm.hypotheses.org/1160

Je ne peux que me rallier à l'exhortation de Bernard Hours. L'interdisciplinarité annoncée de mes travaux me semble pouvoir tenir dans le développement de compétences partagées, mais surtout de la compréhension fine des enjeux des différents métiers rapprochés. Heureusement, il me semble que seule une pratique collective et partagée, non pas déléguée et segmentée, engendre ce développement de la compréhension et de compétences mutuelles. Ce billet adressé aux historiens me semble tout autant un appel à ce que les techniciens deviennent historiens.

4.5 Synthèse des limites et des contraintes

Modéliser change notre regard sur les biens. Nous connaissons mieux les biens, ses composantes, et nous avons accès au grand nombre d'information glanées, extraites, compilées. Mais modéliser au travers d'outils

informatiques nous éloigne aussi de notre objet. Je rejoins Bachimont lorsqu'il écrit « Plus on mesure le vivant, plus on le manque ; plus on le rationalise, plus on mesure ce qui nous en sépare » [Bac10]. En partie parce que les indicateurs lissent les différences fines (qui peuvent être significatives), parce que l'automatisation des opérations limite les informations que nous rencontrons, parce que les catégories, ontologies, classifications et descriptions rationnelles des systèmes ont une valeur générique, ils sont autant moins bien adaptés à permettre notre compréhension des enjeux patrimoniaux. Le patrimoine reste, *in fine* un choix humain, et non le résultat d'un modèle prédictif.

La diversité des modélisations, des outils fait la force des études patrimoniales. Une discussion s'établit dans la confrontation de divergences de modélisation, on peut construire un terrain commun où produire une évaluation. L'interopérabilité informatique passe par une standardisation ou un alignement conceptuel qui réduit la diversité catégorielle permettant de penser les modèles. Les alignement a posteriori transforment les modélisation initiales.

À mon sens en cela réside le manque le plus important dans cet écosystème de modèles conceptuels, d'activités et d'outils : nous n'avons pas la possibilité de faire cohabiter ces modélisations sans les transformer, pour les comparer dans leur intégrité. Il me semble nécessaire de permettre une étape intermédiaire dans pour l'interopérabilité des modèles, et retarder la transformation pour le calcul. Conserver la possibilité d'exégèse des modèles et des transformations qu'ils subissent parait nécessaire.

Si les régimes de vérités s'établissent dans le discours [Ell14], alors les modèles sont des discours sur les objets modélisés. Peut-être s'éprouvent-ils aussi de façon scientifique dans notre capacité à les étudier et à les modifier pour dépasser leurs limites ?

> **Proposition pour l'outil 7**
> L'étude scientifique patrimoniale implique de permettre l'étude critique des modèles et leur construction.

> **Proposition pour l'outil 8**
> L'utilisateur d'outils informatiques doit pouvoir en être l'architecte, afin de comprendre comment s'opèrent les ruptures de sens par le calcul, pour en faire une étude fine et une maintenance lourde.

Le prochain chapitre se penche sur le matériau de base et le produit final des activités de modélisation dont nous venons de parler, c'est à dire la documentation. Elle sera observée dans sa nature et dans les moyens techniques à notre disposition pour la manipuler.

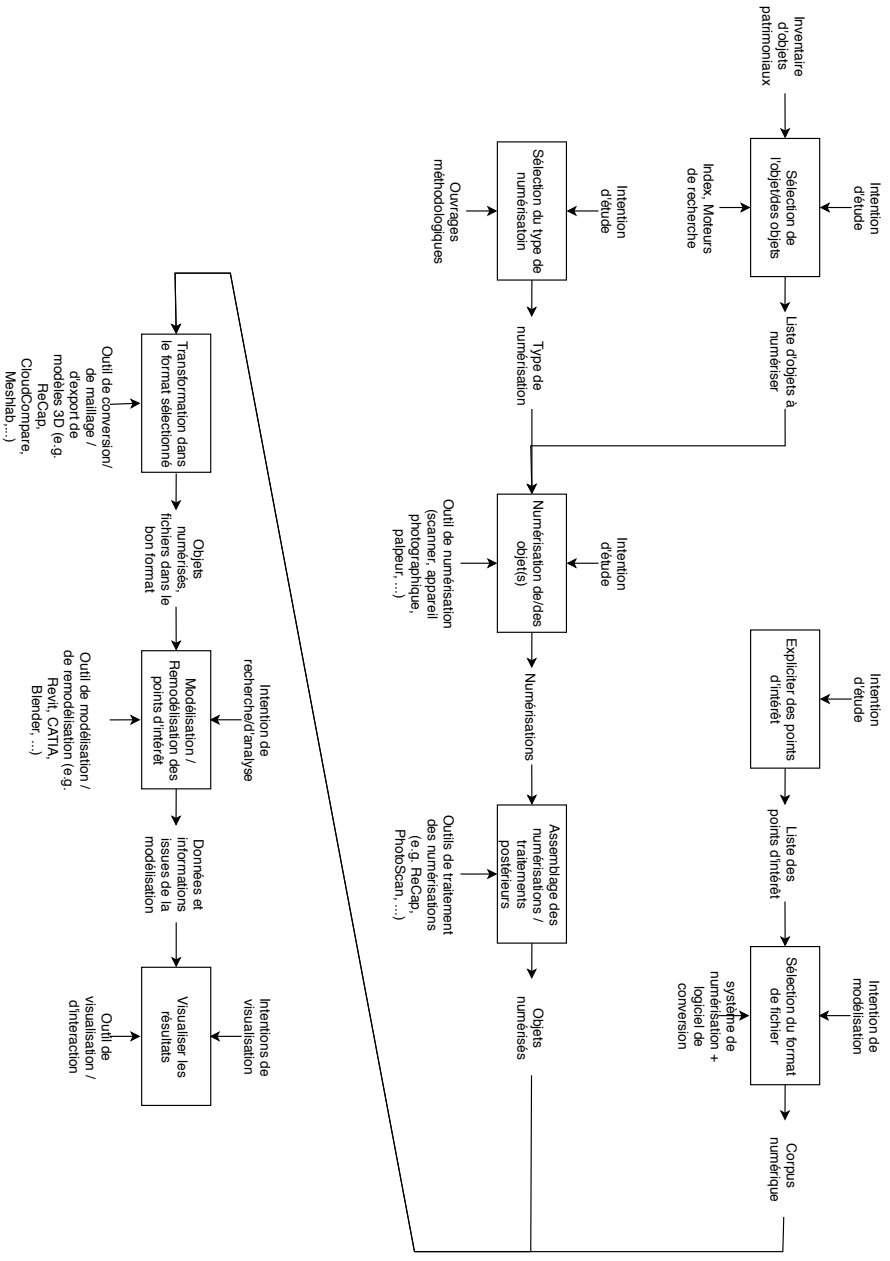


Figure 4.2 – Actigramme générique de la création d'un modèle 3D

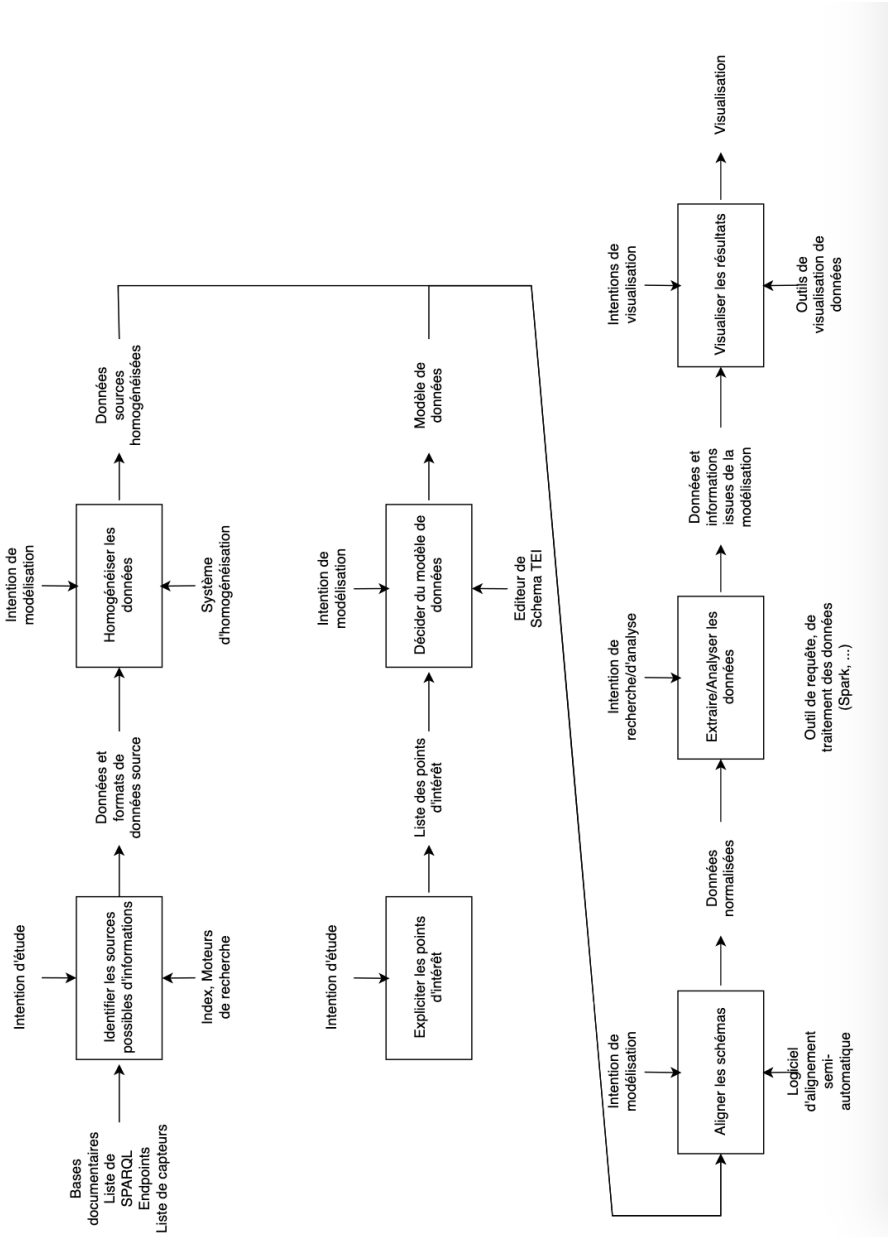


Figure 4.3 – Actigramme générique de la création d'une base de données

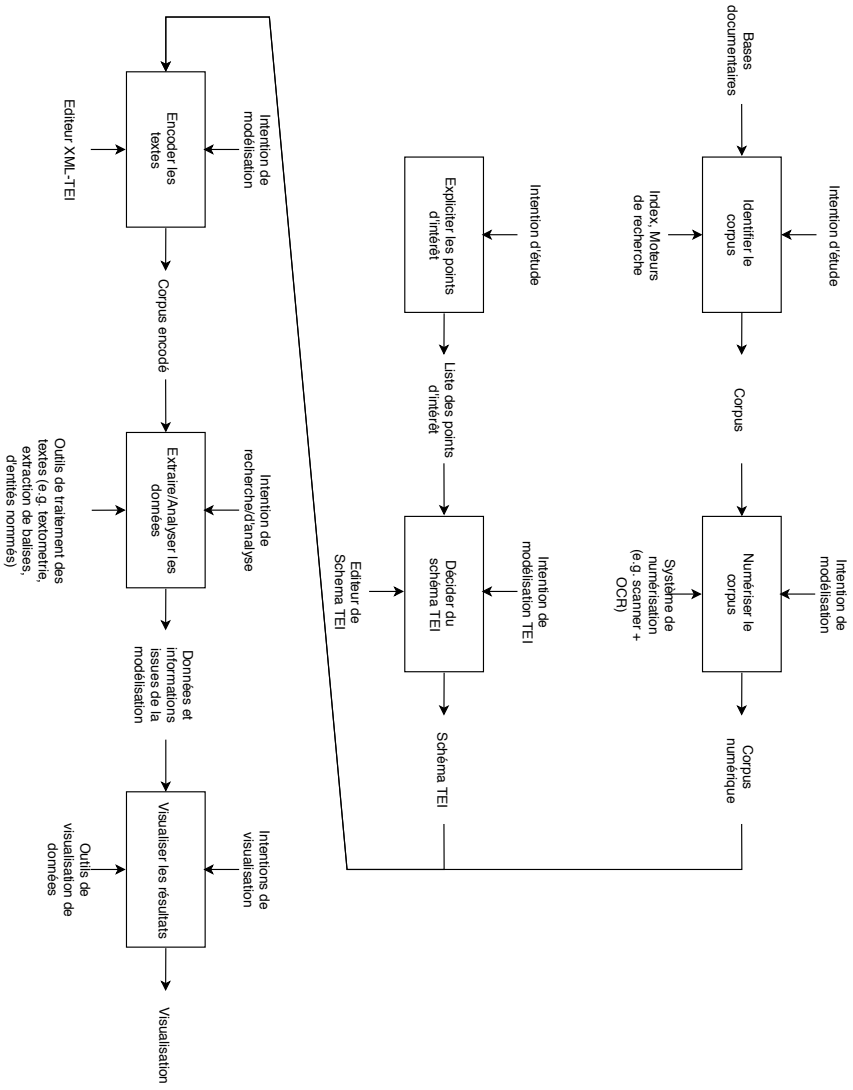


Figure 4.4 – Actigramme générique de la création d'une édition numérique en TEI

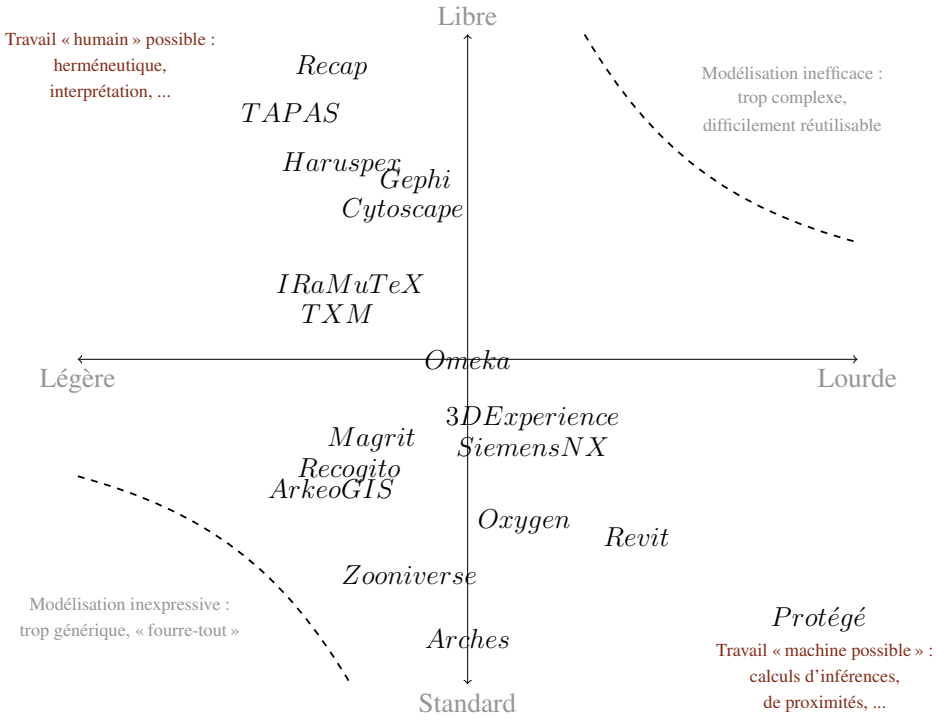


Figure 4.5 – Panorama de différents outils de modélisation

Chapitre 5

Modélisations et documentation

> L'Archéologie
> 1. Reportez-vous par la pensée dans les temps antiques : la municipalité d'Athènes pose la première pierre des ruines du Parthénon. Décrivez la cérémonie.
>
> *Petits problèmes et travaux pratiques* - **Jean Tardieu**

Dans un chapitre précédent, j'ai schématisé les processus de l'étude patrimoniale. Il a été question de *modélisation*, à plusieurs reprise et je n'ai jusqu'alors pas pris le temps de préciser ce que j'entendais par là. De même, j'ai montré l'importance de la documentation dans les travaux patrimoniaux, mais sans avoir précisé ce qu'englobait ce terme de emphdocumentation. Ce chapitre me donne l'occasion de ces clarifications. À nouveau, n'étant ni documentaliste, ni informaticien, j'approche ces notions en ingénieur mécanicien et il m'a fallu construire un regard sur ces questions.

Ce chapitre commence par une réflexion générale sur la notion de document, comme couple inscription et support, et sur la notion de document informatique. Il se poursuivra ensuite par la description de trois formes de modélisation. Dans la continuité du point de vue *activité* adopté jusqu'alors, nous chercherons un point de vue *objet* lorsque nous regarderons la documentation et différentes de ses formes. Nous reviendrons cependant à l'étude des activités que l'on réalise à partir de la documentation, qui sont réalisées de façon périphérique ou directement lors des études patrimoniales.

5.1 La documentation, les données

Pédauque nous dit que la documentation regroupe l'ensemble des objets physiques porteurs d'informations, d'inscriptions[Péd06]. Nous le verrons dans le prochain paragraphe, la documentation n'est documentation que par ce que son *lecteur* ou plus généralement l'*interprète* la considère comme telle. Avec une telle largeur de vue, nous avons eu besoin de distinguer certains documents d'autres. Pour cela, j'ai cherché à me rapprocher des typologies de documents existantes. Dans un temps second nous porterons le regard sur l'intérieur du document pour regarder données, informations et connaissances. Nous y frôlerons les question de nature de la connaissance scientifique. Enfin une troisième partie se consacrera aux opérations que les documents subissent. Sans réussir à être exhaustive, cette partie cherchera, là encore, à typer ces opérations, en préparation de leur étude en milieu informatique.

Avant d'aller plus loin dans l'étude de la documentation, regardons sa diversité pour chercher ce qui la fait documentation.

Comment appréhender les documents ?

Le travail francophone qui m'a semblé le plus important, le dernier en date et celui qui m'aura le plus largement influencé pour comprendre les documents, est une production collective du groupe de recherche RTPdoc qui propose de inscrit la documentation dans quatre propriétés [Péd06] :

Organisation : Organisatrice, la documentation l'est, en agençant les informations qu'elle porte. L'organisation peut-être formelle, dans la place relative des éléments, les uns par rapport aux autres ; elle peut également être hiérarchique et sémantique, dans les liens qui structurent les idées et le message porté.

Mémorisation : La fonction mnésique du document est portée par sa réalité matérielle, qui vient prolonger dans le temps notre capacité au souvenir, dont on sait la défaillance.

Création : La documentation est aussi créatrice, en cela qu'une fois existante, elle génère une organisation durable d'informations encore inédite, qui sera féconde de nouvelles informations, de nouvelles idées.

Transmission : Transmission et mémorisation, par leur rapport au temps demandent toutes deux une forme de persistance de la documentation. Cette dernière a également la propriété d'être transmise afin

que ses trois autres propriétés puissent se déployer vers le plus grand nombre.

Yves Keraron [Ker07] propose une définition globale du document, incluant spécifiquement les conditions techniques de sa restitution : « Un document est un objet technique qui apparaît lors d'un processus d'inscription intentionnel sur un support matériel dans des conditions assurant la stabilité dans le temps de l'inscription, de représentations codées et destinées à être maniées, traitées de façon manuelle ou automatique par une machine puis interprétées lors d'un acte de représentation d'un utilisateur ».

On peut produire un document en vue, justement, de documenter, de porter des informations sur une décision ou une action, par exemple. Mais parfois, les documents sont des outils de communication, qui s'ignorent. La recherche d'information peut transformer un grand nombre d'objets en documents. Dans certains cas, que leur production soit intentionnellement d'un document ou non, une chaîne d'outils intermédiaire pour accéder aux informations peut être nécessaire. Par exemple :

— Pour les objets *produits comme documents*, pensés pour devenir des véhicules d'information, on peut penser, pour ne prendre que des exemples sur papier, aux feuillets publicitaires ou partisans distribués dans la rue, aux arrêtés municipaux, aux journaux, aux billets de train, aux carnets de compte, etc. On choisit un support, un moyen d'inscription et des informations à y inscrire pour créer le document.

— Pour les objets *devenus documents par l'étude*, on peut en retour envisager, par exemple, des échantillons lors des tests antidopage. L'accès à l'information demande un certain outillage et la production de documents intermédiaires. Mais ultimement, les échantillons ont le statut de documents à part entière, leur authenticité garantit la véracité de l'information produite. Pour revenir au papier, on peut aussi penser au travail du graphologue devant un texte manuscrit.

La combinaison des approches de Manuel Zacklad et Suzanne Briet nous présente cette double réalité du document. Pour Zacklad, le document est « une production sémiotique transcrite ou enregistrée sur un support pérenne équipé d'attributs permettant sa ré-exploitation » [Zac05, Zac06]. On retrouve ici la première volonté, celle de la production. Briet pour sa part propose une définition qui nous apparait refléter la seconde réalité du document, puisqu'il est « tout indice concret ou symbolique, conservé ou enregistré, aux fins de représenter, de reconstituer ou de prouver un phénomène physique ou intellectuel » [Bri51]. Je tire

de cette dualité documentaire qu'ils résultent, dans tous les cas d'une intention (a minima celle de les considérer comme des documents), et donc qu'ils sont documents rattachés à des personnes, producteurs a priori ou a posteriori.

Jean-Michel Salaün complète encore ce tableau et nous indique qu'un document se caractérise par les trois dimensions suivantes (nous reprenons ici sa terminologie et son formalisme) [Sal07] :

- une dimension anthropologique (lisibilité-perception, forme-signe)
- une dimension intellectuelle (intelligibilité-assimilation, texte-contenu)
- une dimension sociale (sociabilité-intégration, médium-relation)

Le groupe de recherche RTPDoc, a pris l'habitude de formaliser ses explications par des mises en équation descriptives. Pour distinguer les documents traditionnels des documents numériques, ils ont produit les deux équations suivantes :

- Document traditionnel = support + inscription
- Document numérique = structures + données

Le document par son besoin de pérennité, ou au moins de persistance a besoin de s'incarner, de s'insérer dans la matérialité [1]. Pour reformuler l'équation du document traditionnel, le document par son besoin d'**organiser** et de **transmettre** dans l'**espace** et dans le **temps** des informations se compose d'un message, inscrit dans un support matériel pour garantir sa persistance. Le document informatique n'est pas étranger à cette reformulation comme le montre Bekiari[BDLBR15].

La définition du document numérique met en jeu le terme de données, qui me semble trop polysémique pour que l'on ne s'y attarde pas. Les prochains paragraphes cherchent à clarifier le sens et ce que l'on peut attendre des notions tissées de *données*, *informations* et *connaissances*.

5.1.1 Données, informations, connaissances

Ces termes de données, informations et connaissances sont dans l'usage courant de différents groupes et professions. Cela crée une polysémie qu'il nous semble prudent de chercher de préciser tôt, afin d'éviter la confusion. Aussi, en deux temps, nous chercherons des moyens de distinguer les données et des documents, puis dans un second temps, les données, des informations, des connaissances.

1. L'usage aujourd'hui habituel du terme de *document dématérialisé* constitue un abus de langage trahissant l'omission de la nature matérielle des documents informatiques

Documents - Données

La distinction entre document et données est principalement due à Tim Berners Lee qui, dans son ouvrage *Design Issues*, décrit les difficultés et l'avenir du Web. Il y annonce le besoin d'un Web reliant des données entre elles, et non plus seulement des documents [BL16]. Ce faisant, il distingue le *document* (dans ce cas le fichier informatique) de la *donnée*. Il distingue le fichier html que le navigateur Web va aller chercher par HTTP pour ensuite l'interpréter et afficher son contenu.

Ainsi donc, une entrée dans une base de données SQL, un groupe de pixels d'une image JPEG, seront pour nous des **données**, alors que la base de données ou l'image informatique en elle même seront des **documents** (ou des fichiers, ces deux termes sont ici synonymes).

La distinction la plus ardue à exposer reste encore à venir : distinguer données, informations et connaissances.

Données - Informations - Connaissances

Le triptyque données, informations et connaissances (ou en anglais resp. *data*, *information*, *knowledge*) semble conserver une place de choix dans la littérature, et bien que la discussion soit désormais plutôt ancienne, les acceptions ne sont pas entièrement partagées.

Mickaël Gardoni [Gar99] associe

- L'information brute, à la représentation des données,
- L'information organisée, à la représentation de l'information,
- L'information traitée à la représentation de la connaissance,
- L'information avancée à la représentation de la théorie/expertise

Nicolas Perry [Per07], Samar Ammar-Khodja [AKB08] et Florent Laroche reprennent cette conception dans leurs travaux en[LBC08] gestion des connaissances (*Knowledge Management*). Cette vision est illustrée dans la figure 5.1.

En procédant à l'accumulation des approches, les travaux de Zins [Zin07] éclairent la diversité de acceptions, et permet de préciser les définitions. Voici cité un extrait de son article de 2007 qui passe en revue différentes significations des termes.

Knowledge « is that which is known, and it exists in the mind of the knower in electrical pulses. Alternatively, it can be dis- embodied into symbolic representations of that knowledge (at this point becoming a particular kind of information, not knowledge). Strictly speaking, represented

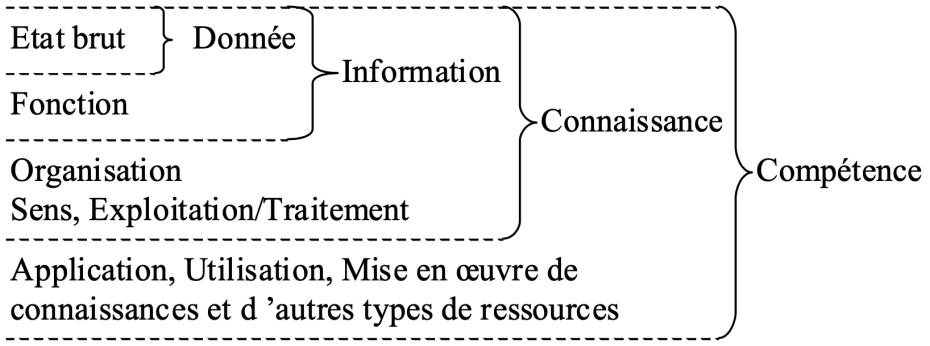


Figure 5.1 – De la donnée à la connaissance pour Gardoni (via N.Perry)

knowledge is information. Knowledge — that which is known — is by definition subjective, even when aggregated to the level of social, or public, knowledge — which is the sum, in a sense, of individual "knowings". Data and information can be studied as perceived by and "embodied" (known) by the person or as found in the world outside the person... (Thomas A. Childers) »

Data « is the plural of datum, although the singular form is rarely used. Purists who remember their first-year Latin may insist on using a plural verb with data, but they forget that English grammar permits collective nouns. Depending on the context, data can be used in the plural or as a singular word meaning a set or collection of facts. Etymologically, data, as noted, is the plural of datum, a noun formed from the past participle of the Latin verb dare–to give. Originally, data were things that were given (accepted as "true"). A data element, d, is the smallest thing which can be recognized as a discrete element of that class of things named by a specific attribute, for a given unit of measure with a given precision of measurement (Rush & Davis, 2007; Landry & Rush, 1970; Yovits & Ernst, 1970). »

Information « The verb 'inform' normally is used in the sense to communicate (i.e., to report, relate, or tell) and comes from the Latin verb informare, which meant to shape (form) an idea. Data is persistent while information is transient, depend- ing on context and the interpretation of the recipient. Informa- tion is data received through a communication process that proves of value in making decisions.
Knowledge involves both data and the relationships among data elements or their sets. This organization of data based on relationships is

> what enables one to draw generalizations from the data so organized, and to formulate questions about which one wishes to acquire more data. That is, knowledge begets the quest for knowledge, and it arises from verified or validated ideas (Sowell, 1996). [10] (Charles H. Davis) »

D'un point de vue opératoire, dans le traitement informatique, je retiens que l'interprétation d'un document permet l'identification d'entités, les *données*, ancres pour la formation de relations [2].

La seconde étape de l'interprétation permet de relier ces données. Entités, concepts, relations, ... les données subissent une forme de classification, sont reliées pour former des *informations*. L'interprétation d'une source produit un contenu d'informations, caractérisé, conditionné, par la source elle-même et le contexte d'interprétation (c'est à dire la classification opérée et l'organisation des données entre elles pour former les informations). Les informations restent susceptibles d'être reliées à d'autres informations pour produire une information nouvelle. En cela, les informations sont un certain type de données (structurées, classifiées) [3].

Les connaissances, quant à elles, sont issues d'accumulation d'information. Lorsque se dégage alors une forme générale de la structure des relations des informations, lorsque se dégagent des tendances, des récurrences, on pourra formuler des informations exprimant ces analyses. En cela, les connaissances sont un certain type d'informations (caractérisant les tendances d'autres informations, permettant la classification d'autres informations) [4]. Par cette acception de ce que sont les connaissances, je m'éloigne peut-être un peu de Zins pour me rapprocher des considérations de Milan Zeleny [Zel87].

Les notions de validité, ou de véracité persistent, que soient considérées des données, des informations et des connaissances, et dépendent des contextes de compréhensions.

Bachelard, dans la *Formation de l'esprit scientifique* [Bac93] est éclairant sur la nature de la connaissance et milite pour une connaissance approchée, c'est à dire une connaissance qui étudie de près les questions, qui s'éloigne de l'opinion. Il rappelle également que la connaissance s'obtient par constructions. « La science, dans son besoin d'achèvement comme dans son principe, s'oppose absolument à l'opinion. S'il lui arrive, sur un point

2. Dans le référentiel RDF, qui sera présenté plus tard dans ce chapitre, les données sont les 'sujets', 'prédicats' et 'objets'.

3. Dans le référentiel RDF, les informations sont les triplets, les associations 'sujet', 'prédicat' et 'objet'.

4. Dans le référentiel RDF, toujours, les connaissances sont des triplets portant sur des groupes d'autres triplets, ou certains types de données.

particulier, de légitimer l'opinion, c'est pour d'autres raisons que celles qui fondent l'opinion ; de sorte que l'opinion a, en droit, toujours tort. L'opinion pense mal ; elle ne pense pas : elle traduit des besoins en connaissances. En désignant les objets par leur utilité, elle s'interdit de les connaître. On ne peut rien fonder sur l'opinion : il faut d'abord la détruire. Elle est le premier obstacle à surmonter. [...] Pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir connaissance scientifique. Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit »
.

> **Proposition pour l'outil 9**
> L'outillage informatique doit pouvoir garder la trace des différentes constructions, réductions et approximations inhérentes aux travaux de modélisation.

Pour illustrer les distinctions et définitions des termes, prenons un exemple en plusieurs étapes.

1. Soit un contenu d'information : $\boxed{\text{La température}} \xrightarrow{\text{s-exprime-en}} \boxed{°\text{C}}$ $\boxed{\text{La température}}$ est une donnée au même titre que l'unité $\boxed{°\text{C}}$. Ainsi reliés, les éléments d'ancrage forment une information.
2. Soit maintenant considérée l'information précédente comme valide. Cette connaissance pourra générer des liens entre toutes les températures et l'unité $\boxed{°\text{C}}$.
3. Si je cherche désormais à modéliser la température du corps humain et ses évolutions selon le temps pour un individu. Si une des températures est exprimée en $\boxed{°\text{K}}$, la notion de connaissance entre en jeu. Soit la température en $\boxed{°\text{K}}$ est fausse, soit la connaissance définie en 2 était erronée ou mal formulée. La connaissance apparaît ici comme une information permettant une étape de vérification de la conformité. Elle met en évidence les informations contradictoires, que l'on pourra identifier comme anomalies.

D'autres théoriciens, notamment Rowley [Row07, DSH18], partent de cette triade *Donnée, Information et Connaissance* et l'étendent d'une quatrième entité : La Sagesse (*Wisdom*). À vrai dire, je n'ai pas précisément compris ce que cette sagesse recouvre, aussi je m'abstiendrai de m'y hasarder. L'approche dérivée de Zins, *informationnelle*, me semble se rapprocher des travaux linguistiques et sémiotiques de Sanders [SdS79] ou Eco [Eco72], mais également les travaux en sciences de l'information de Brillouin [Bri59] ou d'Escarpit [Esc91].

Les données

Une donnée traduit la sélection d'une entité, d'un concept. Pour exprimer la donnée, il faudra lui donner (ou lui trouver) une certaine forme, un certain formalisme.

En voici quelques exemples

- 15,41 c'est, en chiffres arabes et en base décimale, une quantité de quinze unités et quarante et un centièmes d'unité.
- 2877m vaut pour la distance de deux mille huit cent soixante dix-sept unités *mètres*, quantifiée en base décimale et en chiffres arabes.
- L'Observatoire du Pic du Midi représente le site scientifique installé au Pic du Midi, exprimé en français et en alphabet latin. De même, une sous-sélection de cette donnée, Le Pic du Midi représente l'éminence sur laquelle l'observatoire s'est installé, exprimé en français et en alphabet latin.
- est-localisé permet la relation spécifiant une position entre deux entités, exprimé en français et en alphabet latin.
- Télescope de type Cassegrain représente la famille des télescopes dont la structure interne à 2 miroirs, l'un concave et parabolique et l'autre convexe hyperbolique, exprimé en français, en alphabet latin. Là où казезерновый телескоп représente la même entité, mais en russe et en alphabet cyrillique contemporain russe.
- Le Télescope Bernard Lyot représente l'objet, le télescope de type Cassegrain, construit et actuellement encore installé à l'observatoire du Pic du Midi, à nouveau en français et en alphabet latin.

Les données sont les radicaux à la formation d'informations. Il peut arriver que ces radicaux soient eux-même des informations.
La donnée L'Observatoire du Pic du Midi, par exemple, peut se comprendre de façon indirecte comme l'information explicitée suivante :
L'observatoire $\xrightarrow{\text{est-localisé-sur}}$ Le Pic du Midi

Les informations

Une information explicite une relation entre données. À nouveau, une sorte de langage formalisant la relation est nécessaire. Contrairement aux données en général, les informations sont sujettes à une dimension de validité. Et c'est précisément par cet angle qu'il me semble intéressant des les aborder.

La validité d'une information peut être décidée au cas par cas, ou au travers de règles générales. Le champ des validités crée le contexte d'interprétation de tout nouveau document ou de toute nouvelle information. Dans la plupart des cas, un groupe pourra partager et utiliser des informations en commun en bâtissant un champ de validité, contexte d'interprétation, partagé.

En voici quelques exemples

- $\boxed{\text{L'Observatoire du Pic du Midi}} \xrightarrow{\text{a-pour-altitude}} \boxed{\text{2877m}}$ exprime la relation définissant l'élévation verticale par rapport au niveau de la mer (la distance à cette surface de référence) de l'Observatoire du Pic du Midi.
- $\boxed{\text{Le Télescope Bernard Lyot}} \xrightarrow{\text{est-localisé-à}} \boxed{\text{Le Pic du Midi}}$ représente la relation définissant la position d'un objet télescope particulier sur un sommet particulier dans les Pyrénées.
- $\boxed{\text{La Terre}} \xrightarrow{\text{a-une-forme}} \boxed{\text{ronde}}$ est une information, approximant la forme de la terre. Considérée comme valide par la plupart des français, 9% d'entre eux considèrent qu' « il est possible que la Terre soit plate et non pas ronde comme on nous le dit depuis l'école » d'après un sondage d'IFOP sur le complotisme [Rei18].

La validité des informations s'établit en leur opposant des connaissances. La validité des informations dépend donc de la validité attribuée aux connaissances.

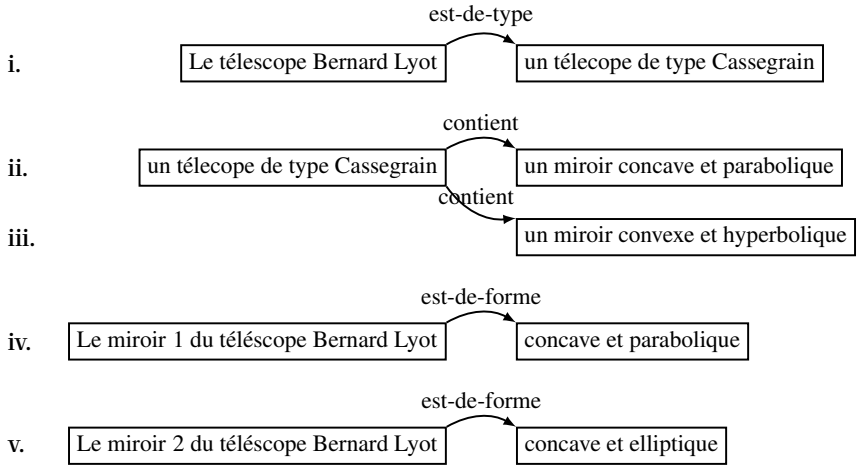
Les connaissances

Les connaissances sont les incorporations des données et des informations connues[Zin07]. Ainsi, elles sont des formes analytiques ou synthétiques des informations valides sélectionnées/rencontrées et en retour, elles influencent la formation à venir d'informations.

Les connaissances entraînent deux effets principaux :

- la connaissance permet de générer de nouvelles informations, la connaissance permet de créer des liens nouveaux entre des entités,
- la connaissance permet de mettre en lumière des incohérences, les contradictions, les anomalies : les informations contraires ou divergentes d'une connaissance remettent en question 1. la validité de l'information en question, 2. la validité la connaissance elle-même.

En voici quelques exemples. Soient les informations suivantes :



- Si **v.** est inconnu ou invalide, alors si on considère **ïi.** et **iii.** comme des connaissances valides, alors l'information hypothétique **vi.** précisant que Le miroir 2 du télescope Bernard Lyot est de forme concave et parabolique
- Si au contraire, **v.** est considérée comme valide, tout comme **ii.** et **iii.**, alors un conflit est crée, une anomalie est détectée. Cette anomalie génère un traitement postérieur nécessaire :
  - Est-ce que le télescope a été mal caractérisé ? (**i.** est incorrect)
  - Est-ce que le miroir a été mal caractérisé ? (**v.** est incorrect)
  - Est-ce que les types de miroirs d'un Cassegrain sont autres que ceux décrits dans **ii.** et **iii.** ?
  - Faut-il ajouter une exception ? (Ce serait un Cassegrain exceptionnel, ne correspondant pas à la définition générique)

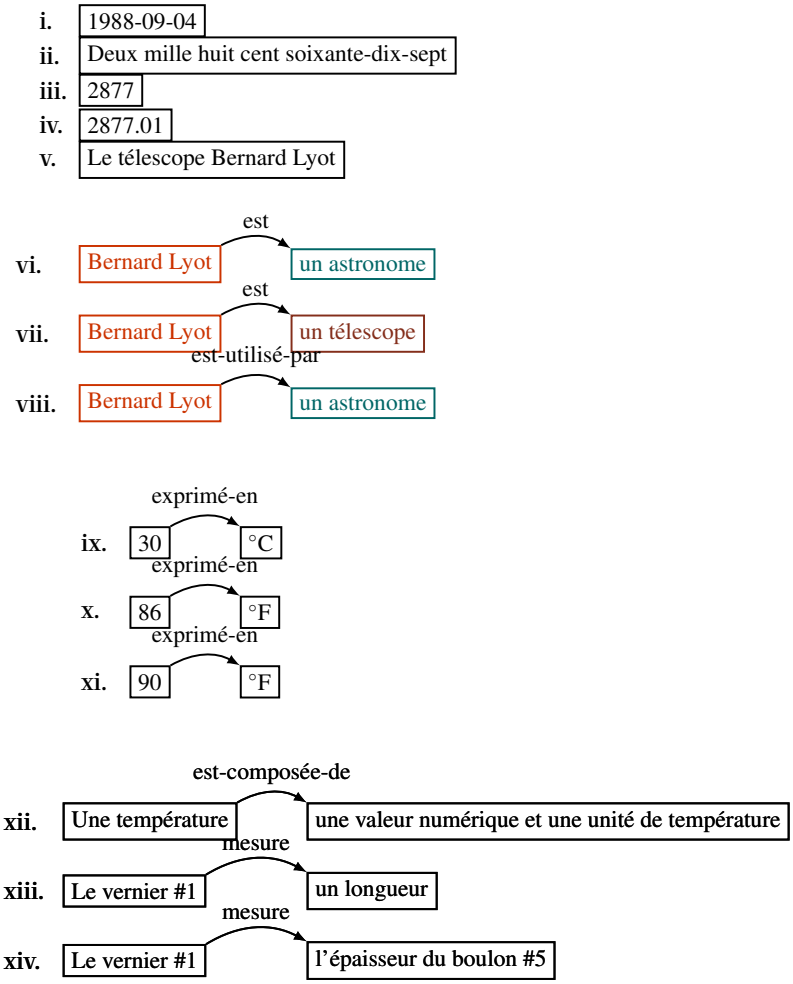
> **Proposition pour l'outil 10**
> L'outillage informatique doit permettre l'explicitation de la validité des informations et d'explorer différents hypothèses.

L'usage que je fais du terme *connaissance* n'est qu'une partie limitée de la connaissance explicite de Nonaka [NTU96] : les traces de la connaissance explicite stockée dans des documents informatiques. Les traces des connaissances contenues dans une base de données (les informations génératives de la base ou les règles qui la structurent), dans l'optique de Nonaka, sont en quelque sorte la version informatique du *Ba* [NK98] de cette base.

5.1.2 Diversité et hétérogénéité des données

Je souhaite encore distinguer 2 notions : la diversité et l'hétérogénéité. La diversité est due à l'existence de différents types de données et informations. L'hétérogénéité pour sa part est due à l'incompatibilité (onto)logique de la présence d'un type ou d'un autre.

Motik et Horrocks désignent principalement trois types de données [MH08], des données basées sur du texte, des données basées sur des chiffres et des indications temporelles (dates et heures). De cette vision transparait l'influence du W3C (et ses datatypes) sur les concepts utilisés en consensus. Selon les modèles de données utilisés, d'autres types de données, de plus haut niveaux se distinguent. Outre cette forme, ce format des données et informations, la diversité réside également dans leur fond, dans le sens produit par leur interprétation.



Les cinq premiers exemples nous montrent la diversité des informations, des dates (au format ISO 8601[WW98]), des valeurs numériques ou des chaines de caractères. Ils montrent aussi l'hétérogénéité que l'on peut rencontrer. Si c'est une donnée en grandeur chiffrée qui est attendue en format entier (*integer*), peut-être trouvera-t-on la même valeur ou une valeur proche, mais en nombre décimal, ou peut-être la même valeur, mais écrite en toute lettre. Seule l'interprétation des exemples **ii.**, **iii.** et **iv.** permet de les rapprocher, de les assimiler comme porteurs d'une information analogue. Pareillement, les exemples **ii.** et **v.** sont tous deux des chaînes de caractères que seule l'interprétation permettra de distinguer (dans ce cas-ci, l'interprétation n'aura pas à être d'un niveau élevé).

Les trois exemple suivants (**vi.** à **viii.**) montrent la diversité des informations. Pour chacun d'entre eux, les informations ne varient que d'une composante. **vi.** et **vii.** définissent de façon diverse la nature de Bernard Lyot, quand **viii.** nous informe sur son utilisation. L'hétérogénéité d'information surgit à nouveau lorsque Bernard Lyot est à la fois astronome et télescope. Sans trop nous avancer, il nous semble que dans peu d'ontologies on trouvera un instrument scientifique qui pourra être également humain. Seule l'interprétation permettra de distinguer les deux Bernard Lyot de **vi.** et **vii.**, et d'associer avec une bonne probabilité celui de **vii.** avec celui de **viii.** Là où la diversité traduit une différence de nature, l'hétérogénéité traduit une déviation de l'attendu.

Les six exemples suivants montrent l'influence des connaissance sur l'hétérogénéité des informations. C'est en effet seulement en interprétant les exemples **ix.**, **x.** et **xi.** et en ayant accès à l'information génératrice de conversion entre degrés Celsius et Farenheit qu'il sera possible d'assimiler les informations **ix.** et **x.**, tout en distinguant **xi.** des deux autres.

De même, l'information **xii.** pourrait être considérée comme connaissance, permettant l'identification, la création de nouvelles informations relativement à **ix.**, **x.** et **xi.** : sont assimilables à Une température.

Enfin, le fait que les connaissances soient des informations génératrices produit aussi diversité et hétérogénéité de connaissance.
Si **xiii.** est considérée comme une connaissance valide : elle produit que l'épaisseur du boulon #5 correspond à une longueur. Si, en revanche, parce que le le vernier #1 est installé sur un pied à coulisse fixé pour ne produire des mesures que sur ledit boulon, et si **xiv.**. est considérée comme une connaissance valide. Alors toutes les longueurs mesurées par ce vernier seront des épaisseurs de ce même boulon : les informations générées par cette nouvelle connaissance seront encore différentes.

Avec ces éléments de vocabulaires clarifiés, regardons la documentation. J'essaie d'en dresser une typologie, qui permettra de mieux comprendre comment les documents sont utilisés. Nous descendrons ensuite au niveau inférieur pour regarder données et informations. Enfin, le paragraphe suivant se terminera par quelques considérations sur les opérations réalisées sur la documentation.

5.2 Les documents

La documentation est elle-même patrimoine collectif, lorsqu'elle est conservée dans les archives, en bibliothèque. En retour, peut-être un

peu paradoxalement, par ses propriétés mémorielle et de transmission, elle est au cœur des travaux historiogrpahique et patrimoniaux (qu'ils se penchent sur du patrimoine matériel ou du patrimoine immatériel). Dans un chapitre précédent, je montrais que les informations portées par la documentation donnent une contenance aux attributs, réifications des valeurs justifiant la décision de conservation patrimoniale. Les commissions de classement ou de déclassement produisent elles aussi des documents attestant des décisions.

Deux liens apparaissent entre la documentation et le patrimoine :

— d'une part les attributs patrimoniaux sont définis, décrits, attestés dans la documentation,

— d'autre part, les différentes étapes d'analyse et de décision produisent des nouveaux éléments de documentation.

Pour essayer de mieux percevoir l'articulation entre le patrimoine et la documentation, je vais essayer de distinguer différentes facettes des documents, dans leurs types et natures, que nous prolongerons au niveau inférieurs des données et informations, et puis au regard des opérations réalisées.

L'équation $support+inscription$ sera notre guide pour dresser des typologies des documents. Je pose ici, un peu arbitrairement, une distinction entre *types de support* et *types d'inscription* de documents. En peu de mots et en généralisant, le type de message véhiculé par le document en définit le *type d'inscription* alors que son *type de support* dépend de sa matérialité.

5.2.1 Les types de support de documents

Le document se construit pour une part important par son rapport au temps. Pour assurer ses fonctions de mémoire et de transmission, il doit survivre dans le temps. Historiquement, les supports matériels les plus divers ont été utilisés pour permettre aux documents cette persistance. Les approches archivistiques classiques montrent la diversité des substrats, minéraux ou organiques. Entre autres toiles, parchemins, granits, vélins, papiers, bronzes, cires, argiles, et même, plus récemment, les matières plastiques de synthèse (e.g. vinyles, éthanes ou éthylènes, dans la plupart des cas), ont été utilisées comme support à l'inscription documentaire.

Directement rattachée à la question du support nous associons le type de technique d'inscription. Les théoriciens en sciences de l'ingénieur, proposent des modèles afin de les distinguer : inscription par

retrait de matière, inscription par ajout de matière, inscription par moulage/formage, inscription par traitement de surface ou de volume. La classification standard des procédés de fabrication (de la norme DIN 8580 [DB10], par exemple) développée pour les procédés de fabrication industrielle montre ici sa pertinence en dépassant son premier cadre d'application. La norme allemande définit les procédés suivants :

***Urformen* Mouler** E.g. L'intégration d'une inscription dans le moulage d'une cloche en bronze (c.f. figure 5.2, à gauche)

***Umformen* Façonner sans enlèvement ou apport de matière** E.g. La déformation d'un tube de verre pour en faire un néon produisant une inscription (c.f. figure 5.2, à droite)

***Trennen* Séparer, couper** E.g. La gravure sur une fontaine d'ablution en grès rose (c.f. figure 5.3, à gauche)

***Fügen* Assembler** E.g. L'inscription sur métal par soudure (c.f. figure 5.3, au centre)

***Beschichen* Traitement par couches** E.g. L'écriture au fusain ou la peinture à l'huile (c.f. figure 5.3, à droite)

***Stoffeingenschaften ändern* Altération des propriétés des matériaux** E.g.L'inscription par décoloration sur tissus teint (c.f. figure 5.4) ou l'inscription sur papier photo sensible par exposition à la lumière.

Ces exemples reflètent la grande diversité du support et des modalités de la création des inscriptions. Tous les procédés ne sont pas applicables pour tous les supports, mais un même support se voit souvent sujet à plusieurs types d'inscriptions. Cette classification de la documentation par technique importe lors du choix de sa réalisation. Les documents réalisés sont interprétés, et révèlent différents types d'inscription.

Figure 5.2 – Exemples d'inscriptions. À gauche : Une cloche de la cathédrale de Troyes (FR) - © Bennani, M. © Ministère de la culture | À Droite : Dragon en néon *Museum Of Neon Art*) - © CC0 wikipedia user Andrew-KeenanRichardson

Figure 5.3 – À gauche : Fontaine d'ablutions de la synagogue d'Haguenau - © Ministère de la Culture (France) | Au Centre : Inscription par soudage sur plaque d'acier - © @aceofmicrowelding sur *Instagram* | À droite : "L'astronomie et la Géographie", Huile sur toile - © Musées CG58

Figure 5.4 – Inscription sur tissus par décoloration - © Etienne Savaria

5.2.2 Les types d'inscriptions de documents

Bien qu'il existe différents thésaurus pour décrire des typologies de documents, comme Dublin-Core [Wei97], ou encore UNIMARC qui tend vers FRBR$_{OO}$ [DMS10, PSK11, BDLBR15], je n'ai pas trouvé d'approche typologique satisfaisant la diversité de documents, d'autant plus, que ces typologies de document dépendent de leur réception, des intentions d'interprétation du document[Péd06]..

Les documents visuels

Ce type de document me semble être aujourd'hui, de loin, le plus important en nombre (je veux dire le plus largement accessible et le plus produit) et en diversité. Je distingue trois formes principales de documents visuels : les textes, les images et les collections.

Les documents textes

Les inscriptions documentaires peuvent être du *texte*. C'est à dire, une série de symboles qu'il est possible d'interpréter dans des langages naturels. Ces symboles correspondent à des entités et des relations, articulées les unes avec les autres afin d'exposer, dans un certain ordre un propos. Les figures 5.5 et 5.6 présentent deux exemples de textes.

Puisque son support n'importe pas, le document texte est caractérisé par sa linguistique et sa graphie. Ce type de d'inscription comprend : les manuscrits, les imprimés, les tapuscrits, et les compuscrits, les productions calligraphiques, les textes peints, les textes insolés, etc.

Les collections structurées

Les documents cherchant à collecter et à mettre en relation des entités et des quantités sont concernées par cette typologie. Ils peuvent s'exprimer dans la forme classique du tableau (c.f. figure 5.9, mais leur forme n'y est pas limitée, comme par exemple les figures 5.7 et 5.8. Ils ne présentent pas d'autre explication que l'ordre des grandeurs (par leurs valeurs, par leur chronologie d'entrée, etc).

Tableaux, matrices, graphiques, documents structurés, fiches synthétiques ou encore bases de données informatiques composent cette catégorie.

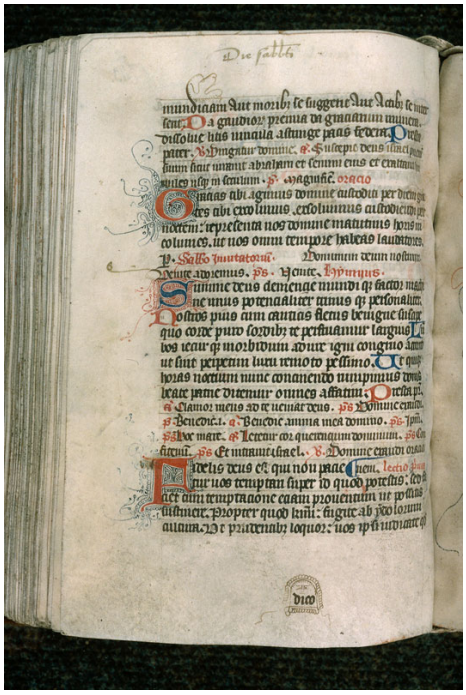


Figure 5.5 – Extrait du *Bréviaire à l'usage de l'abbaye Saint-Faron de Meaux* - © Institut de recherche et d'histoire des textes - CNRS

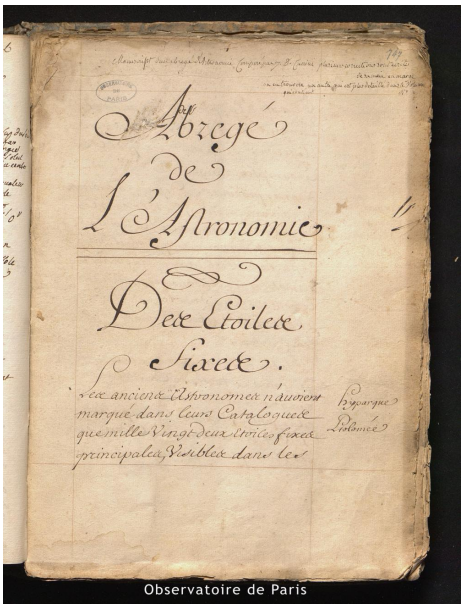


Figure 5.6 – Première page du manuscrit de l'*Abrégé de l'Astronomie*, Cassini, Jean-Dominique (1625-1712), - dans le fonds CASSINI I - Bibliothèque de l'Observatoire de Paris

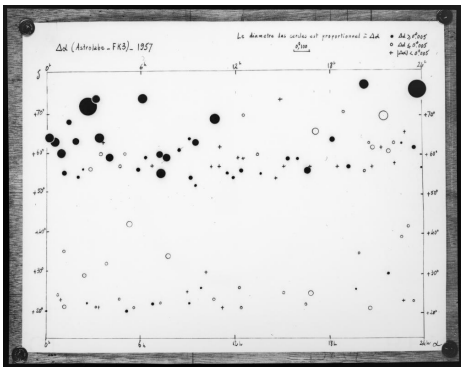


Figure 5.7 – Reproduction de diagramme de l'*Astrolabe de Danjon*? - Bibliothèque de l'Observatoire de Paris

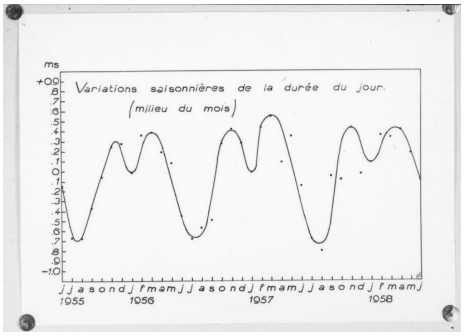


Figure 5.8 – Exemple de document *collection de quantités* : *Variations saisonnières de la durée du jour* - Jean Counil, Bibliothèque de l'Observatoire de Paris

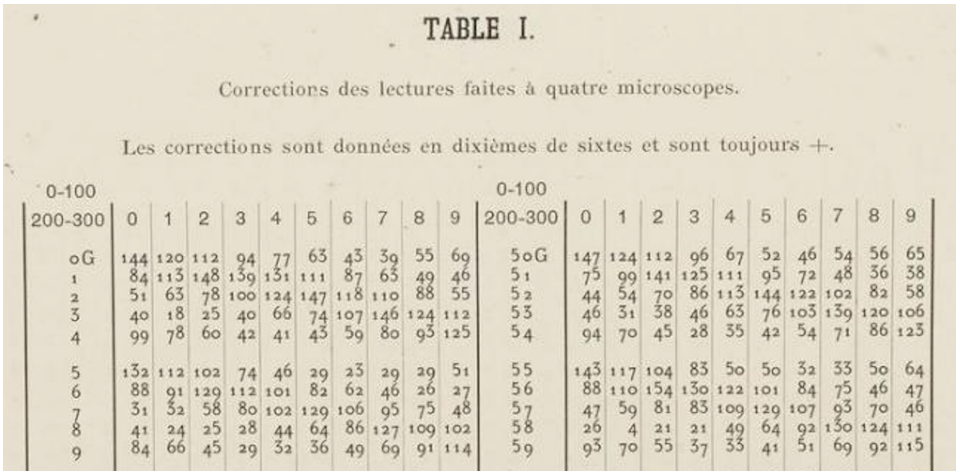


TABLE I.

Corrections des lectures faites à quatre microscopes.

Les corrections sont données en dixièmes de sixtes et sont toujours +.

0-100 / 200-300	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
oG	144	120	112	94	77	63	43	39	55	69
1	84	113	148	139	131	111	87	63	49	46
2	51	63	78	100	124	147	118	110	88	55
3	40	18	25	40	66	74	107	146	124	112
4	99	78	60	42	41	43	59	80	93	125
5	132	112	102	74	46	29	23	29	29	51
6	88	91	129	112	101	82	62	46	26	27
7	31	32	58	80	102	129	106	95	75	48
8	41	24	25	28	44	64	86	127	109	102
9	84	66	45	29	32	36	49	69	91	114

0-100 / 200-300	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50G	147	124	112	96	67	52	46	54	56	65
51	75	99	141	125	111	95	72	48	36	38
52	44	54	70	86	113	144	122	102	82	58
53	46	31	38	46	63	76	103	139	120	106
54	94	70	45	28	35	42	54	71	86	123
55	143	117	104	83	50	50	32	33	50	64
56	88	110	154	130	122	101	84	75	46	47
57	47	59	81	83	109	129	107	93	70	46
58	26	4	21	21	49	64	92	130	124	111
59	93	70	55	37	33	41	51	69	92	115

Figure 5.9 – Extrait d'une table des corrections des observations, *(1906) Observations faites au cercle méridien (Abbadia)*, Observatoire d'Abbadia, 1906 - Bibliothèque de l'Observatoire de Paris

Les images

Dernier type de documents visuels, les images. Celles-ci sont strictement portées par ce qui est appelé des langages *visuels*. Elles représentent des objets par forme et les relations entre ces formes.

Ce sont les photographies (c.f. figure 5.10), les dessins(c.f. figure 5.12, les esquisses, les estampes, les croquis, les peintures, les lithographies (c.f. figure 5.11), etc.

Le flou entre ces trois catégories de documents

Je suis conscient du côté artificiel de cette classification. C'est sans doute en partie une des raisons qui a compliqué la recherche d'une typologie documentaire de référence largement inclusive à laquelle s'adosser. Les frontières entre les types sont fines et il nous semble en réalité que ces typologies de documents graphiques dépendent autant du récepteur que de l'émetteur. Dans la figure 5.8, Jean Counil produit un graphique pour représenter des quantités de durée de jour. On pourrait choisir de n'en garder que la forme, oublier les échelles et les légendes et de le considérer comme un dessin, comme un document *image*. Le document aura la forme que le récepteur voudra bien lui concéder. Ou inversement, l'auteur du document peut également proposer plusieurs vues, ou les

Figure 5.10 – Photographie intitulée *Bal du mariage Moreau Moinet, en avril 1899, à Vanzay* - © Inventaire général, ADAGP | Photo : Eric Dessert

Figure 5.11 – Plan de la ville de Mulhouse de 1797 - © Inventaire général | Photo : Marie-Philippe Scheurer

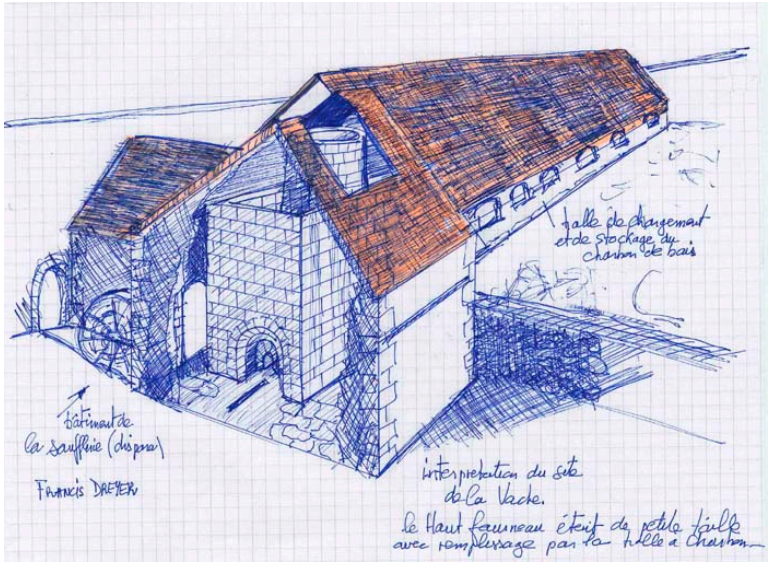


Figure 5.12 – Croquis de l'usine métallurgique dite les forges de la Vache - © Inventaire général | Photo : F. Dreyer

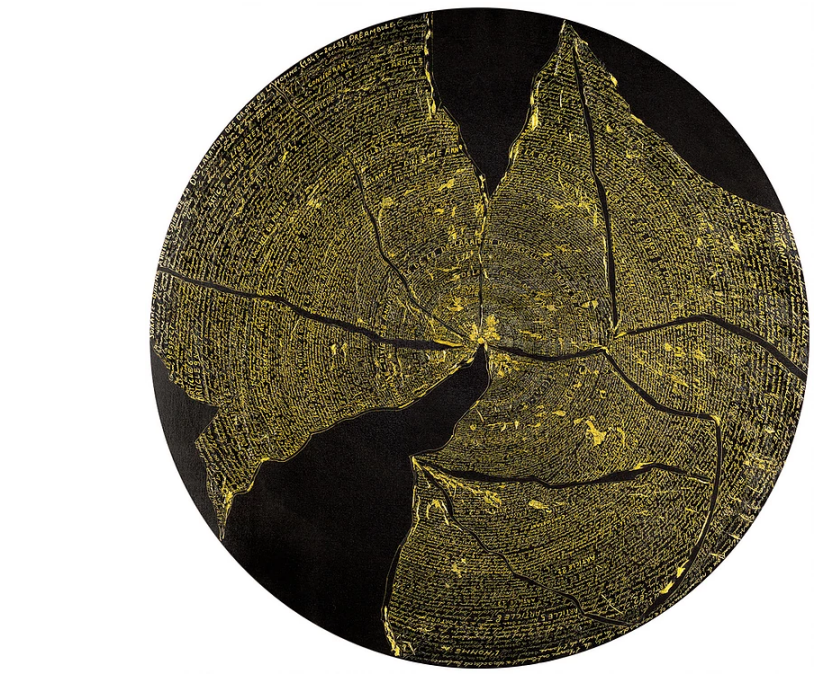


Figure 5.13 – La *Déclaration des Droits de l'Homme*, encres vernies sur toile © Guillaume Bourquin, 2018

combiner. Les calligrammes, sont un type caractéristique de ce flou dans les distinctions arbitraires que nous avons posées. Très proches de cela, les œuvres d'art comme celle de la figure 5.13 illustrent également la dialectique possible entre ces conceptions des documents visuels.

Dans une autre perspective, les documents cartographiques mêlent des collections, du texte et également un besoin de langage graphique pour synthétiser ou favoriser la compréhension du texte et/ou des collections. La figure 5.14 montre un exemple assez complet des différentes dimensions visuelles d'un tel document.

Cependant, bien que la réception autant que l'émission influent sur la façon dont les documents seront classifiés, l'informatique pousse à cette classification en cherchant à représenter un aspect particulier de la réception. Par exemple, comment numériser la figure 5.13 ? Est-ce le texte manuscrit qu'il faut retranscrire dans un fichier numérique ? Est-ce en la photographiant pour en conserver la forme ? Il me semble ces distinctions entre les documents visuels traduit essentiellement

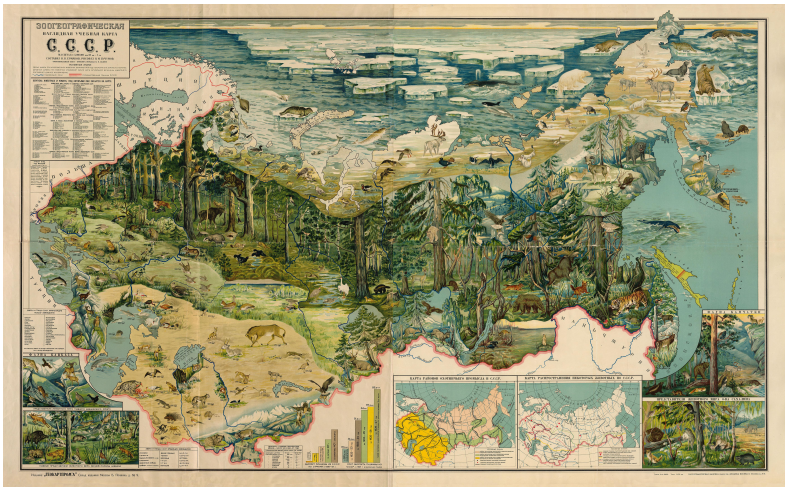


Figure 5.14 – *Carte éducative zoo-géographique de l'URSS*, crée vers 1928
© N.M. Buchunov et V.V. Ermakov, Bibliothèque d'État de Russie

les intentions d'étude de l'instrument. Et puisque ces intentions sont complémentaires dans la plupart des cas, la volonté de produire des fiches combinant les fichiers informatiques montre ici aussi son intérêt.

Tous les autres documents

Nos sens ne nous donnent pas accès à la totalité du réel. Nous ne voyons que dans le spectre du visible, n'entendons qu'entre environ 20 et 20000Hz, nos capacité au toucher varie selon la zone du corps et ne fonctionne (évidement) qu'au contact, et là aussi dans une plage de sensations, et certains composés échappent tout à fait à notre perception du goût ou à celle de l'odorat. Il existe des objets, des documents, auxquels nos sens ne nous donnent pas directement accès. Je prenais en début de chapitre l'exemple d'un échantillon pour un test anti-dopage. Briet développe un exemple encore plus exotique en avançant le cas d'une antilope dans un zoo[Bri51] : l'animal, comme document de l'espèce. On peut penser aux éprouvettes dans les tests de fatigue pour la caractérisation des matériaux, ou encore aux objets trouvés dans les campagnes de fouilles archéologiques.

Pour faire de ces objets des documents, nous produisons des artefacts intermédiaires qui nous sont directement accessibles, créant ainsi une chaine de transfert du statut documentaire, de l'authenticité et de

Figure 5.15 – A gauche : Panneau des lions de la Caverne du Pont d'Arc - CC-BYSA 4.0 Claude Valette | Au centre : Rayonnement infrarouge d'un bâtiment géré par Historic Environment Scotland - © HES | À droite : Maquette de la salle à manger de Néron - © Matthieu Quantin / Photo Florent Laroche

la validité du contenu. La confiance dans le processus de production documentaire, dans l'intégrité de l'information et des opérations génératrices de documentation sont les éléments clés dans ce transfert du statut documentaire.

Ces documents sont plus difficiles à typer, ils pourraient être simplement caractérisés comme *matériels*. La figure 5.15 présente trois exemples. D'abord, un mur de la caverne du Pont d'Arc, document en lui même inaccessible sans risquer sa destruction. Aussi, un document intermédiaire, une reproduction, une interprétation de la caverne a été produite pour la rendre accessible. Au centre, l'image représente l'information du rayonnement infra-rouge d'un bâtiment. Enfin, à droite, le modèle réduit de la salle à manger de Néron produit par Matthieu Quantin permet d'accéder aux fouilles archéologiques ainsi qu'au travail des archéologues au travers d'un seul document.

Cette dernière catégorie documentaire rapproche dangereusement la documentation du patrimoine : il peut être difficile de distinguer l'un de l'autre. En effet bien des objets patrimoniaux sont utilisés comme documents ; en retour bien des documents anciens peuvent être reconnus comme patrimoniaux. Cette frontière entre documentation et patrimoine me paraît être une question à part entière qu'il sera bon d'envisager postérieurement de façon complète.

Proposition pour l'outil 11
L'outillage informatique doit pouvoir se confronter à la multiplicité

> des types documentaires et à la multiplicité de leurs réception, sans restreindre les informations relevées, et sans limiter les modes d'interprétation.

Les documents qui portent un temps de lecture

Il reste enfin, un type de document à considérer à part et qui illustre les propos d'Ellul [Ell14] sur l'immédiateté de l'image et la temporalité de la parole : les documents qui portent en eux-même un temps de lecture. J'en conviens volontiers, je ne sais pas aujourd'hui exactement comment les positionner relativement aux autres. Cette catégorie n'est pas exclusive des autres ; tous les documents sonores nous paraissent y appartenir alors que bien des documents visuels y semblent en général étrangers. Pour être accessibles, ces documents sont *lus*. Autrement dit, ils articulent en une succession chronologique à la temporalité définie des informations. Cette *dys-catégorie* ou cette *quasi-catégorie* comprend entre autres, les enregistrements audio ou vidéo de discours, les documents enregistrés sur bandes magnétiques, les disques compacts de musique, etc.

En synthèse

J'ai essayé de faire le tour des différents types de documents, pour comprendre ce qu'un outil informatique pourrait devoir manipuler. Qu'ils soient relatifs à nos sens ou non, on ne peut que constater leur grande diversité, ainsi que leur rapport à la matérialité et aux techniques, pour les rendre persistants et pour accéder aux informations.

Le prochain paragraphe descend d'un niveau au sein du document et cherche à observer les stratégies mises en œuvre pour agréger les informations les unes aux autres, c'est à dire pour modéliser.

5.3 La documentation informatique des objets

Je distingue plusieurs formes de modélisations permettant de documenter des objets par l'utilisation de fichiers informatiques :

- le dessin technique (particulièrement utilisé en ingénierie mécanique), et plus généralement la représentation des formes des objets, en deux ou trois dimensions, est courante. La représentation géométrique peut-être très codifiée et standardisée, comporte des formes, du texte, des symboles, etc. Ces types de documents sont principalement des *images*.
- la modélisation de systèmes. Lorsque la valeur ajoutée de l'information ne réside pas dans la formalisation géométrique, alors les informations sont rassemblées dans des *collections*. Là encore les collections de données représentant des systèmes peuvent être ordonnés par une structure formelle très codifiée et standardisée,
- enfin, l'information est parfois portée par un récit, alors les documents produits sont des *textes*.

5.3.1 Les outils de la modélisation géométrique

La documentation par modélisation géométrique concerne plusieurs corps de métiers dans une diversité toujours plus grande, au point que je n'espère par ici atteindre une forme d'exhaustivité. La modélisation géométrique représente en 2D ou en 3D, mais surtout se distingue par deux types que j'appellerai modélisation directes, c'est à dire les activités de dessin et de conception) et indirectes, par capture de forme instrumentée, c'est à dire les activité de photographie, de numérisation par laser, etc.

Modélisation par le dessin

Par dessin, j'entends les activités de création de forme plus ou moins réaliste. Cela inclut les modélisations la création d'images numériques (en 2D ou en 3D), mais la conception de pièces ou de systèmes en 2D ou en 3D (modélisation 3D, modélisation architecturale, création de schémas, etc.)

Les outils Je me cantonnerai à évoquer ici les outils principaux de mon point de vue, mis en œuvre dans la production documentaire patrimoniale. Des logiciels de conception électronique ou électrotechnique

(comme KiCad ou Gmsh), ou des logiciels de conception moléculaire (tels que RasMol), bien que relevant du même mouvement général en sont écartés.

En 2 ou 3 dimensions, pour la conception mécanique, j'ai retenu CATIA (présenté dans le tableau 5.1). NX, AutoCAD et PTC Creo présentent des fonctions proches, ce sont tous des logiciels bien intégrés dans les chaînes CAO/CFAO. Il existe également des outils Open Source (FreeCAD et Libre CAD), qui semblent moins utilisés dans l'industrie. Dans une même idée, Revit, ArchiCAD et SketchUp sont (globalement) comparables, en tant qu'outils de dessin pour l'architecture, je ne présente ici que Revit dans le tableau 5.2. Blender et 3ds Max sont des purs modeleurs 3D, c'est à dire qu'ils produisent des formes et des environnements tridimensionnels éclairés et texturés. Le tableau 5.3 détaille 3ds Max. En 2 dimensions seulement, les logiciels d'édition d'images (Photoshop, Gimp, ...) sont également couramment utilisés.

Capture de la forme

D'autres techniques de modélisation de la forme ont recours à des capteurs. La photographie numérique, ou la télémétrie laser en sont les formes les plus courantes (pour référence à ce sujet, les travaux du consortium 3D cf. [VBC+17], d'Heinrich Schwenke [SWK99], ou l'approche comparative de Mark Chan et al. [CDGL05]). À leur issue, des points colorés (en matrices ou en nuages), que l'on pourra ensuite positionner en trois dimensions, mailler, filtrer... pour obtenir la forme finale (entre autres les travaux de Witold Niewiem [Nie18], ou d'Eloi Gattet [Mer]). Meshlab, par exemple, est un « mailleur », c'est à dire qu'il transforme les nuages de points en groupe de facettes jointes les unes aux autres et permet ainsi de produire des formes aux contours fermés. CloudCompare est un autre exemple d'outil permettant de manipuler des points en trois dimensions. Outil modulaire, il permet la réalisation de comparaison, de décimations, de filtrages, de maillages, etc. et le tableau 5.5 le présente. D'autres logiciels permettent l'assemblage de photographies, en 2 dimensions, pour produire un modèle tridimensionnel, COLMAP ou Agisoft Photoscan, par exemple.

Les formats

En 2 dimensions on rencontre des JPEG2000, le PNG ou le GIF se différentiant par les techniques d'encodage et de compression de l'information. Des pixels (des points colorés) composent l'image. En 3 dimension,

on retrouve le PTS, le Collada, le STL, le PLY ou encore l'E57 en l'équivalent de ces format. L'unité de base reste le point repéré en trois dimensions, auquel on peut également attribuer une couleur. Cependant, ces formats permettent également de relier ces points entre eux pour former des facettes auxquelles peuvent être attribuées des vecteurs normaux et une couleur. La représentation des formes complexes passe parfois par l'emploi de B-Splines, parfois généralisées en NURBS, c'est à dire des combinaisons linéaires de courbes polynomiales. Différents outils mènent à différents formats de fichiers (3DM, CATPart, OpenCascade,...), standardisés dans des formats d'échange standard, tels que STEP, IFC, IGES ou JT. Parfois ouverts, ces formats largement utilisés dans l'industrie manufacturière, manipulent également d'autres informations que leur modélisations géométrique (structure du produit, liaisons entre pièces, informations d'usinage, etc.). Certains formats ont été spécialement développés pour l'affichage des fichiers 3D sur le web, tels que X3D.

Table 5.1 – Fiche d'identité de CATIA

CATIA	
Date de création 1977 : CATI 1981 : CATIA 1998 : CATIA V5 2008 : CATIA V6	Editeur Dassault Aviation en 1977 **Dassault Systèmes** (1981)
Activités Modélisation directe Modélisation paramétrique Modélisation 3D filaire Modélisation 3D surfacique Modélisation 3D volumique Simulation Modélisation 2D Asseblage virtuel de pièces	Formats de fichiers Pour CATIA V5 **.catpart** **.catproduct** **.catdrawing** IGES STEP .dxf .dwg .stl .wrl

Table 5.2 – Fiche d'identité de Revit

Revit	
Date de création 1997 : Revit Août 2000 : Revit V2 Janv 2002 : Revit V4.1 2002 : Revit 2018 : Revit 2018 2019 : Revit 2019	Editeur Charles Rivers Software Revit Technology Corp. Autodesk
Activités Modélisation mécanique Modélisation électrique Modélisation de plomberie Modélisation 3D volumique	Formats de fichiers Pour Revit 2019 **.rvt** (projet) **.rfa** (famille) **.rft** (gabarit de famille) .rte (gabarit de projet) .dwg .dxf .dgn .png

Table 5.3 – Fiche d'identité de 3ds Max

Autodesk 3ds Max	
Date de création 1988 : 3D Studio Prototype 1992 :3D Studio V2 1996 : 3D Studio MAX 1.0 2000 : Discreet 3dsmax 4 2005 : Autodesk 3ds Max 8 2007 : Autodesk 3ds Max 2008 2018 : Autodesk 3ds Max 2019 2019 : Autodesk 3ds Max 2020	Editeur Yost Group Autodesk
Activités Modélisation de surface complexes	Formats de fichiers Pour 3dsmax 2018 **.fbx** **.sat** **.prt** **.step** **.jt** IGES **.rvt** **.catproduct** **.catpart**

Table 5.4 – Fiche d'identité de Meshlab

Meshlab	
Date de création 2005 : Meshlab	Editeur ISTI, CNR
Activités Alignement de maillages Remaillage Nettoyage de maillages Colorisation et analyse de maillages	Formats de fichiers **.ply** **.stl** **.obj** **.3ds** **.dae** **.ptx** **.vrml** **.dxf** **.x3d** **.u3d** **.xyz**

Table 5.5 – Fiche d'identité de CloudCompare

CloudCompare	
Date de création 2004 : CloudCompare 2007 : CloudCompareV2 3D Studio V2 2009 : CloudCompare V2.1 2019 : CloudCompare V2.10	Editeur EDF R& D
Activités Maillage d'un nuage de points Nettoyage de nuage de points Calcul de distances Calcul de volumes Intégration de données capteurs Segmentation de nuages	Formats de fichiers Pour CATIA 2019 **.bin** ASCII **.las** **.e57** **.ptx** **.fls** **.ply** **.obj** **.stl** **.fbx** **.dxf**

5.3.2 Les bases de données

Le format tableau, structure depuis plusieurs milliers d'années nos collections d'informations [CKCF+03]. Il est repris pour la structuration des données dans la plupart des bases de données[BG12]. Cependant, ça n'est pas la seule forme de structuration.

La première grande famille de bases de données, composée de tables sont les bases de données relationnelles, qu'il est possible d'exploiter en utilisant SQL (*Structured Query Language*, Langage de Requête Structurée). Les données y sont organisées en tables reliées entre elles au besoin, par le recours à des clés, des identifiants d'entrées dans les tables. NoSQL est la seconde grande famille : elle regroupe toutes les bases de données qui ne sont pas seulement relationnelles. Parmi elles, un sous-groupe nous intéresse tout particulièrement, les bases de données orientées graphe.

Dans ce type de bases de données, les informations sont structurées en nœuds et arêtes. De façon indifférente, les nœuds peuvent représenter des entités et les arêtes des relations, ou inversement. La vue la plus répandue est que les entités sont placés aux nœuds du graphe, tandis que les relations en sont les arêtes. En cela, bien que la base de données que nous avons constituée pour nos travaux préliminaires au Pic du Midi, ait été réalisé en SQL, ces bases orientées graphes sont très proches de notre fonctionnement initial.

Parmi les bases de données orientées graphe, on distingue différentes technologies :

- les triplestore qui exploitent RDF et sont uniquement constitués de graphes non-pondérés, mais permettent les inférences.
- les graphes pondérés
- les bases de données mixtes (graphes et tables)

Les bases de données orientées graphe ont été développées dans les années 90 pour contrefaire certains désagrément des bases de données relationnelles (notamment la complexité des modèles de données, des *schémas* et permettre de varier les types d'analyse sur les données, sortir de la dualité OLAP, OLTP). Il n'est pas vraiment question de supériorité entre les bases SQL, et les bases de données NoSQL. Développées, la plus ancienne pour sa robustesse et son efficacité à traiter les requêtes, la plus récente pour pouvoir gérer des très grands volumes de données et des modèles de données plus souples, elles trouvent chacune leur pertinence à l'usage.

Dans leurs deux cas, leurs entrées (*record*) sont des représentations des objets modélisés. Lorsqu'elles contiennent une description de leur structure interne, elles sont appelées *self-describing* et lorsqu'elles contiennent les éléments et les relations entre ces éléments, elles sont dites *intégrées* [KAH07]. Autrement dit, les bases de données sont des rassemblements d'objets et, possiblement, de leurs relations.

Les modèles de données

Les formalismes pour exprimer le rassemblement de données ont 2 niveaux :

- des langages de requête et d'enregistrement des données et des informations, d'une part (que l'on appelle *Langage de Définition de Données*, ou *LDD*), c'est la syntaxe opérante.
- des langages permettant la formalisation de modèles relatifs à l'interaction entre les données ou pour exprimer les représentations et les concepts de métiers, c'est la syntaxe structurante.

Les langages de définition de données ne conditionnent pas les données manipulées, ils permettent leur manipulation, indépendamment de contraintes logiques ou conceptuelles, alors que le second niveau pilote directement la structure et les contraintes régissant ces données.

Nous avons déjà, dans le cas de la modélisation de l'Observatoire du Pic du Midi évoqué un premier besoin de robustesse dans la manipulation des données ainsi qu'un second besoin de souplesse pour conserver la capacité à gérer le détail, la nuance. Ces besoins ne sont en rien exclusifs à l'étude patrimoniale, aussi dans deux mouvements conjoints ont été développés des langages et formalismes de modélisation des données, permettant de définir et de gérer correctement les types d'objets manipulés et leurs inter-relations (gestion de la granularité, de la cardinalité, des règles logiques d'articulation). De l'autre, des outils pour réconcilier les modèles différents, pour permettre l'interopérabilité malgré les différences de modèle conceptuel.

Les langages de modélisation des données

De nos discussions avec les différents partenaires du projet ReSeed, l'un des enjeux aura été de développer un modèle de données pour gérer les informations relatives aux objets de patrimoine culturel. Deux formalismes sont directement issus des communautés développant des

logiciels, afin de spécifier les types de données des applications. Le modèle entité-association et l'UML combinent deux utilités (en plus d'être des langages visuels. [Kob99]) :

- Communiquer facilement et visuellement, dans le cas d'UML à propos d'objets, de leurs typologies, de leurs liens, à propos du modèle des données mis en œuvre dans le logiciel. Faciliter la vision globale et la vision générique du système de gestion d'information en question.
- Concevoir le modèle de données *sur papier* avant de développer l'outil qui gère les informations. Penser à la structure avant la mise en œuvre.

L'UML (Unified Modelling Langage) dont la sortie en V1.0 date de 1997 a connu une évolution et une série d'extension, jusqu'à sa version actuelle de 2017, numérotée 2.5.1 [UML17].

Les langages de représentation des connaissances

La notion d'ontologie formelle est plus récente que celle de modèle de données[Gru93]. Davantage nourrie par l'autre extrémité de l'informatique, c'est à dire l'utilisateur, l'ontologie formelle est un moyen de modéliser formellement la structure d'un système, c'est à dire les entités et les relations pertinentes qui émergent à son observation et qui sont utiles à notre fin [5] [Gua97], [GOS09], [GG95].

Le terme d'ontologie reprend celui de la métaphysique où l'Ontologie [6] étudie ce qui *est*, et les propriétés intrinsèques de ce qui est, dues précisément à sa nature. OWL (*Web Ontology Language* est, comme son nom l'indique, un langage permettant la formalisation d'ontologies. C'est par ailleurs une recommandation du W3C (*World Wide Web Consortium*) [CL17], [G+09]. Tel que le décrit Gruber [Gru95], « *For AI systems, what 'exists' is that which can be represented* » (Pour un système d'intelligence articifielle, ce qui 'existe' est ce qui peut être représenté). Cette affirmation ne nous semble pas excessivement choquante, comment, en effet pourrait-on attendre d'un système informatique qu'il invente ou produise des entités, des classifications [7] *ex-nihilo* ?

Utilisant le format RDF (Ressource Description Framework), créé pour formater les technologies du web sémantique, l'OWL et les ontologies

5. « a means to formally model the structure of a system, i.e., the relevant entities and relations that emerge from its observation, and which are useful to our purposes », dans l'article de Guarino et al. de 2009

6. Je fais ici la même distinction dans la graphie que Guarino

7. Nous reviendrons sur la question des classifications dans quelques paragraphes

produites en OWL sont d'abord utilisées pour structurer des bases de données orientées graphe [GCFZ12]. La puissance de l'OWL tient en ce qu'il permet d'inclure des règles de logique de premier ordre (calcul des prédicats) et ainsi la production d'inférences, c'est à dire de génération de nouvelles informations par l'application de règles logiques prédéfinies sur les typologies de données et d'informations.

Il existe plusieurs éditeurs graphiques permettant la création et l'édition d'ontologies en OWL. *Protégé* en est le représentant le plus abouti et le plus utilisé dans les programmes de recherche à ma connaissance [M+15]. L'utilisation des ontologies explicitant une représentation experte d'un domaine produit des systèmes de gestion d'informations appelés des *knowledge based systems* (sytèmes à base de connaissance).

UML vs. OWL

J'ai distingué ces deux types de langages de modélisation, mais ils partagent une très grande part de propriétés. Le tableau 5.3.2 les présente. Leurs visées ne sont cependant pas parfaitement exactement les mêmes. Là où l'UML est orienté en direction des *architectes*, concepteurs du modèle de données, l'OWL et ses usages permettent mieux la discussion entre expert de différents domaines ayant besoin de travailler en concorde. L'OWL permet de plus de contraindre fortement sur les *domains* et *range* des propriétés, c'est à dire sur la nature des nœuds reliés par la relation, assurant une forte cohérence logique des données [Păt15]. L'UML pré-datant l'OWL, et les quelques possibilités supplémentaires apportées par l'OWL, les seules entreprises de conversions que nous ayons rencontrées entre UML et OWL se font du plus ancien vers le plus récent [GDDD04], [ZJL11]. Cependant, l'usage de l'UML étant plus largement répandu, d'autres initiatives permettant la modélisation en OWL au travers d'un formalisme UML ont vu le jour [BVEL04], [BBČ+10].

La force de ces modèles conceptuels, dans ces représentations de systèmes, de mon point de vue, réside dans leur multiplicité : Quelque soit le formalisme de modélisation utilisé, les modèles sont ajustés soit aux besoins des utilisateurs, soit à la compréhension des concepteurs de la modélisation. Cet ajustement fin peut cependant être problématique lorsqu'il s'agit de faire inter-opérer des bases de données conçues de façon indépendantes. L'autre face de cette limite est technique : l'ensilage. Comment accéder aux bases de données dont on ignore l'existence ? Comment extraire les données lorsque les détails techniques permettant leur exploitation ne sont pas nécessairement accessibles ? Cette mise en silo des données complique leur partage, multiplie les systèmes néces-

Table 5.6 – Comparaison UML-OWL | Similar concepts OWL Elements (repris depuis [Păt15])

UML Elements	OWL Elements	Comments
Class	Class	
Instance	Individual	Unrelated individual in OWL class
Attribute, Bin. assoc.	Property	Global Property exists in OWL
Subclass	Subclass	
Enumeration	OneOff	
Multiplicity	minCardin. maxCardin.	In OWL cardinality only for range
Package	Ontolgy	

saires pour aller récupérer des informations depuis les sources, pour les normaliser, pour les consolider.

> **Proposition pour l'outil 12**
> L'outil informatique doit permettre de rendre interopérable des bases de données constituées de façon indépendantes (d'un point de vue sémantique et d'un point de vue technique).

Le web sémantique, dont nous parlions plus tôt a précisément été pensé afin de répondre, au moins de façon partielle, à cet enjeu.

Le Web sémantique, les données ouvertes liées

La création d'un réseau de bases de données, d'une base de données distribuée, autrement dit constitue l'une des perspectives fondatrices du Web sémantique. En fait, l'idée est la reproduction est l'extension du Web [BLHL+01]. RDF, le référentiel de description de ressources (*Ressource Description Framework*) permet l'interopérabilité des données. Cela passe par plusieurs choix techniques : le formatage des fichiers en xml, en RDF, et en OWL, pour ce qui est des formalismes communs, standardisant la syntaxe. De plus, la création de l'URI, concept transcendant l'URL permettant de référer directement à des données, à des

entités, qu'elles « existent » sur le Web ou non (un fichier html ou encore un serveur connecté à internet sont des entités qui « existe » sur le Web. Le télescope Bernard Lyot, en revanche n' « existe » pas sur le Web. Tout au plus une page Web en faisant la description se rapprocherait le plus de son existence sur le Web).

Les principes FAIR

Plus ou moins bien préparés lors de leur première publication [Ham07], [Aug07], et remis en perspective après quelques années [BZB18], les principes FAIR sont aujourd'hui largement relayés dans les différents milieux de recherche et institutionnels,[WDA+16], [MNV+17], [LTG+19], [dSdedC]. FAIR tient lieu pour :

F - ***Findable*** Les données doivent être trouvables, ou retrouvables.

A - ***Accessible*** Les données doivent être accessibles, « ouvertes ». La question en jeu ici est celle de l'accès technique et des autorisations.

I - ***Interoperable*** Elles doivent être interopérables, c'est à dire se conformer à une sémantique et une syntaxique précise et partagée

R - ***Reusable*** Les données doivent être, dans la mesure du possible, réutilisables par d'autres, pour éviter les doublons.

Développés dans un contexte de croissance de la quantité de données afin d'améliorer l'interopérabilité, ces principes constituent, dans la pratique, un niveau minimum à atteindre pour les projets de recherche financés par de l'argent public, en France via l'ANR et en Europe via Horizon H2020.

Les 5 étoiles

Autre mesure de la réalisation d'un Web sémantique, la notation en étoiles permet d'évaluer la qualité et le niveau d'interopérabilité atteint. Il se décline de la façon suivante :

⋆ Accessible sur le Web, sans contrainte (notamment de format), sauf celui de la licence : Licence ouverte (*Open Data* obligatoire,

⋆⋆ Accessible dans un format compréhensible par une machine (un tableur plutôt qu'une photo d'un tableau, par exemple),

⋆⋆⋆ Idem, mais le format doit être un format ouvert (un fichier .csv plutôt qu'un fichier xls),

⋆⋆⋆⋆ Toutes les conditions précédentes, mais une contrainte s'ajoute sur le formalisme : utilisation de standard ouverts du W3C obligatoirement (RDF et SPARQL) pour l'identification, de telle sorte que d'autres puissent « pointer » vers vos éléments,

⋆⋆⋆⋆⋆ Toutes les conditions précédentes, et certaines données sont liées à des données d'autres pour permettre leur mise en contexte.

Les 5 étoiles sont vraiment très proche des principes FAIR : injonction à la distribution des données, à l'utilisation de formalismes et des langages standardisés pour que le fonctionnement soit partagé et limite des problèmes possibles causés par des restrictions dans les autorisation d'accès et d'utilisation des données.

LOV - Linked Open Vocabularies

En parallèle de ces initiatives, les *Linked Open Vocabularies* viennent en réponse au besoin d'annuaires de vocabulaires, de leurs entités et de leurs relations, afin de permettre une meilleure utilisation partagée des ressources. Ce fonctionnement rappelle le dessin par catalogue : les entités composant la modélisation peuvent être définies par d'autres et partagées entre tous les utilisateurs de façon identique. Une initiative commencée comme un répertoire de vocabulaire du milieu biomédical [CVB+11], Linked Open Vocabularies a vu le jour en 2011 du point de vue du concept [VVR11], et a trouvé une forme stable en 2017 [VAPVV17].

Ces répertoires de vocabulaires et d'ontologies permettent de lutter contre l'ensilage des données en leur préparant une structure partagée, ou partiellement partagée, facilitant les interconnexions lorsque celles-ci sont souhaitées.

L'autre face de la pièce que nous avons considérée plus tôt, c'est à dire que la force de ces modélisation réside dans leurs multiplicité, n'est pas tout à fait réglée par ces pratiques de vocabulaires partagés. Ils permettent une standardisation, réduisant la diversité, mais ne l'empêchent pas. Comment faire lorsque les concepts ne reprennent pas des vocabulaires partagés ? Pour inter-opérer, on cherchera alors à *aligner* les modèles de données.

Aligner les concepts

Les modélisations multiples introduisent la difficulté de la multiple classification. Nous la gérons assez facilement dans la pratique quotidienne : nous classons et reclassons sans cesse pour bâtir notre compréhension. Nous manipulons Les concepts définis sous une même ter-

minologie ne sont pas les mêmes, ou inversement, deux terminologies différentes recouvrent le même concept. Les concepts proches peuvent dans certains cas devoir être regroupés alors que d'autres fois clairement distingués.

De même, et cette fois-ci c'est l'Histoire qui nous apporte son éclairage, les époques, même proches, s'approprient et se rapproprient les concepts et les terminologies [Kos90], [Lan10]. Reinhart Koselleck nous le présente dans ses différentes études terminologiques et sémantiques, notamment autours de la notion de *révolution*. Ces évolutions historiques de la sémantique et du lexique peuvent mener l'historien à hésiter, à osciller entre la tension *externalisme*/*internalisme* et l'historicisme. L'historien, cependant tranche et décide en son nom de l'interprétation qu'il considère, de l'alignement conceptuel qu'il suppose valide, ou avec lequel il opère. Les systèmes informatiques calculent à partir de règles prédéfinies, aussi les classifications établies produiront toujours les mêmes catégories. Ces règles pilotant les classifications restent éloignées de l'utilisateur à qui l'on destine le résultat et la classification produite.

Détachée de la notion de sens [Bac10], l'informatique calculatoire, peut appliquer des règles et des paramètres différents selon les classifications recherchées, elle a cependant à nouveau besoin d'une règle pour piloter ces changements. Le besoin d'outils permettant les alignements de modèles de données et d'ontologies apparaissent alors. Ces alignements conceptuels se basent sur des similarités, calculées de plusieurs façons [EV+04], [GSO+10], [Noy04], principalement à partir :

- des proximités lexicales des labels (noms des concepts) et de leurs description,
- des proximités structurelles des graphes que constituent les ontologies (reconnaissance de motifs).

Certaines techniques d'alignement sont semi-automatiques, alors que d'autres sont tout à fait automatisées, parmi elles, certaines demandent une validation humaine comme [DIL+16], alors que d'autres s'en passent et produisent des résultats sans supervision.

Proposition 1
Les alignements conceptuels permettent de résoudre des problèmes d'interopérabilité des modélisations multiples.

Proposition 2
Les choix des classifications sont autant de biais et d'orientation inévitables à la modélisation. Il semble intéressant d'en garder la trace, de pouvoir les expliciter pour explorer d'autres hypothèses.

Proposition pour l'outil 13
L'outil informatique me semble devoir permettre une forme de dialectique avec l'utilisateur dans les différentes opérations (dont les alignements). Les décisions et paramètres de la modélisation restent de la responsabilité de chacun des utilisateurs, dans leur diversité inhérente aux travaux patrimoniaux.

5.3.3 Technologies pour le texte

Je n'évoquerai ici deux langages complémentaires, le XML-TEI et le HTML.

XML-TEI et HTML

Je ne présenterai pas le XML (*eXtensive Markup Language*), langage de balisage majeur, en revanche une de ses déclinaison cherche tout particulièrement à permettre la formalisation la plus complète possible de documents textuels (manuscrits, et tapuscrits). Développée et maintenue par un consortium éponyme, cette déclinaison du XML est constitué d'environ 550 balises, regroupées en 21 modules [Bur15]. En réalité, on trouve bien plus que 21 façons de modéliser les textes en XML-TEI, car les modules sont utilisés de différentes façons selon les intentions de modélisation. L'utilisation duXML-TEI permet la transcription de documents *physiques* vers leur pendant informatisé. Cela tend à permettre de dépasser les limites de la transcription, en instrumentant les dimensions

- logique : On préciser la structure logique du document qu'est-ce qui est considéré comme titre, chapitre, paragraphe, etc ?)
- sémantique : en précisant ce qui est signifié pour éviter l'ambiguïté. Ainsi, on vient enrichir d'informations une indication de personne, de lieu, de date, ...)

XML-TEI (ou TEI en raccourci) est sans doute actuellement la forme la plus aboutie pour la représentation du texte dans ses multiples dimensions (de structure formelle, de structure logique, de sémantique, etc.). Elle permet la création d'éditions numériques savantes, reproduisant le texte, l'enrichissant dans des versions alternatives et par des annotations. On en trouve aujourd'hui dans un grand nombre de domaines littéraires. Rien que pour les praticiens français, le spectre d'application s'étend aux études des œuvres de Proust [AP13] aux inscriptions anciennes sur parois à Chypre [Hal17] en passant par quelques projets désormais anciens et aboutis, comme les travaux sur les œuvres de Montaigne à Tours [DLD+15].

De plus, la proximité entre XML et HTML permet une transformation automatisée de l'encodage TEI en HTML pour son partage et sa visualisation facilités sur internet au travers d'un navigateur web.

L'hyperlien géré par le HTML permet de lier une partie sélectionnée du texte à une URI (Uniform Ressource Identifier). Si l'URI est une URL,

alors le lien mène à un autre document. L'URI peut aussi pointer vers une ressource de référence, pour spécifier et identifier précisément la portion de texte sélectionnée. Dans la pratique, la tendance actuelle du Web à être davantage un Web de document qu'un Web de données [BHBL11] produit plus souvent des liens entre documents, mais cette tendance semble commencer à changer alors même que les institutions de référence (comme les bibliothèques nationales et les administrations) utilisent de plus en plus et favorisent l'utilisation des technologies du Web Sémantique [SWMDM13], [Ber11], [HI11], [NT11], etc.

5.4 Synthèse

Fichiers textes balisés, fichiers de géométrie ou bases de données structurent des informations typées d'après formats prédéfinis et partagés par les utilisateurs pour en permettre l'échange et la consultation. Les objets peuvent ainsi être décrits de façon complémentaire : au travers de leur forme après numérisation par télémétrie laser, au travers de leurs liens au sein d'un système, par la constitution d'une base de données, ou au travers de leur place dans des récits, par la modélisation en TEI. Le champ de la documentation à sa version numérique multiplie les formats, mais unifie les supports. Des communautés différentes partagent des formalismes et des technologies, mais les stratégies de modélisations varient, traduisant des intentions de modélisations différentes. Chercher à produire une méthodologie type face à la pluralité des pratiques n'a pas de sens. Les types d'interdisciplinarité, les cultures de modélisation dans leur richesse permettent de refléter la richesse et la diversité des types de patrimoines, ainsi que la diversité des valeurs dont nous leur prêtons le témoignage.

L'unification des supports d'inscription et le recours à des formats de fichiers et à des modèles de données ouverts, laissent espérer cependant qu'il reste utile et possible de rassembler des modélisations hétérogènes au sein d'une même fiche synthétique permettant la production d'une nouvelle modélisation, celle d'un regard global sur le bien, ou celle d'une nouvelle étude, fondée sur des productions passées.

Les bases de données par leur versatilité permettent l'intégration depuis les autre types de fichiers. Dans une version simpliste, on peut par exemple traduire un fichier 3D constitué de points *colorisés* par une série de triplets RDF correspondant aux différents points (leur position et couleur). Le tableau 5.7 présente un tel point, positionné en (X1, Y1, Z1), qui sera transformé en triplets RDF dans le format suivant :

- Point 1 —a-pour-position-en-X→ X1
- Point 1 —a-pour-position-en-Y→ Y1
- Point 1 —a-pour-position-en-Z→ Z1
- Point 1 —a-pour-couleur-en-R→ R1
- Point 1 —a-pour-couleur-en-G→ G1
- Point 1 —a-pour-couleur-en-B→ B1

Table 5.7 – Coordonnées et couleurs d'un point en 3d (par ex. dans un fichier .pts)

ID	X	Y	Z	R	G	B
Point 1	**X1**	**Y1**	**Z1**	**R1**	**G1**	**B1**

De même, depuis un document balisé TEI, on pourra extraire tout ou partie de l'information. On peut par exemple transformer le balisage TEI suivant, décrivant un arrondissement de Paris : <placeName>
<district type="arondissement">3ème</district>
<settlement type="city">Paris, </settlement>
<country>France</country>
</placeName>
au travers des triples suivants :

- 3ème —est-de-type→ arondissement
- 3ème —se-situe-à→ Paris
- Paris —est-de-type→ city
- Paris —se-situe-en→ France
- 3ème —est→ un lieu

Proposition pour l'outil 14
À partir de la structure des fichiers, il est possible d'intégrer tout ou partie des informations qu'ils contiennent pour les réunir et les lier les uns aux autre et ainsi produire une modélisation faisant se rejoindre toute la documentation.

Plutôt que de chercher un *Comment* méthodologique à la modélisation patrimoniale, chercher un *Comment* pratique à la constitution de fiches rassemblant des modélisations me semble moins invasif des pratiques et plus fécond. La constitution de ces fiches, cependant n'échappe pas aux enjeux déontologiques que nous avons évoqués. Le prochain chapitre constitue donc le cahier des charges, réponse globale à ce *Comment* pratique.

Chapitre 6

Cahier des charges

> Le résultat de tout ceci aboutit à des catégories vraiment étranges ; par exemple une chemise pleine de papiers divers et sur laquelle est écrite « A CLASSER » ; ou bien un tiroir étiqueté « URGENT 1 » et ne contenant rien (dans le tiroir « URGENT 2 » il y a quelques vieilles photographies, dans le tiroir « URGENT 3 » des cahiers neufs).
>
> *P) Comment je classe* dans *« Penser/Classer »* - **Georges Perec**

L'analyse de différents domaines thématiques des chapitre précédents, m'a conduit à dégager des enjeux et des besoins. Je propose dans ce chapitre un cahier des charges, pour un outil qui y répond.

Méthodologie et outils vont de paire et cherchent à se correspondre. L'analyse très générique sur les travaux patrimoniaux que j'ai développée ne présente pas de méthodologie précise, ou plutôt relève de plusieurs méthodologies. Il m'est alors assez difficile de proposer une réponse très ajustée à des méthodologies. Mais, le cahier des charges qui suit s'intéresse davantage à des questions de déontologie, qui seraient méta-méthodologique, pour autant que la formule ait du sens.

Ce chapitre prend la forme d'une cahier des charges assez classique, tout au moins de ses premières composantes définissant le contexte et le contenu de l'outil visé, qui sera passé au crible d'un regard réflexif pour en dégager ces forces et faiblesses en fin de chapitre.

6.1 Présentation d'ensemble de l'outil projet

L'intention initiale qui permit la formation de l'équipe du projet Reseed, et l'existence de ma thèse se fonde sur la dualité que l'informatique apporte dans la pratique des travaux patrimoniaux. Pleine d'opportunités et ouvreuse de nouveaux champs de travail, l'informatique introduit également des changements dans des méthodologies établies, apporte son lot de nouveaux problèmes et limite certaines pratiques. Le projet Reseed cherchait initialement à produire « un outil, une méthodologie et peut-être un format » venant en soutien aux travaux patrimoniaux. Avec ces ambitions du projet annoncées en toile de fond, j'ai commencé ma thèse, cherchant à comprendre en quoi résidaient les nœuds techniques, déontologiques, méthodologiques rencontrés en absence d'outils informatiques et lorsqu'ils sont utilisés. Ingénieur mécanicien, j'avais un regard extérieur aux pratiques informaticiennes et aux pratiques patrimoniales. Le projet Reseed me parait cependant chercher un fort ancrage opérationnel. Je reprendrais ici la citation de Hal Abelson à propos de l'informatique : /emphComputer science is no more about computers than astronomy is about telescopes (La science informatique n'est pas plus la science des ordinateurs que l'astronomie n'est celle des télescopes). Aussi la logique mon ancrage disciplinaire assez faible en informatique et en travaux patrimoniaux me parait traduire l'intention d'un regard sur les processus et les usages que j'ai cherché à développer.

Je me suis demandé à plusieurs reprises si chercher à outiller les travaux patrimoniaux était pertinent, puis dans quelle mesure ça l'était, puis comment penser une pertinence adéquate aux visions multiples des travaux patrimoniaux. L'utilisation du calcul informatique s'inscrit parfaitement dans la vision des outils de Leroi-Gourhan [LG13], dépassant les limites humaines : la quantité d'information manipulée, la puissance et la rapidité calculatoire, la précision décimale, la stabilité ou la régularité du comportement. Les travaux patrimoniaux peuvent en profiter, dans la lignée du développement de pratiques d'*humanités numériques*, si on ne questionne pas seulement les moyens, mais aussi méthodes et déontologies.

6.1.1 Présentation du contexte scientifique

Ce cahier des charges a été développé entre les années 2017 et 2020, période où les *Digital Humanities* avaient le vent en poupe. Portées par des politiques de financements favorables et par la dimension heuris-

tique de certain des travaux, les humanités numériques ont connu un fort dynamisme. Journaux, colloques, mais également programmes d'enseignements se sont créés sur le sujet au cours de cette période. Les communautés de recherche en France, polarisées par la logique des sections disciplinaires créent des points de réunion, comme par exemple l'atelier DAHLIA (DigitAl Humanities and cuLtural HerItAge : data and knowledge management and analysius), créé en 2018 et adossé à la communauté EGC (Association Internationale Francophone d'Extraction et de Gestion des Connaissances), qui réunit informaticiens et experts patrimoniaux, usagers et concepteurs d'outils informatiques. Je pense également au consortium international *Data for History* fondé en 2017 par des historiens-numériciens avides de fédérer une communauté de travail pour uniformiser les pratiques. On pourrait évoquer la conférence Internationale Digital Humanities, ou sa déclinaison européenne, qui organisent des conférences annuelles depuis la fin des années 1980. Ou bien les ateliers de travail *Linked Pasts* rassemblant depuis 2015 des chercheurs travaillant en histoire et pour le patrimoine, utilisant des données ouvertes liées...

En peu de mots, un contexte scientifique dynamique et très varié a englobé cette thèse et les années de constitution de ce cahier des charges. Encore assez mal structuré cependant, aux interfaces entre les disciplines, par certains aspects, « à la mode » (avec tous les bons et mauvais côtés des modes), les questionnements et les discussions sur les pratiques outillés de travaux patrimoniaux n'ont pas manqué.

L'équipe Reseed

Au sein du projet Reseed, ces mêmes discussions ont été menées avec des interlocuteurs différents. Le projet rassemble 8 entités partenaires :

- L'Université de Nantes, par le Centre François Viète d'épistémologie et d'histoire des sciences et des techniques
- L'École Centrale de Nantes, par le LS2N, Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes
- L'Université de Technologie de Troyes, par l'Institut Delaunay, laboratoire d'ingénierie
- L'Université de Technologie de Compiègne, par le Laboratoire Roberval, laboratoire d'ingénierie
- DeltaCAD, éditeur de logiciel spécialisé en informatique scientifique
- MCC Heritage, cabinet de conseil en candidature patrimoniale, que j'ai déjà amplement présenté

— L'inventaire Général du Ministère de la Culture, institution en charge de recenser, d'étudier et de faire connaitre les éléments du patrimoine qui tombent sous sa juridiction

— Le Musée des Arts et Métiers, Musée des sciences et des technologies

Certains représentants de ces différentes institutions n'étaient pas inconnus les uns pour les autres. En effet, une partie de l'équipe universitaire et DeltaCAD avaient travaillé sur le projet *METIS*, entre 2012 et 2015, qui cherchait à « exploiter des données hétérogènes afin de recréer ou mettre à jour une maquette numérique » [BDR+14].

De même à Nantes, L'École Centrale et L'Université collaborent depuis une quinzaine d'année. Depuis les travaux de thèse de Florent Laroche, qui expose les opportunités de la création de dossiers d'œuvre numériques, et formalise son *Digital Heritage Reference Model* [Lar07]. Mettant les outils de l'ingénierie mécanique au service de l'étude patrimoniale, cette réflexion s'est poursuivie à Nantes par les nombreux travaux communs à Florent Laroche et Jean-Louis Kerouanton sur la place de l'image et de la visualisation [LCJLB07], sur les pratiques muséographiques outillées de dispositifs informatiques [LKSB11], sur la rétro-conception de sites industriels disparus [LPLK13], sur les questions de numérisation du patrimoine [LJL15]. Rassemblés également au sein du consortium 3D, groupe de travail de la TGIR Huma-Num qui travaille à penser l'utilisation des modèles 3D pour l'archéologie, l'histoire et le patrimoine, ils ont participé à la constitution collectif d'un *Livre Blanc* [VBC+17] formalisant un cycle de réflexion méthodologiques et technologiques.

Alain Bernard, Jean-Louis Kerouanton et Florent Laroche ont également encadré des thèses dans la continuité desquelles ma thèse se situe. Les travaux de Benjamin Hervy les ont d'abord rassemblé, autours de la notion et l'implémentation de systèmes PLM muséologiques [Her14], d'outils de gestion de cycle de vie des objets en musées, et leur utilisation pour la conservation et la valorisation des biens patrimoniaux.

Les travaux de Matthieu Quantin ont prolongé la thématique de recherche autour de la constitution de connaissances en histoire des sciences et des techniques, dans ses travaux de thèse. Il a développé *Haruspex*, logiciel de modélisation thématique (aussi appelé *topic modelling* en France) depuis un corpus textuel prédéterminé [QHLK17]. Il a également mené des travaux périphériques à ses travaux de thèse questionnant la production de connaissance en rétro-conception de bâtiments dans des fouilles archéologiques [QLAV17].

J'ai aussi profité des propos plus récents de l'HDR de Florent Laroche

dans laquelle il met en perspective ses travaux depuis 2004 et développe la notion de KLM *Knowledge Lifecycle Management* (Gestion du cycle de vie de la connaissance) [Lar17].

Mais les travaux plus disciplinaires de Florent Laroche et Alain Bernard, plus strictement en ingénierie des connaissances, se retrouvent également dans cette approche, notamment la méthodologie Ki4D développée dans la thèse de Mohamed Islem Ouamer Ali [ALRB17], qui vient en opposition à une conception linéaire de la production d'information dans les démarches de rétro-conception. La dimension cyclique et les non-linéarités (temporelle, spatiale et conceptuelle) en sont en partie issues.

Il m'apparait assez clairement que la collaboration entre le Centre François Viète et le LS2N (ou l'IRCCyN, son prédécesseur) et les travaux sur la production de maquettes numériques à partir d'informations hétérogènes se rejoignent dans les questionnements de ma thèse sur la modélisation, la documentation, les biens et les travaux patrimoniaux. Ainsi que la nécessaire réflexion sur un outil fédérant les différents travaux patrimoniaux.

Les équipes « laboratoires »

De façon plus générale, au sein des deux laboratoires auxquels je suis rattaché, les questionnements de ma thèse trouvent un ancrage dans les travaux en ingénierie systèmes et en modélisation de processus. La publication réalisée au sujet de la modélisation des qualités d'objets pour l'ingénierie avec Emilio Sanfilippo pour FOIS en témoigne [SJB+18].

Au centre François Viète, mes travaux ont pu profiter d'échanges méthodologiques et épistémologiques avec les différents permanents. Les remerciements traduisent également ce contexte et ces apports scientifiques, mais je tiens malgré tout à redoubler ici mon témoignage de gratitude. Les échanges lors et hors des séminaires hebdomadaires ont lourdement influencé ce travail. Au CFV toujours, les travaux de Sylvain Laubé et de Marie-Morgane Abiven [ALQ+18] étaient pour moi un exemple de mise en œuvre et de réflexion sur l'outillage informatique et la patrimoine, en avance de phase sur mes réflexions. Mes travaux ont directement profité des leurs.

6.1.2 Objectifs de l'outil

Le chapitre 4 montre la diversité d'outils, d'activités et d'approches conceptuelles et met en lumière le manque d'un environnement dans

lequel pouvoir lier de façon indifférenciée les différents types de modélisation. Dans un premier temps, répondre à ce manque est suffisant. Je limiterai donc l'objectif de l'outil à **donner la capacité de créer des sortes de fiches, dans lesquelles relier des éléments de documentation sélectionnés, les annoter, ajouter des informations et des hypothèses de façon collaborative**.

De plus, les méthodologies, les pratiques et les outils sont trop nombreux pour que dégager une méthodologie générale soit réaliste. Et au delà du réalisme, une méthodologie sous laquelle regrouper tous les travaux patrimoniaux par l'usage d'un outil apparait vaine. Standardiser la méthode d'approche du patrimoine serait précisément se couper des spécificités, sources des valeurs patrimoniales.

En revanche, un outil permettant d'expliciter l'intégrité documentaire et un cadre critique aux modélisations dresse la table à une discussion et une évaluation informée, documentée, critique.

Les trois chapitres précédents ont présenté différentes propositions relatives à l'outillage informatique. Je les ai ici compilées et rassemblées afin d'en dégager des contraintes plus précises dans le développement d'un outil particulier.

L'outil devra répondre aux objectif suivants :

L'outil ne doit pas contraindre les concepts qu'ils manipule

Cet objectif rassemble les propositions suivantes :

Proposition-outil 1 L'outillage informatique ne peut pas proposer de cadre conceptuel prédéfini, la combinaison des types de patrimoine et des types de reconnaissance patrimoniale demandent un ajustement systématique, au cas par cas.

Proposition-outil 10 L'outillage informatique doit permettre l'explicitation de la validité des informations et d'explorer différents hypothèses.

Proposition-outil 11 L'outillage informatique doit pouvoir se confronter à la multiplicité des types documentaires et à la multiplicité de leurs réception, sans restreindre les informations relevées, et sans limiter les modes d'interprétation.

C'est à dire que l'utilisateur de l'outil doit avoir la main compète sur le matériel ontologique, les modèles de données et les règles de validité et les stratégies qu'il emploie. L'outil doit pouvoir être extensible dans les modèles et les ontologies utilisées, soit en intégrant des références externes, soit en permettant le développement interne de ces structures.

Par ce fonctionnement, je retrouve l'ambition de Bearman [Bea95].

> « Increasingly it seems that we should have concerned ourselves with the relationships (creating, selling, designing, using, critiquing) between the objects and the proper nouns on which we lavished so much attention because as we examine the queries being put to us by our publics, it is obvious that each user community needs to know about quite different relations (and, as argued earlier, the nouns could be "controlled" without imposing conformity anyway). » (De plus en plus, il semble que nous aurions dû nous préoccuper des relations (création, vente, conception, utilisation, critique) entre les objets et les noms propres auxquels nous avons accordé tant d'attention parce qu'en examinant les demandes qui nous sont adressées par nos publics, il est évident que chaque communauté d'utilisateurs a besoin de connaître des relations tout à fait différentes (et, comme nous l'avons dit précédemment, les noms pourraient être "contrôlés" sans imposer de conformité de toute façon)

L'outil doit permettre l'interopérabilité des modèles de données

Cet objectif rassemble les propositions suivantes :

Proposition-outil 3 L'outillage informatique doit permettre l'explicitation, l'identification et la sélection d'éléments de niveaux structurel, conceptuel, hiérarchique, etc. différents. Il doit pouvoir faire faire référence aux attributs et aux valeurs.

Proposition-outil 7 L'étude scientifique patrimoniale implique de permettre l'étude critique des modèles et leur construction.

Proposition-outil 12 L'outil informatique doit donner des outils pour permettre à des bases de données constituées de façon indépendantes d'interopérer (d'un point de vue sémantique et d'un point de vue technique).

C'est à dire que l'utilisateur de l'outil doit pouvoir définir à sa guise les concepts, les niveaux de granulométrie de l'information, mais également être en mesure de les rattacher, les raccorder à des entités de références, partagées par d'autres. La construction des modélisations doit rester lisible et accessible, dans sa forme finale et dans son évolution progressive. L'outil doit se doter de modules calculatoires des différences entre modèles, basés sur des calculs de similarité sémantique (pour référence en

cela, les travaux de Jérôme Euzenat, notamment [EV+04], mais la littérature est riche d'autres exemples et méthodes [NM+00, GSO+10, EMS+11]). Lorsque les dimensions sémantiques ne sont pas explicitées, un module cherchant les similarités ou proximités lexicales pourrait être envisagé (pour référence, les travaux du CRISCO sur les synonymies, par exemple [CF19]). Ces calculs de similarité sont à réaliser autant sur les modélisations que les méta-modèles. En cas d'alignements locaux ou systématiques, l'outil doit conserver la trace de ce choix de rapprochement.

L'outil doit favoriser l'explicitation des choix des évolutions des modélisations

Cet objectif rassemble les propositions suivantes :

Proposition-outil 4 Pour conserver la cohérence (et le sens) de la modélisation, l'outillage informatique doit enregistrer les informations contextuelles au fur et à mesure du travail de modélisation.

Proposition-outil 6 L'outil informatique doit pouvoir enregistrer les justifications des changements subis par les biens patrimoniaux. Il doit aussi produire des documents présentant l'état des biens patrimoniaux à des moments donnés. Peut-être pourrait-il également proposer un soutien à leur comparaison ?

Proposition-outil 9 L'outillage informatique doit pouvoir garder la trace des différentes constructions, réductions et approximations inhérentes aux travaux de modélisation.

C'est à dire que l'outil doit, d'une part, enregistrer les différents états des modélisations, mais en plus, il doit également garder la trace de métadonnées informant sur les évolutions des intentions de modélisation, des intentions d'étude. Celles-ci ne sont pas forcément explicites. Au gré du travail de modélisation, les conceptions et les intentions varient. On retrouve ici les enjeux PLM et KLM, notamment les travaux d'Abdelaziz Bouras[GVS+14, TBD+10], mais aussi ceux d'Alain Bernard [BT08]. Cet enjeu semble le plus ambitieux, mais permettrait une forme de relecture de la part de l'utilisateur. Il pourrait garder des traces de l'évolution de son regard.

L'outil doit permettre la gestion documentaire sans rupture d'intégrité ou d'authenticité

Cet objectif rassemble les propositions suivantes :

Proposition-outil 2 L'outillage informatique, pour accompagner les travaux patrimoniaux en général doit se concentrer d'abord et avant tout sur les sources d'informations.

Proposition-outil 5 L'outillage informatique doit accompagner la construction de l'intégrité documentaire, la continuité de l'intégrité de l'information, depuis les documents vers les modélisations produites.

Proposition-outil 14 À partir de la structure des fichiers, il est possible d'intégrer tout ou partie des informations qu'ils contiennent pour les réunir et les lier les uns aux autre et ainsi produire une modélisation liant toute la documentation.

C'est à dire que l'outil doit permettre une gestion documentaire aux multiples dimensions. D'une part, il faut pouvoir ajouter des documents nouveaux aux différentes sources documentaires. Ces sources doivent être indexées. Des modules doivent permettre l'extraction d'informations depuis les documents. L'utilisateur doit pouvoir sélectionner des informations depuis des documents et les associer à d'autres informations. Le travail de modélisation se fait au niveau des données/des informations et non au niveau documentaire. Toutes les informations, quelles que soient leur nature doivent pouvoir être associées les unes aux autres pour produire des nouvelles informations s'affranchissant des frontières documentaires.

Toutes les opérations (extraction, sélection, traitement, annotation, correction, ...) doivent être enregistrées par l'outil afin qu'il soit possible de remonter le fil des chaines de traitement. Pour les opérations automatiques les réglages des modules en charge de ces traitements doivent pouvoir relier le document source des informations résultantes.

L'outil doit créditer l'utilisateur de ses travaux

Cet objectif rassemble les propositions suivantes :

Proposition-outil 8 L'utilisateur d'outils informatiques doit pouvoir en être l'architecte, afin de comprendre comment s'opèrent les ruptures de sens par le calcul, pour en faire une étude fine et une maintenance lourde.

Proposition-outil 13 L'outil informatique me semble devoir permettre une forme de dialectique avec l'utilisateur dans les différentes opérations (dont les alignements). Les décisions et paramètres de la modélisation restent de la responsabilité de chacun des utilisateurs, dans leur diversité inhérente aux travaux patrimoniaux.

L'outil doit gérer des profils utilisateurs, et leur attribuer les choix et travaux qu'ils ont réalisés. L'outil doit enregistrer les entités, les méta-modèles, les informations, les documents, etc. ajoutées ou crées par l'utilisateur. Il doit également enregistrer les entités, les méta-modèles, les informations, les documents, etc. réutilisées par l'utilisateur, et la source de la réutilisation. L'outil doit également enregistrer les altérations ou les corrections que l'utilisateur a apporté à ses informations, aux informations des autres. Toute opération faite par un utilisateur, même lancer un module qui réalisera une opération automatiquement doit être marquée afin de permettre une relecture des travaux et ainsi pouvoir les reprendre en changeant d'hypothèses, de réglages, ou carrément de méthodes...

6.1.3 Cible de l'outillage

L'outil vise différents utilisateurs :

- les chercheurs, producteurs d'informations, de modélisations,
- les différents professionnels du premier cercle, qui ont besoin de consulter et se baser sur les modélisations gérées par notre outil, sans pour autant en produire eux-même directement,
- toute personne qui cherchera à consulter les informations et modélisations.

6.1.4 Périmètre du projet

L'outillage informatique cherchera dans un premier temps à répondre à des besoins d'institutions françaises, mais une version multilingue n'est pas exclue : dans l'optique d'un partage large d'informations entre institutions, chercheurs et amateurs, la langue ne devrait pas faire barrage à la capacité d'utilisation.

Il serait intéressant que l'outillage ne soit pas restreint par des conditions de support informatique, c'est à dire qu'il puisse être utilisé aussi bien par un poste de travail fixe qu'un appareil mobile, peu importe le constructeur. En ce sens, le développement Web semble pertinent, mais n'est pas nécessairement la seule option.

J'évacue ici la question (pourtant fondamentale, j'en ai bien conscience) du modèle économique ou de la dimension commerciale de l'outil. D'un point de vue pragmatique, il me semble qu'un outil, pour être utile doit être utilisé et en ce sens, limiter les barrières d'accès (dont celle de son

prix) me semble la solution la plus raisonnable, mais tous les développements ne peuvent trouver des soutiens et modèles économiques qu'ont su trouver Wikipédia ou CodeAster, par exemple.

6.2 Description de l'outil

Je propose dans cette section des modalités de réalisation de l'outil pour atteindre les objectifs. La confrontation véritable au réel, par le développement lourd d'un outil forcera inévitablement à diverger de ces propositions initiales.

6.2.1 Description ergonomique

L'interface se compose d'une palette d'outils et de plusieurs éditeurs/-visualisateurs du contenu des documents.

- un éditeur de texte,
- un éditeur d'image 3D,
- un éditeur d'image 2D,
- un tableur,
- un éditeur de graphe,
- un éditeur d'arborescence, un navigateur de fichiers,

Par ces différentes fenêtres, nous sommes en mesure d'interagir sur les documents et les données.

L'affichage combiné des outils/de la palette d'outils et des éditeurs permet les actions que l'outil doit réaliser. Les figures 6.1, 6.2, 6.3 présentent des croquis d'interface minimale. L'annotation, mais aussi la consultation, la segmentation, la correction sont rendues possibles avec une telle interface.

6.2.2 Description fonctionnelle et technique

Je propose ici des solutions techniques qui paraissent pertinentes, mais l'implémentation apportera sans doute, là aussi son lot de modifications.

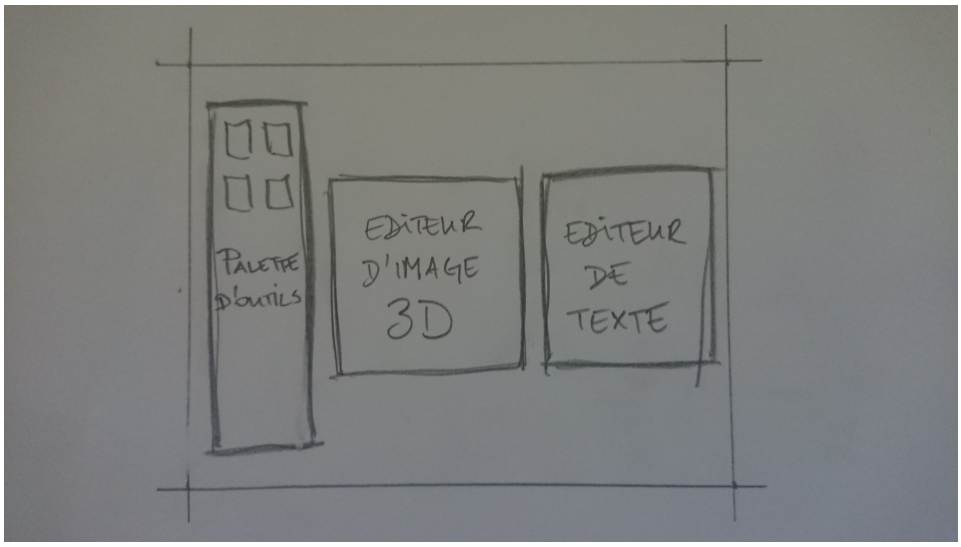


Figure 6.1 – Brouillon d'interface vierge

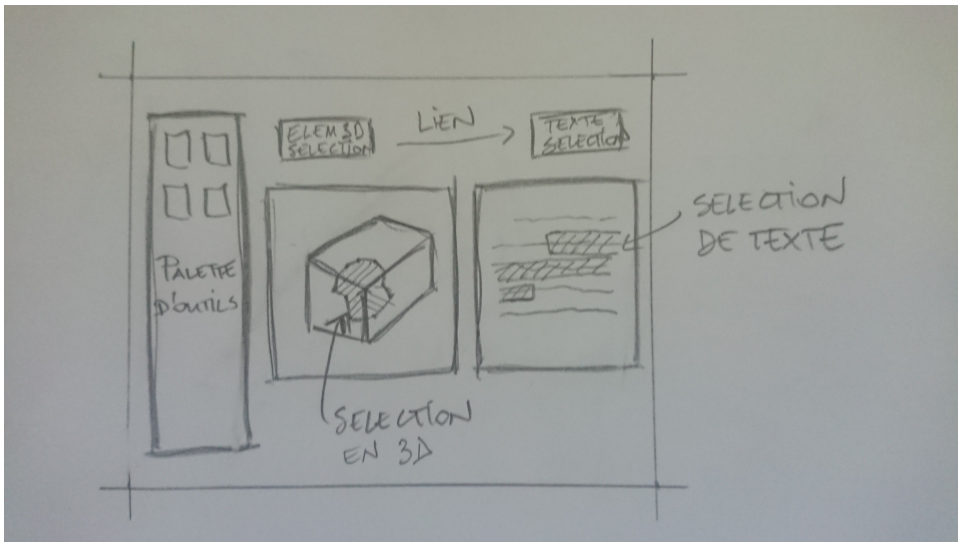


Figure 6.2 – Brouillon d'interface pour l'annotation

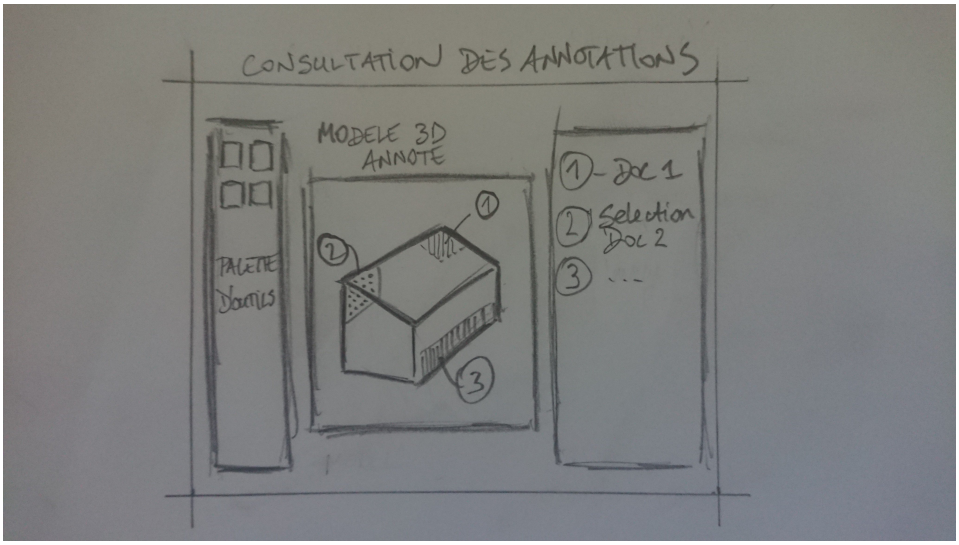


Figure 6.3 – Brouillon d'interface pour la consultation d'annotation/de modélisation

Stockage des documents et des données

L'outil doit gérer la documentation et des données en partie extraites de la documentation, œuvrer pour améliorer l'intégrité documentaire. Je propose que les documents soient agrégés en l'état dans un lac de données (*data lake*), ou lac de documents pour l'utilisation que je propose. Les données quant à elles sont stockées dans un triple store formaté en RDF, mis en œuvre par SPARQL pour structurer des données sous la forme de NQUADS[CHH08]. L'utilisation de NQUADS plutôt que des triplets classiques permet la mise en place d'un mécanisme évitant la duplication des données.

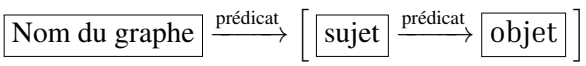
Pour rapidement expliquer ici ces concepts, les triples RDF ont une forme simple :

$$\boxed{\text{Sujet}} \xrightarrow{\text{prédicat}} \boxed{\text{Objet}}$$

Si la relation est orientée, on distingue le sujet de l'objet. Quand la relation est symétrique, la distinction n'est que formelle.

Les N-QUADS sont apparus pour permettre de créer des graphes nommés, identifiant des sous ensembles d'un graphe. J'en détourne ici l'usage

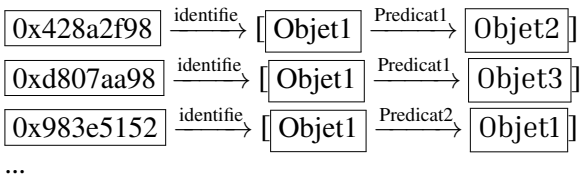
en leur donnant la forme la plus réduite : je recommande de créer systématiquement des graphes nommés ne contenant qu'un triplet.



Par ce procédé, on peut identifier chaque information de façon unique et y référer de façon univoque. Cela permet également d'éviter la duplication des informations (dans la limite de leur hétérogénéité). Pour cela, je propose de reprendre le fonctionnement mis en place par le projet *Software Heritage*, qui archive tous les projets de développement logiciel accessibles de façon publique dans les services de gestion de développement de logiciels (comme *GitHub*, *GitLab*, *SourceForge*, ...). La grande quantité d'informations qu'ils archivent et la pratique courante dans le code logiciel de copier des parties, de *forker* des projets leur cause un grand risque de duplication.

Travaillant seulement avec des documents textes, ils ont eu l'idée d'associer un identifiant particulier à chacun de leurs documents : un *hash* en anglais, une empreinte numérique, produite par le calcul d'une fonction de hachage. La fonction de hachage a le comportement suivant : si le contenu à hacher est identique, l'empreinte est identique, si le contenu est différent, l'empreinte sera nécessairement différente [1].

Par la même approche, puisque le contenu de notre triplestore n'est que du texte, je propose de hacher le triplet et d'en faire un graphe nommé par son emprunte numérique.



On gagne ainsi la capacité de faire référence à chacune des informations de notre base. Par extension, on pourra tout de même créer des graphes nommés pour identifier des groupes d'informations. Il devient alors possible d'attribuer simplement et de façon fiable des méta)donnés à ces graphes nommés.

Le dépôt d'un document dans le lac de données entraine la création d'informations dans notre base de données orientées graphes : les métadonnées accessibles relatives à cet ajout sont crées, et le document est

1. Une des fonctions de hachage standard SHA-2, par exemple, que nous avons utilisée, peut produire de l'ordre de grandeur de 10^{38} empreintes avant de se répéter

indexé. On sait qu'il existe, on lui attribue une dénomination, une date d'ajout,...

Dans un second temps, s'il est consulté, chaque affichage du document est enregistré dans notre base de données.

Lorsqu'un utilisateur cherche à sélectionner une partie du document pour identification d'une donnée ou pour créer une annotation, alors un module d'import/export est sollicité : Les données sélectionnées dans le document originel sont importées dans notre base de données. (un groupe de pixels, de points ou de facettes, une zone de texte ou un extrait de tableau ou de graphe, ...).

Ces sélections documentaires distantes des documents originaux permettent ensuite :

- de lier des informations au travers des documents et des types de documents,
- d'exporter les sélections dans des documents nouveaux sans confusion ou altération possible avec le document original,
- de nommer, classer, comparer, combiner, etc. les sélections entre elles.

Gestion des modèles de données

Une contrainte importante dans la réalisation de l'outil est sa capacité à ne pas restreindre les différents concepts manipulés.

À l'import de données depuis une source, le vocabulaire ou le métamodèle de la source est repris, ou alors un vocabulaire de traduction permet l'import des données. Je propose qu'un système d'annuaire pilote la gestion des vocabulaires : il référence les vocabulaires à disposition et permet l'ajout de nouveaux vocabulaires. Un vocabulaire *local* permet de compléter et d'assurer la liberté ontologique maximale.

Modules de traitement automatique

L'interface permet le travail manuel sur les documents et les données. Le développement de modules de traitement automatique étend les capacités de l'outil. À titre d'illustration, je propose ici quelques exemples de modules.

Remodéliser des données 3D

La remodélisation 3D se fait le plus souvent dans un logiciel dédié aujourd'hui : un modeleur capable d'afficher des nuages de points. En

se calant sur le nuage de points qu'il interprète, l'utilisateur remodèle les géométries et les éléments qui l'intéressent. Les formes sont segmentées d'après la compréhension de l'utilisateur, les géométries sont normalisées et rapportées à des primitives mathématiques simples.

Cette opération de modélisation recourt de façon standard à des catalogues de pièces et de formes, et permet ainsi d'intégrer un grand nombre d'informations : le type de pièce modélisé, la fonction qu'elle remplit, le matériau dont elle est constituée. Lorsqu'elle est voulue très complète, cette remodélisation est fastidieuse et demande à l'utilisateur de définir chaque élément et de redessiner les formes. Certains détails sont inéluctablement omis, certains imperfections témoins d'activités ou de l'état des matériaux sont lissées.

La remodélisation automatique, connait un développement net dans les dernières années [MLG17, PNNB18, TKKDV18, OVK19]. Elle non plus n'est pas exempte de simplifications et de lissage. Elle produit cependant des résultats intéressants pour des segmentations à l'échelle du bâtiment (la segmentation se fait à la dimension du mur ou du pan de mur).

Adjoindre un module de remodélisation automatique permettrait d'obtenir des segmentations des données 3D dans des échelles définies par l'utilisateur, sans que ce dernier n'ait besoin de développer des compétences de remodélisation, ou d'acquérir des logiciels spécialisés. Moins réalistes, ces remodélisations schématiques permettent de distinguer et désigner des éléments qui pourront être retravaillés dans un temps second.

Remodéliser les textes

De façon analogue, je propose d'intégrer des systèmes de remodélisation des textes permettant de faciliter ou de préparer l'encodage TEI. À partir d'outils de reconnaissance d'images, la structure du document (chapitres, paragraphes, notes de bas de page...) est automatiquement capturée afin de permettre à l'utilisateur de se concentrer sur la modélisation du contenu. Ces fonctionnements existent dans des outils à la maturité déjà importante [MRK03, SKB08, LNK12].

Automatiser les propositions d'informations

Une des limites aux études patrimoniales tient dans la diversité des sources d'information accessibles, permettant d'intégrer une variété d'information la plus grande possible, multipliant les points de vue, étoffant la compréhension.

Les propositions d'informations ou de documentation se basent sur des outils de classification automatique, calculant des similarités entre différents objets. À l'échelle du document, j'ai déjà parlé d'Haruspex qui permet de faire des propositions de regroupement de textes par modélisation de sujet, à partir de leur contenu lexical. Pour des modèles 3D, les mêmes mécanismes et outils existent [DDK+17, NSH04, VHK11], pour des images en 2D également [SMGE11, GWL+17]. Développés dans différents contextes (médical, industriel, cartographique,...) ces outils de classification automatique me semblent des modules intéressant pour enrichir les modélisations.

Gérer la traçabilité

Je propose également d'avoir recours à une des ontologies dédiée aux questions de traçabilité des informations, des documents et pour suivre les différentes étapes de modification. PROV-O[LSM+13], ou SEPPIO[BSH16], me paraissent les plus intéressants. L'évolution et la maintenance de PROV-O, désormais entre les mains du W3C (World Wide Web Consortium), me conforte dans la pérennité de cette ontologie.

6.2.3 Arborescence de l'application

Les deux composantes principales de l'outil sont le triple store, que j'ai appelé Graphe Reseed dans la figure 6.4, et le lac de documents.

Je pars pour le moment du principe que les modules travailleront à partir des documents et non sur les données extraites. C'est à dire que je considère que dans l'ordre des opérations, le travail des modules précède le travail de l'annotation, mais ça reste une hypothèse de travail.

La figure 6.4 schématise la structure projetée d'un outil.

6.3 Analyse de l'outil par son cahier des charges

Ma proposition est celle d'un système fortement basé sur les technologies du web, tant pour la structuration des données que pour l'affichage. L'influence du W3C rassemblant les chercheurs de larges horizons (universités, industries, institutions) me semble l'institution garante de la pérennité de ce choix. Quelque part, je me range derrière eux pour en justifier...

J'ai choisi ces solutions pour trois raisons principales :

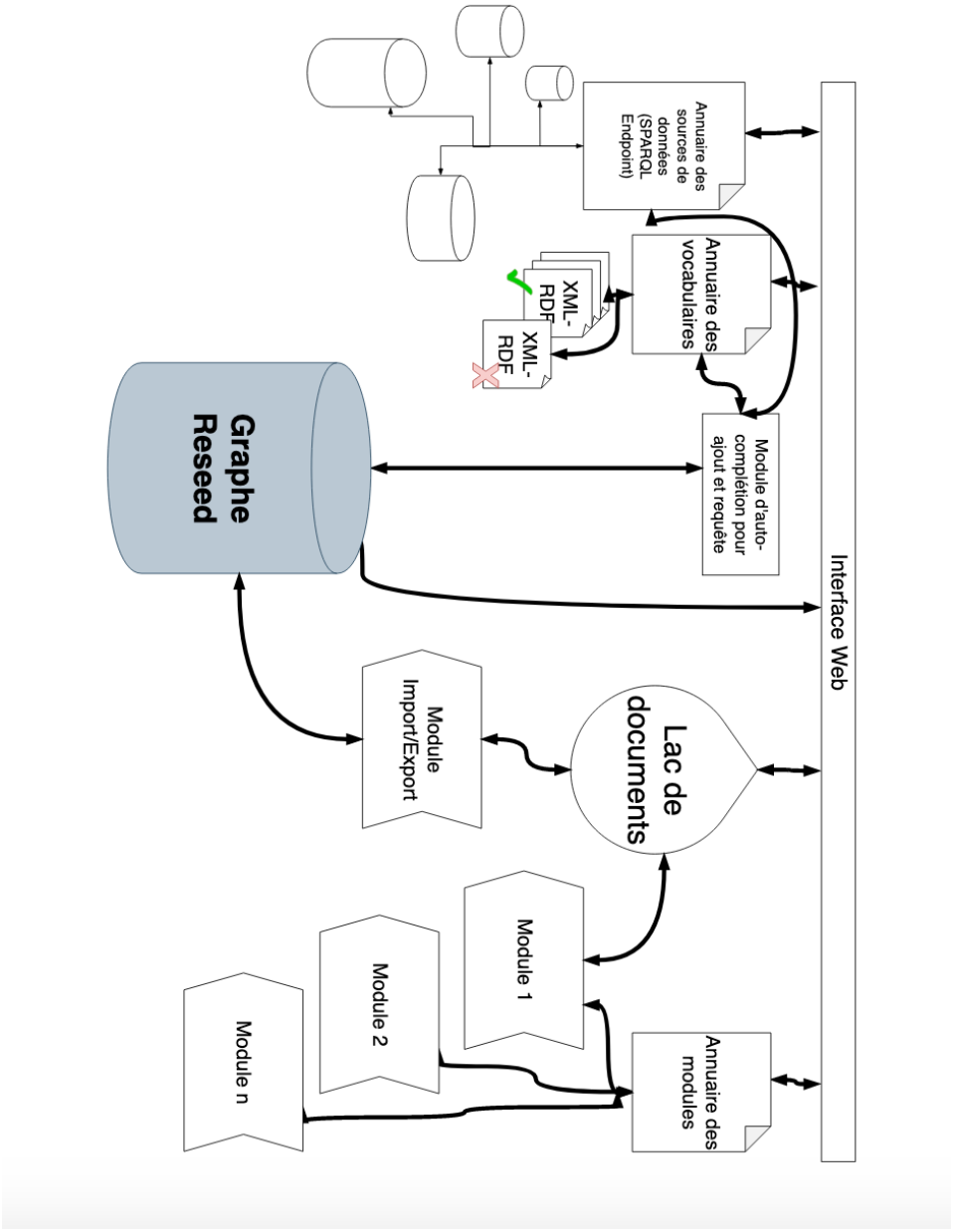


Figure 6.4 – Schéma récapitulatif de la structure de notre proposition d'outil

- la quantité de données bien trop importante pour envisager raisonnablement que les données soient stockées localement,
- le grand nombre d'appareils et de logiciels conçus pour afficher et interagir avec des pages web au travers d'un navigateur,
- le fonctionnement nomade et collaboratif y est également bien adapté,
- les institutions productrices ou détentrices de données gardent la main sur leurs données, celles qu'elles partagent, celles qu'elles ne partagent pas. De plus, elles peuvent choisir d'héberger les données de contributeurs externes, facilitant le développement et l'identification des communautés de chercheurs qui gravitent autour de ces institutions.

Ce fonctionnement nécessairement distant pour l'utilisateur peut conduire à des difficultés si l'accès à internet est défaillant. J'ai cependant l'impression que notre outil n'est pas tout à fait un outil de terrain, mais plutôt un outil d'analyse au long cours, un soutien de bureau. Je m'inscris dans la lignée d'Hyvonen [Hyv12] dans sa proposition de publication de données sur le web.

6.3.1 Contrainte ontologique

La tension de la contrainte ontologique engendre un gradient sur lequel je dois me positionner. Choisir entre les deux pôles, entre une liberté totale concédée aux utilisateurs d'utiliser les vocabulaires/ontologies de modélisation de leur choix, et l'obligation de se conformer à un vocabulaire, un modèle de donnée pré-défini, c'est à mon sens se forcer à faire un mauvais choix. Le second pôle, normalisateur est très efficace pour permettre le calcul : on peut prédéfinir des fonctions à l'avance. Le premier pôle quant à lui empêche presque tout à fait le calcul tant la diversité et l'hétérogénéité pose problème.

Ma réponse me situe cependant plutôt du côté du premier pôle, autorisant l'utilisateur à choisir sa structure et ses outils de modélisation. Il complique la dimension opératoire directe. D'un point de vue scientifique et déontologique, cependant, ce choix me semble le meilleur :

- l'utilisateur développe son modèle avec le moins d'influence conceptuelle de l'outil possible,
- quelles que soient les réconciliations suivantes (alignements de différents groupes de données pour permettre le calcul depuis dif-

férentes sources des données), les données sont explicitées dans leur formulation initiale,

- les spécificités de métiers, des communautés de pratiques sont encouragées. On peut plus facilement classer, distinguer les groupes d'utilisateurs. On peut également plus facilement se situer au sein de ces groupes et analyser sa propre pratique de modélisation. On n'est plus simplement en train de faire des « humanités numériques » ou de « l'étude patrimoniale numérique », on a la capacité de réfléchir aux moyens et méthodes,
- malgré la grande diversité possible, le recours lorsque l'utilisateur le choisit à des modèles et cadres de référence standard et leurs extensions parfois très spécialisées permet d'assurer une bonne interopérabilité globale.

Mais tout traitement des données, dans des formats si diversifiés demande de la part de l'utilisateur une forme d'exégèse des données qu'il va traiter par le calcul. Les modules de calcul de similarité viennent à notre rescousse pour cela. L'utilisateur conserve cependant la responsabilité d'étudier de près les modèles de données qu'il cherche à rapprocher. Il me semble à nouveau qu'en ce qu'il empêche le travail automatisé systématique et qu'il complique, peut-être, les débuts de l'utilisation, cet inconvénient reste tout de même une force de notre système. L'utilisateur doit bien connaître ses données, leur formalisations, leur similarité réelle et les approximations que les alignements nécessaires ont pu induire. Il est obligé de s'impliquer et met en jeu sa responsabilité dans ses choix. Cette meilleure connaissance me semble indispensable à produire des interprétations pertinentes des résultats. Ce positionnement, peut-être un peu idéologique, au regard du faible recul que j'ai pu construire, méritera d'être remis en cause à la lumière de plusieurs expérimentations.

6.3.2 Pour la modélisation : traçabilité et lisibilité

Ma proposition de décomposition systématique des documents pour leur réintégration dans une base de données unique pourra probablement subir les mêmes critiques que celles de la contrainte ontologique, ça n'est certainement pas le chemin le plus direct pour atteindre des objectifs opératoires. J'ai choisi en priorité la capacité de suivre des informations et leurs méta-données à l'échelle individuelle, la capacité à conserver l'historique des informations (même celles dont la validité a été remise en question), et la déduplication des données dans notre base,

tout en conservant les documents dans leur format et état original, en témoins inaltérés.

La vraie faiblesse de ma proposition pour la traçabilité réside en ce que toute opération réalisée par un logiciel extérieur demandera un soin particulier des utilisateurs pour en garder la trace. Gérée automatiquement et de façon invisible tant que les opérations sont gérées par des modules de l'outil, je manque de réponse pour l'articulation avec beaucoup d'autres outils. Il restera à trouver des solutions pour s'interfacer avec les logiciels courants pour ne pas contraindre la pratique.

Pour gérer la traçabilité, j'ai l'impression de pousser un peu plus loin la stratégie du répertoire d'information, externe au document, en charge de gérer la traçabilité des informations comme chez Razdow [RBM+12]. Intégrer dans la même base de données les outils de traçabilité et les informations des documents eux-mêmes, rassembler toutes les informations me semble faciliter les approches critiques de la modélisation.

Le postulat que la légitimité des travaux d'étude patrimoniale réside dans ce que Gérard Noiriel appelle « l'éthique professionnelle », qui pour reprendre le vocabulaire de Marc Bloch [Blo74] incorpore le besoin de « rendre des comptes » à ses lecteurs, ou à ses destinataires, nous aura beaucoup dirigé depuis notre lointaine approche jusque dans la finalisation dans des choix techniques. Pierre angulaire des travaux en Histoire, cette approche éthique et déontologique reste à discuter dans les travaux patrimoniaux. Les historiens porteront sans doute ce désir de scientificité dans l'étude patrimoniale, mais est-il partagé, dans la pratique par une part significative des acteurs que le patrimoine rassemble ?

Ce système, piloté par la traçabilité, se dessine, en partie en parallèle des systèmes actuels. Cherchant à outiller l'interface des études et analyses patrimoniales, je ne lui connais pas d'équivalent. Son intégration dans l'éco-système des logiciels de modélisation fait défaut. L'import de fichiers provenant de logiciels de modélisation est possible, mais qu'en est-il de l'import par des logiciels de modélisation de fichiers issus de ma proposition ? Je le concède volontiers, dans l'état actuel, l'outil est un terminus de l'information. J'ai peu anticipé les opérations successives à l'utilisation de cet outil (de la remodélisation suite à l'intégration, par exemple).

Je n'ai pas non plus tranché la question d'un potentiel format de fichier de sortie, ajusté aux spécificités du patrimoine, ou reprenant ou non un format existant (évitant l'écueil d'un nouveau format, pour un nouveau standard pour ajouter un nouvel acteur au paysage technique déjà complexe). J'ai considéré que l'exploration des informations directement dans le navigateur web, d'URI en URI, de donnée en information,

en groupe d'informations affichées simultanément, permettait d'éviter l'export de la modélisation dans un format transportable. À nouveau, le manque de recul complique l'analyse pour savoir si mon esquive s'avère être une force ou un manque qui reste à résoudre.

En revanche, l'intégration et l'accès à toutes les informations de contexte me semble une des forces les plus importantes de la proposition ; la possibilité de dissection, d'analyse, de critique au travers de l'outil est primordiale et jamais autant développée dans les outils de modélisation patrimoniale dont j'ai connaissance.

6.3.3 Accéder aux données

Une difficulté majeure rencontrée par les humanités numériques, l'accessibilité des données, comporte deux aspects :

La visibilité savoir que l'information existe, quelque part,

L'accès et la permission avoir la capacité physique, technique et le droit d'accéder à l'information.

De nombreux projets intégrant les formalismes du Web Sémantique et une volonté forte de rendre toutes leurs données accessibles directement ne souffrent que de la première dimension de la difficulté d'accès. L'ensilage des données, ou les difficultés à d'accès aux bases de données proviennent de problèmes structurels aux travaux de recherche, cherchant à produire des données pour un usage local.

Je mets de côté les questions de capacité technique et d'autorisation d'accès à l'information ; la capacité technique étant assurée par les langages et les formalismes, les questions d'autorisation dépendant d'un cas à l'autre.

6.3.4 Visibilité des données

À supposer les données accessibles directement, reste à ce qu'elles soient visibles. Ce problème, Doerr l'expose assez clairement [DFIdJD14] et différentes solutions ont été trouvées :

- les agrégateurs (e.g. [OBD$^+$]) (récupérant les informations de sources identifiées au fil de l'eau),
- les bibliothèques (e.g. [CW03]) (dans lesquels verser les informations au fil de l'eau),
- les dépôts de bases de données (e.g. [AFFL$^+$11]) (agissant comme de simples annuaires de sources),

— les approches manuelles.

Pour faciliter les enjeux de gestion des données sensibles, ainsi que pour compléter mon postulat, d'après lequel les informations sont associées à un créateur, le fonctionnement par dépôt correspond le mieux à nos besoins. Les SPARQL endpoints permettent d'accéder directement à certains types de bases de données distantes formatées en RDF. Un module dédié permet d'ajouter des dépôts, de sélectionner les dépôts que l'on veut requêter et de lancer la requête pour chacun de ces dépôts.

Cette solution ne règle pas beaucoup des problèmes de la visibilité des données ; si les dépôts sont inconnus, ils restent inaccessibles. Mais j'ai le sentiment que la question de la connaissance de l'existence de dépôts me dépasse largement et relève de politiques institutionnelles à grande échelle (ou d'organismes au rayonnement international).

Cet outil n'est complètement pas développé aujourd'hui, mais j'ai pu tester quelques uns de ses aspects dans des mises en pratiques ciblées, que le prochain chapitre expose et détaille.

Chapitre 7

Mises en œuvre

> Le graphe social « est l'ensemble des relations de toutes les personnes dans le monde. Il y en a un seul et il comprend tout le monde. Personne ne le possède. Ce que nous essayons de faire c'est de le modéliser, de représenter exactement le monde réel en en dressant la carte »
>
> *Comment le Web change le monde* [PP08], via Ertzschied [Ert09] - **Francis Pisani**

Ce dernier chapitre explore différents tests des hypothèses et des propositions contenues dans le cahier des charges. Au fur et à mesure de l'avancée des réflexions, j'ai pu les passer au filtre de la mise en œuvre. Je commencerai par présenter une proposition de mise en œuvre d'interface web permettant l'accès aux données et aux requêtes, comment pourraient être gérées l'ajout d'information et la gestion des vocabulaires prédéfinis. Ensuite, j'expose une mise en œuvre des enjeux de traçabilité au travers d'opérations gérées par un module de traitement automatisé. Enfin, je présente des travaux et des résultats en travaillant à l'échelle de l'information, au travers des documents. Par leur association, nous avons pu produire des modèles, et des documents permettant leur visualisation. Tous ces travaux ont été réalisés en équipe, en collaboration avec différentes personnes. Je tiens particulièrement à les remercier pour les échanges scientifiques que nous avons pu avoir et pour chacune des réalisations communes.

7.1 Interface

L'interface donne accès à la base de données (pour consulter/rechercher des informations, pour ajouter des informations), permet de visualiser des informations et des documents, et de gérer les différents vocabulaires et sources de données. Nous n'avons pas tout mis en place, aussi je ne présenterai que des éléments relatifs à l'ajout d'information (entrée de texte libre ou depuis des sources de données ou des vocabulaires pré-définis). Les deux autres aspects ont été commencés et n'ont pas été menés à leur terme.

Ces travaux ont été réalisés en collaboration avec Grégoire Dupré La tour et Alexandre Trendel, deux étudiants en cursus par alternance à l'École Centrale de Nantes. Sollicités pour soutenir le développement opérationnel d'une proposition d'interface, leur implication et les échanges que nous avons pu avoir ont été, d'un point de vue technique très enrichissants. Je leur sais gré de leur implication irréprochable, autant dans la compréhension des enjeux que dans la production effective.

Développée en *Kotlin* à l'aide des librairies *Apache Jena* et *Spring*, l'interface web que nous proposons permet d'ajouter des informations (des triplets) à notre base de données orientée graphe. Reprenant le même mécanisme que celui présenté dans le chapitre 6, les triplets peuvent être qualifiés par des méta-données :

- générées automatiquement (utilisateur/créateur, date et heure, etc.),
- crées par l'utilisateur (identification d'une source d'information, statut de l'information : privé/public, etc.).

Jena utilise nativement TBD comme moteur de bases de données, avec lequel il est possible de communiquer au travers d'une API GraphQL. L'intérêt de l'interface est de permettre la communication avec l'API ou les API rattachées en système. L'interface simplifie la communication avec le système de gestion de base de données.

Notre proposition implique que les informations (les triplets) sont marquées par un identifiant unique produit par une fonction de hachage. Ce mécanisme permet,

- d'éviter les doublons d'information,
- de nous référer directement à une information en particulier,
- de sécuriser les données (via les méta-données et l'absence de collision permise par la fonction de hachage).

Pour tous les types d'informations [1], celles-ci seront marquées et il sera possible d'y référer par cet identifiant.

Dans cette mise en œuvre, nous avons choisi comme fonction de hachage SHA-2 (SHA-256 pour être précis), qui offre un niveau de sécurité attendu de 2^{128}. Cela nous a semblé raisonnablement suffisant pour notre usage. La fonction de hachage utilisée devra sans nul doute être choisie après analyse attentive des quantités de données concernées, des capacités de calcul des systèmes et des besoins de sécurité nécessaires.

Nous avons cherché à rendre l'ajout d'informations (la création de triplets/de quads) la plus assistée possible. L'utilisateur cherchera à référer à un élément (classe ou propriété) en particulier sans forcément savoir s'il existe dans un vocabulaire particulier ou s'il existe dans une base externe. La première fonction de l'interface consiste en la proposition d'éléments à partir de l'entrée de texte libre. La figure 7.1 montre un exemple trivial d'entrée d'information, développé pour l'exercice. On peut y voir à l'œuvre le mécanisme de proposition de prédicat pertinent. Dans cet exemple, l'objectif est de classifier un document, dans ce cas-ci l'*Édit de Nantes* en lui attribuant un "sujet" (*topic*, en anglais). Le vocabulaire FOAF (Friend Of A Friend) a été rendue actif par le module opérant la sélection des vocabulaires, c'est pourquoi, l'interface d'entrée d'information propose les deux occurrences de topic dans ce vocabulaire : foaf :topic et foaf :primaryTopic. On constate également que l'interface propose aussi de créer un élément de vocabulaire local, non rattaché à un vocabulaire partagé : local :topi dans l'état actuel de l'entrée de texte.

L'utilisateur peut ainsi sélectionner la solution qu'il préfère. La liberté ontologique reste entière sans empêcher la normalisation des éléments de vocabulaire utilisés pour, dans la mesure des choix de modélisation, faciliter l'interopérabilité.

Le même mécanisme se met en place pour les sujets et les objets de nos triplets (les éléments mis en relation). La figure 7.2 présente un exemple de recherche. Cette fois-ci, le mécanisme de recherche et d'autocomplétion se base sur le triple store de *dbpedia* que notre interface requête directement. Après sélection de l'élément intéressant, nous accédons à la liste des relations enregistrées.

Dans ce premier exemple, l'entité est identifiable par entrée de texte. Ça n'est pas toujours le cas : les entités composantes d'images ne répondent pas à une logique textuelle (cf. figure 7.3). L'intérêt d'une interface pour la sélection des éléments se manifeste à nouveau. Après

1. Autrement dit, peu importe qu'elle soit un élément d'une collection de données, un élément textuel plus ou moins long ou bien un élément graphique en 2D ou en 3D.

Figure 7.1 – Entrée d'information - © Dupré La Tour & Trendel, 2019

différents essais pour intégrer l'information 3D en direct en utilisant 3Dontology, implémentation en xml/owl du format de fichier X3D, mais rencontrant des difficultés pour réaliser l'affichage correct des informations, nous nous sommes rabattus sur l'affichage du fichier X3D par x3dom. x3dom permet la sélection des éléments et le format X3D représente autant les géométries discrètes que planaires ou volumiques. Ainsi, il nous est possible de sélectionner des points ou surfaces depuis des modèles 3D et de les lier à d'autres entités.

Enfin, notre interface permet également de créer des méta-données en sélectionnant des informations, devenant *sujet* dans le processus de création d'information. Cette sélection peut être multiple (et ainsi, on peut grouper l'ajout manuel de méta-données).

Notre interface donne accès aux informations dans notre base de données, dans des bases externes, et permet de créer de nouvelles informations, en suivant les formalismes que l'on souhaite. Nous l'avons également proposée pour permettre l'interaction avec des modules externes.

7.2 Exemple de module externe

J'appelle modules externes les programmes informatiques traitant les données ou les fichiers en présence d'une façon ou d'une autre. Cette définition est très vague, mais je ne voudrais pas présumer des besoins

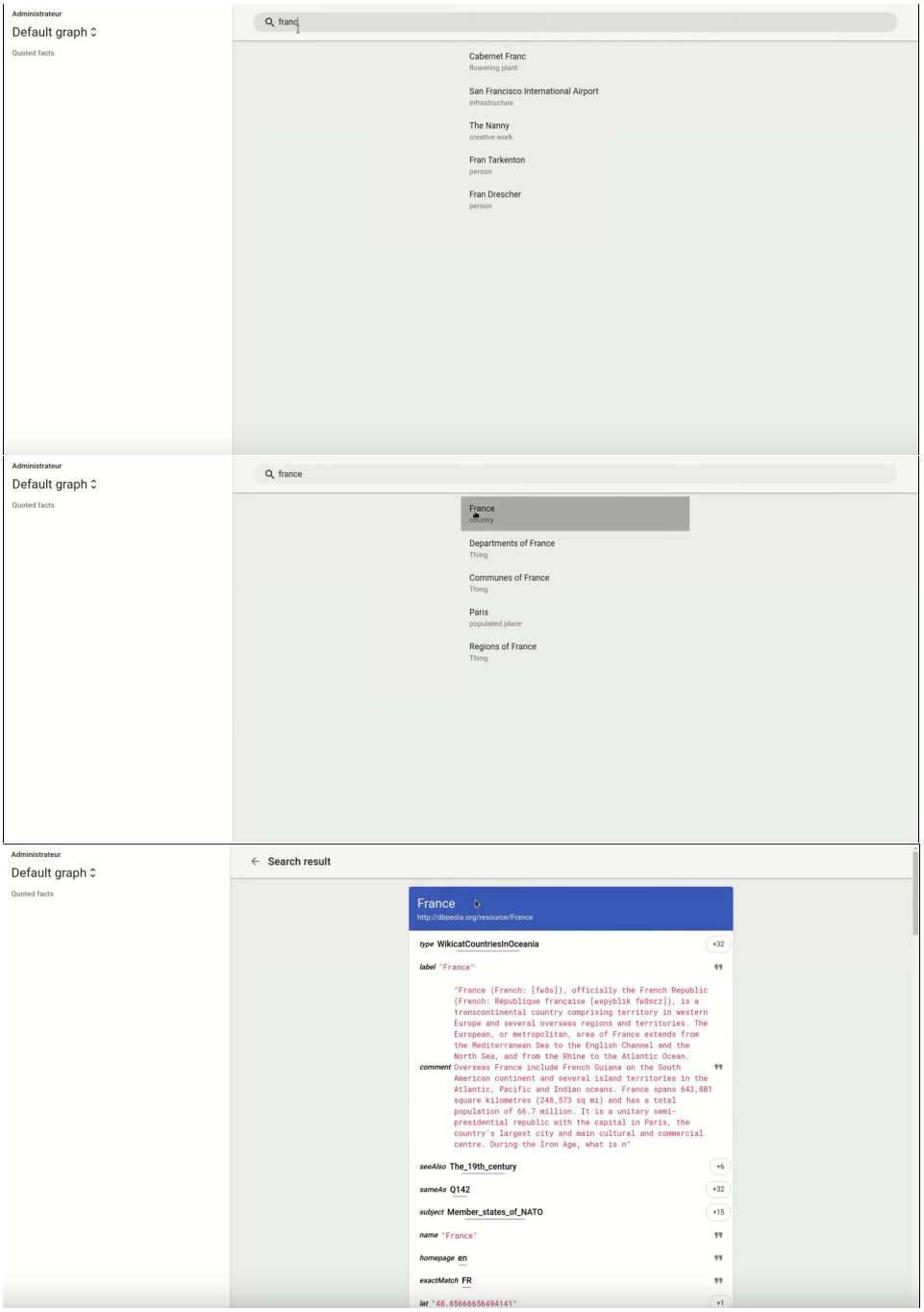


Figure 7.2 – Recherche d'entité et d'exploration de ses relations- © Dupré La Tour et Trendel, 2019

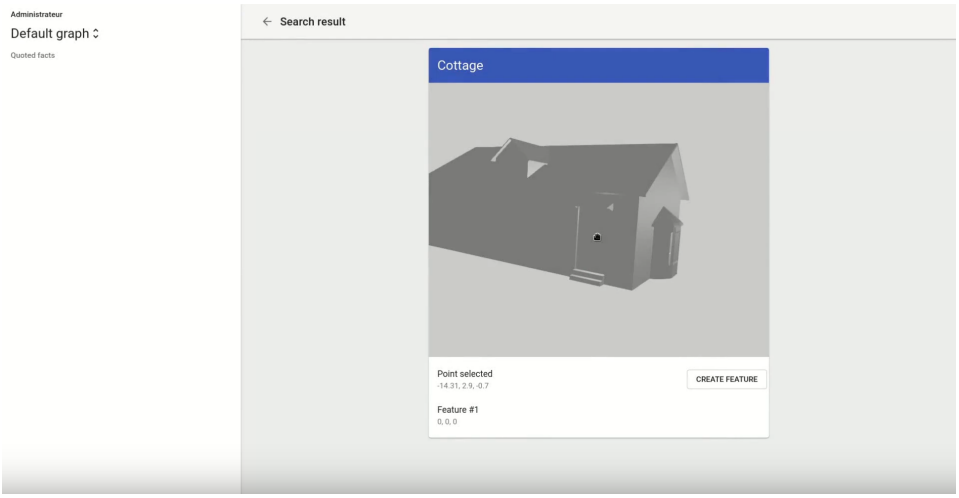


Figure 7.3 – Sélection d'entité depuis une image 3D- © Dupré La Tour et Trendel, 2019

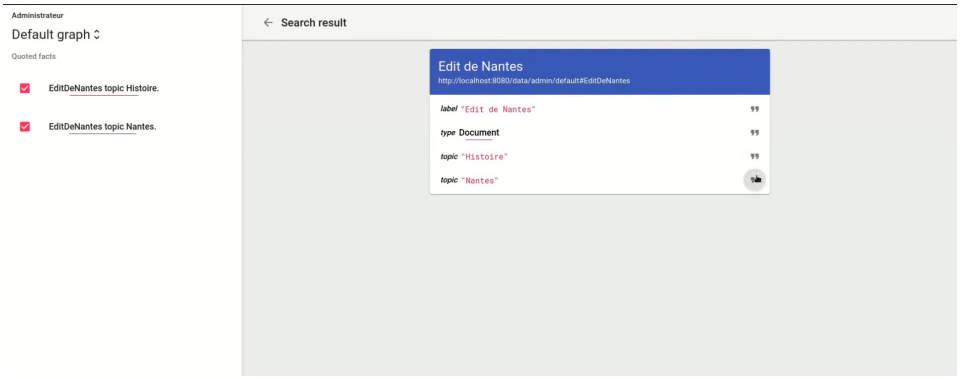


Figure 7.4 – Illustration d'une sélection d'informations- © Dupré La Tour et Trendel, 2019

et des usages d'autres que moi. Dans mon cas, l'emphase mise sur la 3D et la numérisation d'objets m'a poussé à essayer de mettre en place des modules facilitant la manipulation de ces fichiers. La facilitation avait plusieurs visées :

— réduire la quantité d'information importée dans la base de données : plutôt que d'importer les nuages de points denses issus des opérations de numérisation, peut-être pourrait-on plus simplement importer des approximations de géométries produites et segmentées automatiquement ? Il me semblait que dans les applications à l'échelle des bâtiments, l'unité du mur ou du pan de mur était le plus souvent l'échelle suffisante,

— tracer les méthodes et paramètres utilisés pour réaliser cette remodélisation automatique,

— permettre une gestion manuelle de la granularité des bâtiments jusqu'à l'échelle du mur ou du pan de mur. Identifiés et associables manuellement, les composantes des bâtiments sont définissables à l'envi.

Ces travaux ont été réalisés en collaboration avec Martin Boutroux pour la plus grande part et dans une part plus restreinte avec Guillaume Quéré. Je remercie Martin Boutroux pour sa curiosité, ses grandes capacités de travail collectif et individuel et son implication remarquable. Je remercie également Guillaume Quéré pour l'ouverture qu'il aura su apporter à la constitution de ce module lorsqu'il a accepté de se rallier à ce travail.

La fonction recherchée par ce module est simple : produire des modèles surfaciques très simplifiés, produits à partir de nuages de points. Les travaux d'Hélène Macher [MLG17] nous ont servi de base méthodologique, mais selon les cas d'application, la remodélisation est sujette à utiliser d'autres méthodes, adaptées aux objets, et aux intentions de remodélisation (pour la remodélisation de design mécanique, il sera pertinent de repartir des travaux de Nabil Anwer [AM16], par exemple). Sans revenir sur les détails techniques de la réalisation de cette remodélisation [2], nous vous proposons ici (7.5) un exemple de remodélisation d'un couloir du Pic du midi, en intérieur.

2. Les détails sont repris par le rapport de stage de Martin Boutroux qui est joint en annexe à ce document

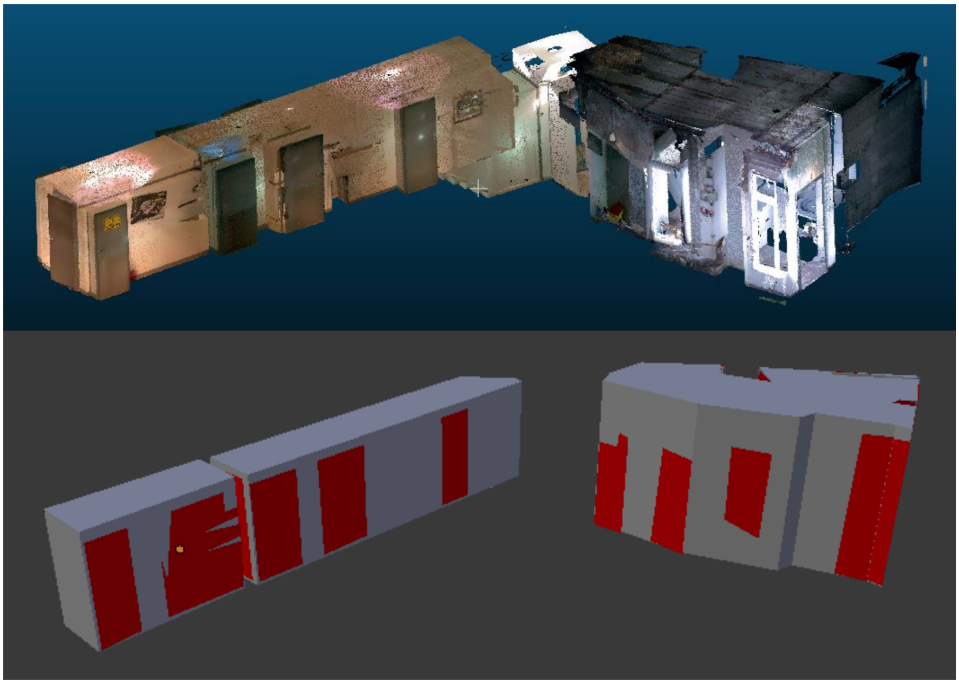


Figure 7.5 – Remodélisation d'un couloir intérieur de l'Observatoire du Pic du Midi - © Boutroux, 2018

7.3 Éclater les fichiers et centraliser l'information - Cas des cercles méridiens Gautier

Revenons enfin sur un des partis pris de ma proposition, l'éclatement des fichiers pour intégrer et centraliser l'information. Cette solution me semble nécessaire à l'intégration indifférenciée (quels que soient les types des données et les formalismes qui les conditionnent). Dans cette section, je présente les résultats que cet éclatement a produit. Je veux cependant préciser ici que cette proposition ne me semble être rien d'autre qu'une tentative de création de "fiches" ou de collages par un outil informatique, rassemblant des informations indifféremment depuis toute sorte de sources.

Ce travail a été réalisé avec la collaboration d'Amandine Bérard. je la remercie tout particulièrement pour la qualité remarquable de ses travaux intellectuels et son efficacité pratique. Ce fut pour moi très enrichissant d'avoir pu réfléchir et expérimenter avec sa collaboration précieuse.

Cette partie de notre proposition ne s'illustrera ni par des cas génériques comme pour l'interface, ni par des exemples du Pic du Midi comme le module de remodélisation. En effet, le projet Reseed avait déjà avancé ses travaux et le chantier d'un autre cas d'étude avait été ouvert lorsque j'ai cherché à produire des fiches informatiques à partir de la documentation. Cette partie de notre proposition, nous amènera vers l'étude des cercles méridiens Gautier.

Lorsque Jean Davoigneau, membre de l'équipe du projet Reseed et chargé du patrimoine scientifique et technique au sein de la mission Inventaire Général du Ministère de la Culture français, apporte le cas d'étude des cercles méridiens Gautier, il suppose que la densité de mécaniciens dans l'équipe produira une étude poussée du système mécanique. Dans les faits, l'étude historiographique prendra le pas sur l'étude du physicienne.

7.3.1 Cercle méridien et mesures méridiennes

Les cercles méridiens sont des instruments astronomiques conçues pour les travaux d'astrométrie. Pensés pour la précision de la mesure, les cercles tirent leurs noms de la présence variable selon les modèles d'un ou plusieurs cercles solidarisé(s) à une lunette astronomique. En association à une horloge, ces cercles permettent de mesurer des positions d'étoiles, des positions sur le globe terrestre terre ou de contrôler

la bonne marche des horloges. Ces cercles sont dits « méridiens » car la lunette est positionnée sur un plan fixe : le plan méridien (c'est à dire que l'axe de la mesure est l'axe Nord-Sud). La figure 7.6 présente une vue générale du cercle méridien de Toulouse. On le voit dans son abri de l'Observatoire de Jolimont ; la lumière provient de la fente ouverte dans le bâtiment [3].

Le fonctionnement du cercle méridien articule 3 variables : La position sur terre, l'heure sidérale et la position d'un astre dans le ciel [4].

Les combinaisons, de façon simplistes, sont les suivantes :

- Lorsque la position sur Terre est connue (ce qui est le cas pour ces lunettes installées dans des observatoires spécifiques)
  - à supposer que l'horloge soit considérée fiable et l'heure connue : on peut mesurer la hauteur de passage de l'étoile, et cartographier le ciel d'une nuit ou, par la mise en série de plusieurs nuits d'observation, suivre les courses des astres. Dans cette configuration, la lunette mesure des positions d'étoiles, nuit après nuit.
  - à supposer que la course d'une étoile soit bien documentée et considérée connue, il est possible de vérifier la bonne marche de l'horloge ou d'autres horloges. Dans cette configuration, la lunette mesure du temps et permet le réglage des horloges, nuit après nuit.
- Lorsque la lunette est mobile, l'observation d'un astre bien connu, utilisée avec une horloge que l'on suppose fiable, permet de déduire de façon relativement précise notre position le long du méridien.

7.3.2 Les cercles de Gautier

Je dois la très grande majorité des informations à venir aux travaux collectifs de Françoise Le Guet Tully et de Jean Davoigneau sur les cercles méridiens (e.g. [GTD05]). Bien plus étayés que les quelques lignes que je propose ici, j'en recommande la lecture pour aller plus loin sur les cercles Gautier.

Les Observatoires français qui nous intéressent présentement ont tous été équipés de ces cercles méridiens entre 1877 et 1890. Durant ces

3. Puisque l'instrument mesure seulement dans un plan, pas besoin de coupole, une ouverture suivant l'axe Nord-Sud suffit.

4. plus précisément sa hauteur de passage dans le plan méridien : sa déclinaison

Figure 7.6 – Vue générale du cercle méridien de Toulouse - CC-BY-NC, LJ, 2018

Obs.	Date	Constr.	⌀cercle	Ouv.	Dist. f	état en 2003
Paris	1877	Eichens	1m	19cm	2,32m	en place
Mareille	1878	Eichens	1m	18,8cm	2,30m	démontée
Lyon	1879	Eichens	80cm	15cm	2m	démontée
Hendaye	1880	Eichens	70cm	15cm	2cm	en place
Bordeaux	1881	Eichens	1m	18,9cm	2,32m	fonctionne
Besançon	1885	Gautier	1m	18,9cm	2,37m	en place
Toulouse	1890	Gautier	1m	18,9cm	2,30m	en place

Table 7.1 – Caractéristiques des cercles Gautier des observatoires de France métropolitaine (extrait de [GTD05])

treize années, huit sont installés dans la France de l'époque, respectivement à Paris, Marseille, Lyon, Hendaye, Bordeaux, Besançon, Alger et Toulouse. De ceux-ci, nous n'avons travaillé que sur les 7 de l'hexagone. Deux entreprises produisent ces cercles (cf. le tableau 7.1), la maison Eichens et la maison Gautier, mais dans les faits, la vie de ces ateliers fait qu'une approximation rattachant ces instruments à Gautier seulement ne semble pas abusif.

Pour Jean Davoigneau, ces cercles méridiens constituent un cas particulièrement intéressant pour l'étude patrimoniale, de par la tension entre le typique et l'unique qu'ils génèrent.

- Les cercles méridiens sont conçus et fabriqués en un temps assez court : **en ce sens, on peut les considérer une série**.
- Ils présentent cependant tous des caractéristiques différentes : **ils restent des objets uniques**.
- Leur commande fut centralisée, l'intérêt majeur de ces lunettes c'est le travail en réseau : **ils constituent un réseau d'instruments scientifiques**.
- Ils ont cependant tous eu leurs propres vies, plus ou moins longues, et ont subi des modifications plus ou moins lourdes : **ils ont évolué et servi de façon différenciée**.

Cette série, conçue dans la fin du XIX^{e} siècle est, pour la majorité de ses composantes existantes, aujourd'hui encore en place dans leurs observatoires originels ; certaines lunettes fonctionnaient jusqu'au début des années 2000 et restent aujourd'hui en très bon état, les autres pouvant présenter un état de marche approximatif.

7.3.3 Fiches et frises

Avec Amandine Bérard, nous avons approché les cercles avec des méthodes d'ingénierie mécanique ou industrielle d'une part et les méthodes de l'étude patrimoniale classique, d'autre part. Ainsi, nous avons alterné passages en archives et numérisation 3D. Devant la grande quantité d'informations accessibles directement ou qu'il nous était possible de produire, nous avons choisi de nous outiller, de façon minimale. A défaut d'avoir un outil mature produit par nos soins, nous nous sommes tournés vers *Omeka*. Nous avons déjà rapidement évoqué *Omeka* dans notre chapitre 3. C'est un outil de gestion de contenu, qui permet la structuration et la mise en ligne d'informations.

Grâce à notre instance Omeka, nous avons pu stocker toutes les informations que nous trouvions dans la documentation que nous avons pu consulter. Rassemblées en un seul et unique lieu, ces informations produisaient un premier nouveau document : la page *Omeka* de l'objet.

La figure 7.7 montre par exemple que nous avons alors pu rassembler des informations de différentes natures : des images, des collections et des textes. Reliant des entités typées à d'autres entités typées, le fonctionnement d'*Omeka* dans sa version S (celle que nous avons utilisée) correspond dans les grandes lignes au fonctionnement que je propose : des vocabulaires standardisés gérés de façon externe à l'outil structurent les données. L'utilisateur garde la possibilité de rajouter un vocabulaire absent. L'environnement ontologique n'est ni prédéfini, ni fini.

La production de ces fiches synthétiques était une première mise en pratique de notre proposition, mais à bien des égards insatisfaisante : avec Omeka, la pleine gestion de la traçabilité est compliquée, et puis il nous semblait malgré tout que ces fiches générées automatiquement à partir des informations agrégées autour d'une entité ne pouvaient pas être des produits finaux pour tous les publics. Ce sont à n'en pas douter un résultat nécessaire au travail du chercheur. Le travail de l'étude patrimoniale se déroule dans un environnement qui dépasse les seuls chercheurs : l'explication du patrimoine s'adresse à un public plus large. Nous cherchons ici à garder le même niveau de qualité d'information entre les documents à destination des chercheurs et ceux à destination des publics plus larges. Seule la quantité d'information nous semblait devoir être mise en jeu.

Par exemple, les microscopes présents sur les piliers du cercle de l'Observatoire de Paris ont subi de nombreux changements au cours des années (cf. figure 7.8). La page correspondante sur l'instance *Omeka* les enregistre tous. Nous avons considéré que ça n'était pas suffisant et

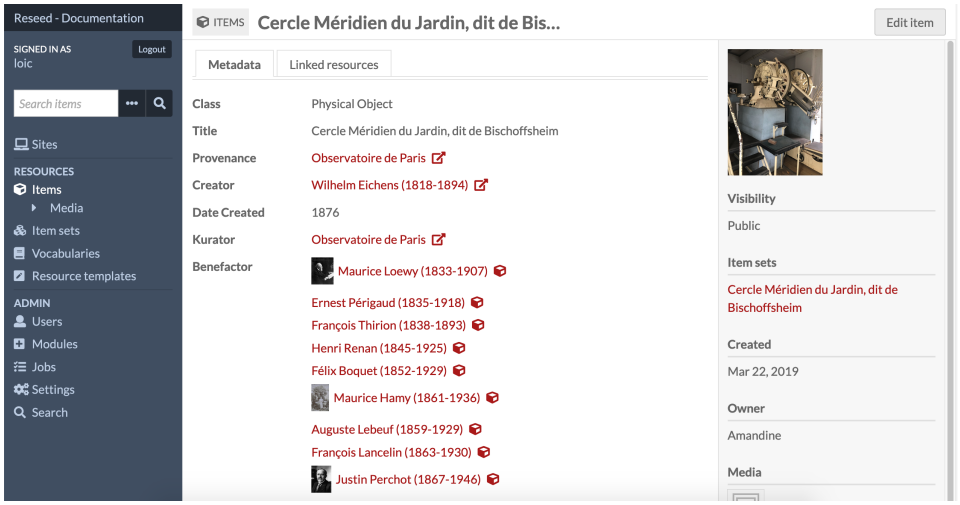


Figure 7.7 – Page du cercle méridien du jardin de l'Observatoire de Paris - Reseed, 2019

qu'il nous fallait réfléchir à des modalités de visualisations différentes permettant de comprendre, peut-être mieux, au moins différemment les informations rassemblées.

En ce sens, nous avons expérimenté et la structure des informations en présence, nous mena à la constitution de frises chronologiques. Nous avons alors traduit la page des micromètres et oculaires du cercle du Jardin (figure 7.8) pour produire la figure 7.9

La visualisation permet de distinguer les modifications lourdes des modifications plus légères en un coup d'œil. En complément de la page descriptive, elle permet d'approcher l'objet plus directement.

Ce processus d'analyse-synthèse des informations, producteur de fiches et de visualisations permet également de générer des comparaisons. On rejoint alors l'enjeu des études comparatives, chères au patrimoine. Il nous était possible de mettre en regard les uns des autres beaucoup d'éléments. Nous sommes ici restés simples dans nos choix : nous avons porté à la comparaison l'évolution d'un même élément, mais sur des lieux différents (c.f. figure 7.10). Cela produit une forme de réponse, sujette à interprétation, à la question : comment ont évolué les micromètres sur les différents Observatoires en France ?

De plus, nous avons également mis en regard les différents éléments d'un même instrument (c.f. figure 7.11). Ainsi, d'un seul regard, nous avons

Figure 7.8 – Page des micromètres et oculaires du cercle méridien du jardin de l'Observatoire de Paris - Reseed, 2019

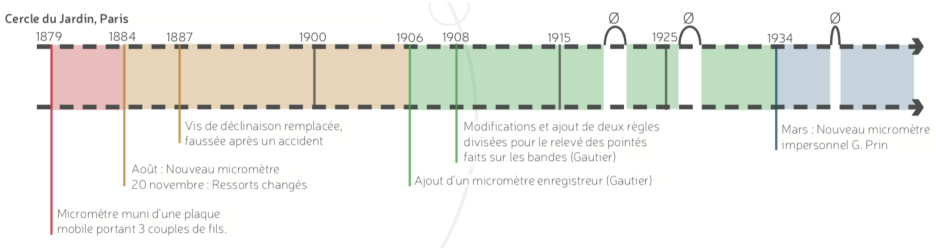


Figure 7.9 – Frise des micromètres et oculaires du cercle méridien du jardin de l'Observatoire de Paris - © Amandine Bérard, 2019

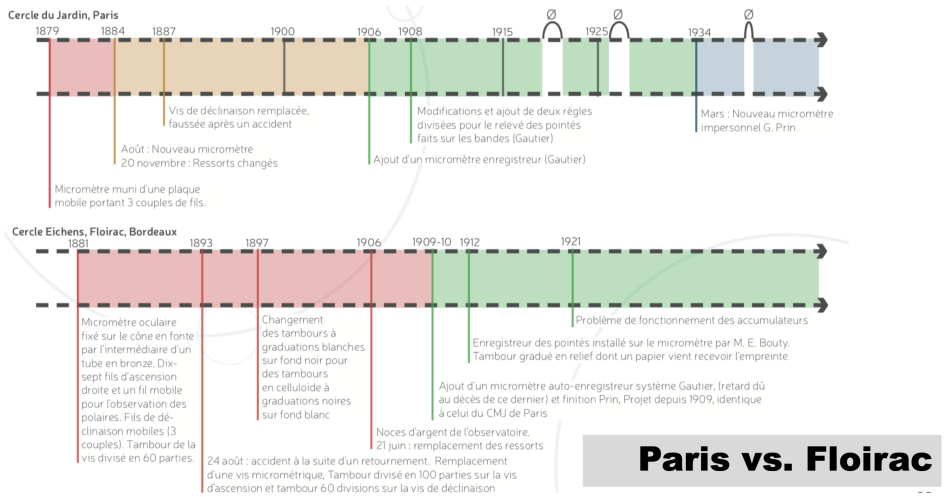


Figure 7.10 – Frise des micromètres et oculaires du cercle méridien du jardin de l'Observatoire de Paris et de l'Observatoire de Bordeaux-Floirac - © Amandine Bérard, 2019

pu nous faire une idée approximative de la vie et de l'évolution de la lunette de Paris.

7.3.4 Des générations de cercles

Ces considérations sur l'outillage et la méthode nous ont permis d'étudier les lunettes de relativement près, dans la perspective de leurs révisions. Ce sont des instruments bien documentés, que Jean Davoigneau suit depuis plusieurs années maintenant. Nous n'attentions donc pas de découverte spectaculaire ou majeure et aucune ne fut au rendez-vous. Cependant, il me semble qu'un élément mis au jour par Jean Davoigneau en septembre 2019 sort un peu du lot. Scinder la série des cercles en trois générations montre une certaine cohérence. Pour mieux mettre au jour ces étapes du développement des cercles, je présente toutes les lunettes construites par Gautier dans les ces années, qu'elles soient en France ou non.

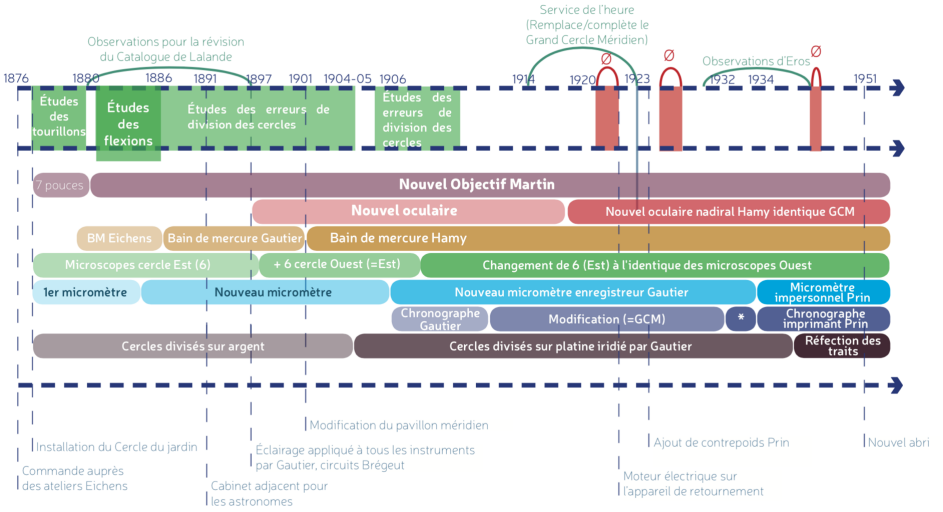


Figure 7.11 – Frise constituée des composantes du cercle méridien du jardin de l'Observatoire de Paris et de l'Observatoire de Bordeaux-Floirac - © Amandine Bérard et Loïc Jeanson, 2019

Génération I : Piliers asymétriques, lecture d'un seul côté

La première génération de cercles méridiens comporte un seul cercle de lecture, d'un mètre de diamètre, ainsi que des pieds asymétriques : la lecture n'est prévue que d'un côté et le retournement de l'appareil impossible. Dans les piliers en pierre de taille sont encastrés des supports en fonte permettant la rotation du système.

Telle est la configuration à Lima, Paris [5] et Marseille, comme le montre la figure 7.12.

Ces choix constructifs apportent leur lots de limites : les profils de dilatation différents des matériaux qui composent le pilier entrainent des erreurs de mesure qu'il est difficile à quantifier. De plus, les astronomes cherchent à mesurer les erreurs inhérentes à l'instrument, au travers des heures de la nuit et au travers des mois de l'année. Développer la capacité de la lunette à se retourner devient indispensable. La chose est mise à l'expérimentation dans la seconde mouture.

5. à l'installation

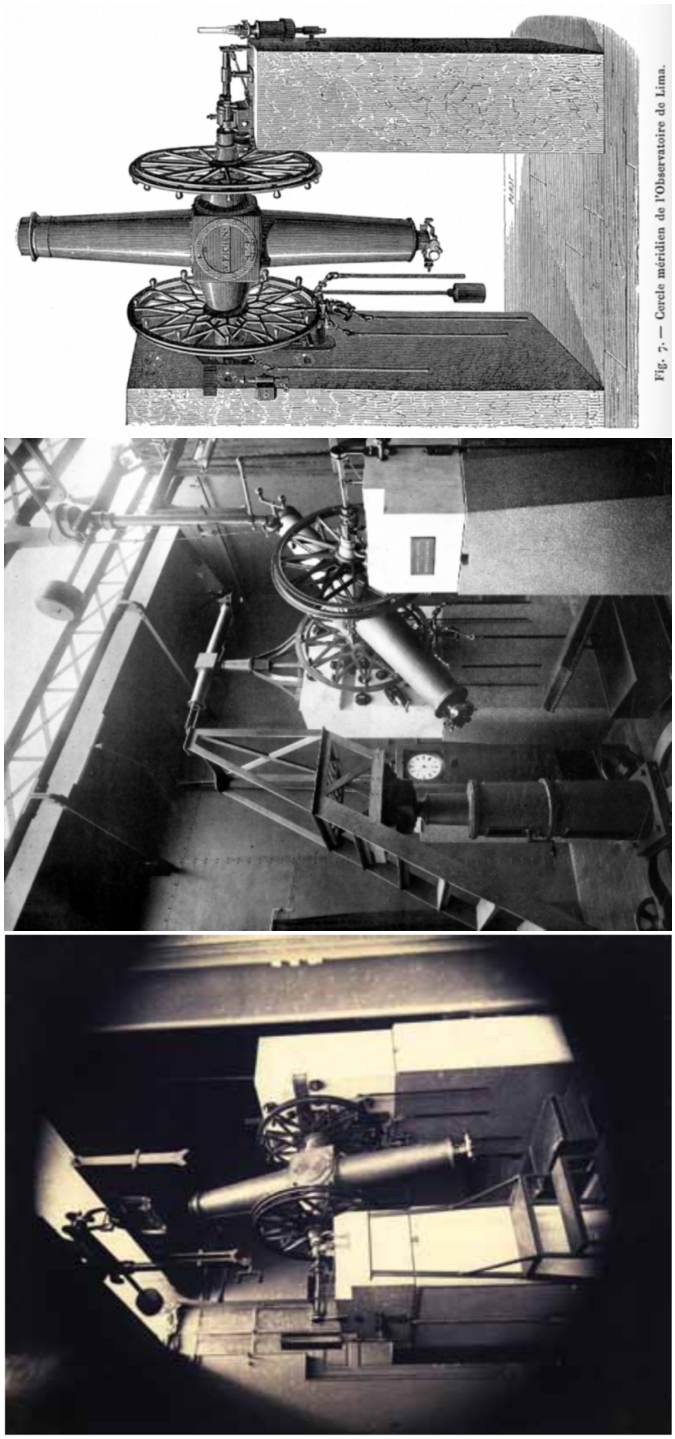


Figure 7.12 – Les trois lunettes Gautier de « première génération », de haut en bas : Lima, Paris, Marseille.

Génération II : Piliers symétriques, lecture d'un seul côté

Les deux cercles produits dans cette génération sont un peu plus petits que les précédents. Les deux installations en 1879 et 1880 se font sur des piliers identiques cette fois-ci, surmontés de piliers en fonte permettant le support de la lunette et des cercles. La lecture ne se fait toujours que d'un côté, mais la capacité de retournement de la lunette entraine l'installation de cercles de chaque côté. Cette génération rassemble les cercles de Lyon et Hendaye, présentés par la figure 7.13

Génération III : Piliers symétriques et lecture de chaque côté

La recherche continuelle des astronomes vers la maîtrise des variables de leur instrument crée le besoin de lecture des 2 côtés de la lunette, en même temps, afin de pouvoir comparer les mesures, essayer de réduire l'erreur et de maîtriser l'incertitude. La troisième génération apporte cette possibilité avec des cercles dotés de micromètres de lecture de chaque côté (6 ou 8 selon les modèles).

La figure 7.14 ne présente que 3 cercles de Gautier dans cette configuration, Besançon, Alger et Toulouse. En réalité, Rio, La Plata, Athènes et Tokyo présentent les même caractéristiques. Les moyens de mesurer l'instrument et ses variations n'ont jamais été aussi grands. Le cercle de Paris, premier à être installé était un vieux modèle qui a subi une modification profonde en 1884-1885 pour se transformer en un modèle de 3^e génération.

Les lunettes de Paris et Floirac sont celles qui seront modernisées les dernières, aussi elles intègrent, en plus de cette classification par générations, des éléments supplémentaires. Par rapport à la première photographie du cercle de Paris, la figure 7.15 montre malgré tout un profit très différent de la figure 7.12. La transformation vers la « génération III » apparait clairement.

7.3.5 En synthèse

L'approche qui décompose les fichiers pour réunir les informations de façon indifférenciée et structurée permet des compilations d'informations fort utiles. Les outils informatiques, lorsqu'ils facilitent cette compilation d'information soutiennent à l'analyse.

Cette compilation, peut développer un potentiel encore plus important lorsqu'elle produit des visualisations qui autorisent un accès diffé-

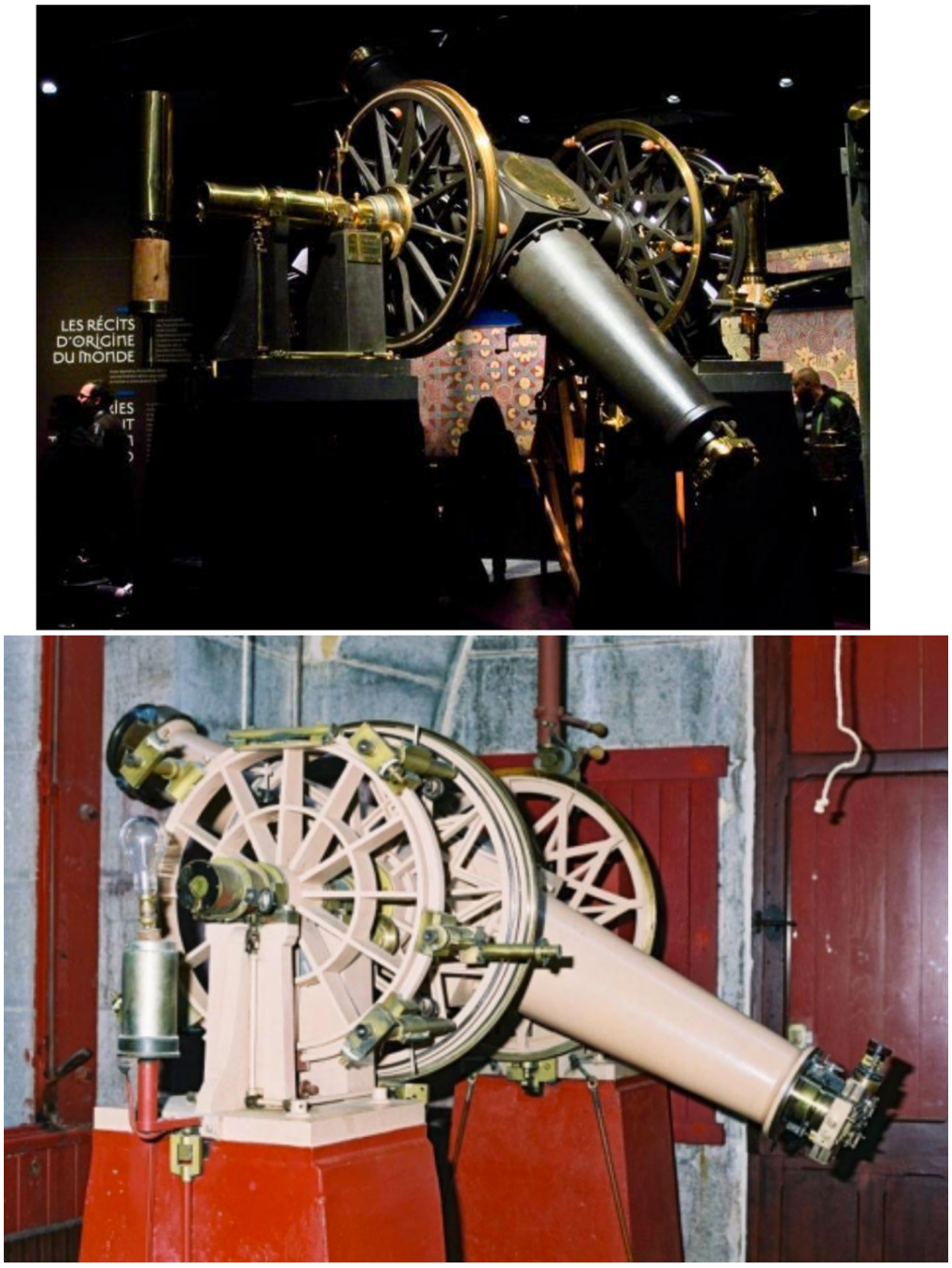


Figure 7.13 – Les deux lunettes Gautier de « seconde génération », de haut en bas : Lyon, Hendaye.

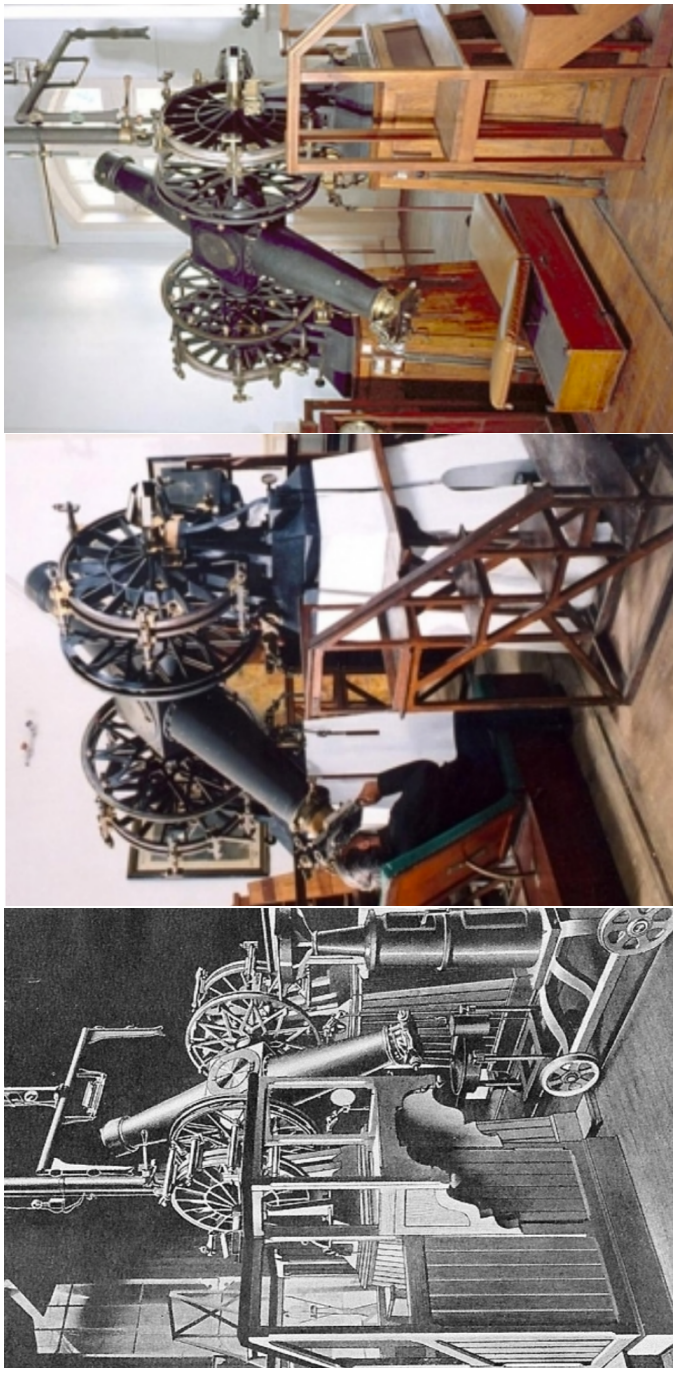


Figure 7.14 – Lunettes Gautier de « troisième génération », de haut en bas : Besançon, Alger, Toulouse.

Figure 7.15 – Lunettes Gautier de l'Observatoire de Paris aujourd'hui.

rent aux informations.

Il est difficile pour moi de conclure que ma méthode de travail produit cette forme de résultat nouveau qu'est la classification des cercles français. A vrai dire, je pense que c'est sans doute d'avantage un corollaire de l'étude globale, des passages en archives, de la consultation de documentation, notamment sur le cercle de Marseille (qui est aujourd'hui démonté et en boites) qui a permis à Jean Davoigneau de visualiser ce découpage générationnel.

Le recours à la base de données et aux frises a permis d'identifier que les changements de Paris sont postérieurs à l'arrivée de la génération 3 et qu'ils les rejoignent. La modélisation a essentiellement servi dans ce cas à étayer, à renforcer la cohérence de l'hypothèse première.

7.4 Retours d'application

Ces différentes applications confirment plutôt la pertinence de ma proposition et la capacité que l'on pourrait avoir à la réaliser pour réussir à intégrer des informations très différentes, en un contexte déontologique, humain et logiciel en particulier.

Les prototypes développés pour faire ces tests manquent de maturité et de robustesse pour être utilisés par d'autres. Ils pourraient venir en renfort, en guide pour le développement plus robuste et plus intégré d'une solution plus complète, à utiliser en complément des outils déjà en usage.

Chapitre 8

Conclusion générale

> Mais chez les uns et chez les autres, la théorie de la valeur, comme celle de la structure dans l'histoire naturelle lie le moment qui *attribue* et celui qui *articule*
>
> *Les mots et les choses* - **Michel Foucault**

> C'est sous cet aspect qu'il fallait le considérer [...], en nous demandant si l'évocation de l'état premier de l'église aurait été plus éloquent en le conservant sous la forme de ruine historique ou en le reconstituant.
>
> *La restauration selon l'instance historique* dans *« Théorie de la restauration »* - **Cesare Brandi**

Nous voici à la conclusion de ce travail de thèse. Au moment de terminer, j'espère évidemment qu'il se poursuivra dans les mois et les années à venir. Par bien des aspects, je vois les failles et manques de ma proposition, mais j'en vois également le potentiel à l'usage. J'ai également hâte de pouvoir la soumettre à une critique constructive issue d'un usage approfondi. Mais avant de terminer tout à fait par le détail des limites et des opportunités que j'entrevois, je consacre une première section pour un retour global, comme une synthèse des chapitres précédents.

8.1 Vue d'ensemble

Ce document reflète une partie des travaux du projet Reseed. Mêlant cycle de vie des produits et valeur patrimoniale, intégrité documentaire et intégrité patrimoniale, remodélisation automatique et travail en archives, la forme de ce travail a été hésitante. Ou plutôt, j'ai hésité à la forme que ce travail devait prendre. La variété des sujets ainsi que la richesse de leur rencontre ne m'aura pas facilité la tâche de hiérarchie, de sélection. J'espère que le panorama multi-dimensionnel auquel je me suis essayé rassemblera des lecteurs de plusieurs familles disciplinaires (plutôt qu'il ne les exclura tous au fur et à mesure de la lecture !).

J'ai commencé par l'immersion dans les enjeux patrimoniaux de l'étude de l'Observatoire du Pic du Midi, site ancien, relativement complexe, en changement permanent. Nous y avons rencontré des pratiques patrimoniales : la constitution *dossier d'œuvre patrimonial* passe par l'identification de qualités au bien, cela reflète une forme de mécanique de l'étude. Mais nous y avons également été confrontés à des enjeux de conception du patrimoine. Les changements permanents opérant à l'observatoire pyrénéen le distinguent profondément d'autres biens de patrimoine culturel beaucoup plus stables dans le temps (e.g. un calice d'église ou une statue en marbre ne subit pas de travaux de maintenance tous les six mois).

J'ai cherché à dresser un large tour d'horizon des sujets en mouvement : la documentation, la modélisation et le patrimoine pour comprendre comment un outillage informatique pourrait être utile à l'interface des pratiques existantes.

Forts de constats, surtout des contraintes à la constitution d'un outil, j'ai abouti à la formulation d'un cahier des charges restreint pour la réalisation d'un outil en soutien à une partie des travaux patrimoniaux : la réalisation de synthèses liant plusieurs types d'informations depuis plusieurs documents, produisant une modélisation nouvelle, capable d'intégrer des hypothèses. La modélisation, constituée de choix, force à décider de parti-pris ontologiques. Je propose, entre autre, presque comme une position déontologique, que l'outil de modélisation devrait, autant que faire se peut, ne pas interagir avec les intentions de modélisation de l'utilisateur. L'outil, cependant pour rester opérant ne peut pas s'abstraire tout à fait de standardisation. C'est pourquoi un fonctionnement hybride, où l'utilisateur a la charge de la décision me semble présenter toutes les qualités. Il ne limite pas l'utilisateur dans ses choix et le force à s'impliquer dans la connaissance des techniques qu'il utilise, puisque le choix lui incombe, *a fortiori*.

Je propose ici la structure d'un outil à la modularité en plusieurs niveaux (données, vocabulaires et traitements), dans l'espoir que cette souplesse dans les opérations le rendra attrayant et utile pour de nombreux utilisateurs. Par la généricité à l'usage de l'outil, et peut-être dans sa capacité d'être accessible à un grand nombre, je cherche également à essayer de participer à la réalisation effective d'un *Web de données*, dont la construction reste encore en chantier.

Dans ma proposition un accent important a été mis sur la traçabilité des informations, des documents et des traitements. Cette traçabilité nécessaire à l'établissement de critères d'intégrité et d'authenticité documentaire passe par différents artifices techniques.

Enfin, un dernier chapitre présente les tests et confrontation au réel de certaines parties de ma proposition : interface web pour la gestion de nos données, utilisation de modules de traitements automatiques, et l'avantage du travail à l'échelle sub-documentaire pour intégrer les informations hétérogènes. Ce dernier chapitre présente également succinctement les cercles méridiens Gautier des Observatoires de France, étudiés dans le cadre du projet Reseed.

En m'intéressant au patrimoine, je constate la dynamique des grandeurs, valeurs et qualités, mise en jeu dans l'analyse du patrimoine. Les constats d'évolution rapide de certains types de patrimoines engendrent des visions où intégrité et authenticité se voient en partie considérées au même ordre que la connaissance de leurs évolutions. Puisque le changement de ces patrimoines est inévitable (et puisque les restaurations sont lues et constatées comme des altérations), toute résistance est futile ; le patrimoine change. Loin d'être une fataliste, ce constat nous met nous aussi en action et en responsabilité : étudions, choisissons, préservons tant que possible et documentons les changements !

8.2 Limites et perspectives

Ma proposition, analytique, devient à peine un peu plus concrète par ce cahier des charges, mais reste, en grande partie, un apport sur le papier. Le chemin à parcourir jusqu'au développement d'un outil, espérons-le, pertinent, mais avant tout utilisable facilement, reste long et sera sans doute la critique la plus efficace à ce travail théorique. Sans mise en pratique réelle, ma proposition me parait difficile à évaluer sur le fond.

Ma proposition également n'est pas exempte d'idéologie. J'ai cherché à l'indiquer lorsque je le repérais, me trouvant autant tenu par les constat de nœuds à résoudre que par les convictions de solutions. L'importance

de la liberté ontologique, en premier lieu constitue une première conviction, mais également peut-être un besoin pour maintenir une pratique pertinente par la possibilité de retrouver les évolutions suivies. Je prête à la diversité conceptuelle, à la diversité des approches et des pratiques une grande part dans la qualité des modélisations développées. Ce choix de liberté ontologique m'a poussé, presque spécifiquement à ne pas chercher à développer de modèle de données « pour le patrimoine », réitérant le constat que la modélisation répond à une question initiale, et que les travaux patrimoniaux cherchent spécifiquement à ne pas trop standardiser leurs questionnements.

Je ne doute cependant pas qu'il est possible de produire un tel modèle de données. Ou plutôt, je ne doute pas qu'il est possible de produire de tels modèles de données ponctuellement, pour répondre à différents besoins ponctuels de modélisations.

Dans un grand nombre de cas, ma proposition cherche à canaliser et enregistrer les choix des utilisateurs, ou à restreindre les choix aux seuls quelques utiles. Dans l'état actuel, j'effleure seulement les paramétrages automatiques, ou la question des classifications qu'un outil comme celui-là aura à rencontrer. Une des perspectives évoquées dans cette thèse, le suivi des intentions de modélisation et des conceptions des objets est due à l'explicitation qu'elle cherche à améliorer. Je pense qu'explorer la question des classifications produites par explicitation assistée ordinateur serait une perspective intéressante des questionnements théoriques pour ce travail, qui pourrait ensuite chercher à s'incarner dans une fonctionnalité d'outil informatique. Je pense notamment que les travaux des pédagogues qui accompagnent la formation des concepts et des classifications au cours du développement de l'enfance (comme par exemples les travaux de Britt-Mari Barth [Bar11]) seraient un bon point de départ.

Novice dans les travaux informatiques poussés et dans les travaux patrimoniaux, j'ai pu développer de petites compétences aux interfaces de ces disciplines. Au moment de conclure, je me questionne nécessairement sur les critères et méthodes qui me permettent d'évaluer mon travail d'un point de vue disciplinaire. La dispersion est à mes yeux le risque le plus important de ce travail et je m'interroge sur son apport dans toutes les disciplines qu'il approche. D'un point de vue personnel, le grand écart disciplinaire reste une source inégalée d'apprentissages, de remises en question et de curiosité, c'est à dire pour moi de plaisir.

Si « la science informatique n'est pas plus la science des ordinateurs que l'astronomie n'est celle des télescopes », pour reprendre les mots d'Hal Abelson, il en va de même pour les humanités. Mais les astronomes

doivent savoir se servir, réparer (minimalement) et calibrer leurs télescopes. Aussi, le développement de compétences aux interfaces, de connaissances et compétences partagées, ne semble pas dispensable. Ma proposition essaie d'intégrer cet autre enjeu en responsabilisant l'utilisateur dans ses choix.

D'un point de vue épistémologique et peut-être philosophique, ce travail vers la construction d'un outil me questionne sur l'usage qu'il en serait fait. L'étude patrimoniale n'a de cesse de faire et défaire les classifications, pour mettre en avant les nuances, pour remettre en question des états de connaissance établis. La formalisation informatique limite beaucoup la souplesse conceptuelle que l'on conserve à travailler avec moins de rigueur de formalisation. Dans quelle mesure cette formalisation informatique sert-elle un patrimoine par nature en changement ? Ou donne-t-elle, peut-être malgré elle, une assise forte aux conceptions figeant le patrimoine ?

L'outil décrit dans ce travail ne trouve pour moi sa vocation que dans la consultation et la création de modélisations. Il reste, autant que possible, en dehors de l'évaluation. La décision systématique, algorithmique, même très fine ne me parait pas compatible avec les pratiques patrimoniales, qui correspond davantage à une forme de gouvernance par la parole, dans laquelle les conflits et désaccords sont exprimés (et en cela, l'outil est pertinent, pour la confrontation de modélisations), et discutés. Outiller l'évaluation patrimoniale ne serait-ce pas construire une sorte d'obsolescence de l'Homme que Günther Anders [AD02] déplore ?

D'un point de vue personnel, j'espère désormais pouvoir poursuivre ce travail en le développant plus concrètement. « Un couteau [...] sert en coupant » titre François Sigaut. Ma proposition manque encore de confrontation au réel qu'il me tarde de dépasser. Le travail collectif avec les professionnels du patrimoine montre le besoin d'un outil opérant.

Bibliographie

[AA06] Z Aslan and M Ardemagni. Introducing young people to the protection of heritage sites and historic sites. *Retrieved, September*, 12 :2013, 2006.

[AD02] Günther Anders and Christophe David. *L'obsolescence de l'homme*. Encyclopédie des nuisances, 2002.

[AD09] Lucia Amelan, Roni ; Iglesias and Gina Doubleday. Dresde est retirée de la liste du patrimoine mondial de l'unesco. https://whc.unesco.org/fr/actualites/522/, Juin 2009.

[AFFL+11] Jesús Alcalá-Fdez, Alberto Fernández, Julián Luengo, Joaquín Derrac, Salvador García, Luciano Sánchez, and Francisco Herrera. Keel data-mining software tool : data set repository, integration of algorithms and experimental analysis framework. *Journal of Multiple-Valued Logic & Soft Computing*, 17, 2011.

[AKB08] S. Ammar-Khodja and Alain Bernard. An overview on knowledge management. In Alain Bernard and Serge Tichkiewitch, editors, *Methods and Tools for Effective Knowledge Life-Cycle-Management*, pages 3–21, Berlin, Heidelberg, 2008. Springer Berlin Heidelberg.

[ALQ+18] Marie-Morgane Abiven, Sylvain Laubé, Ronan Querrec, Serge Garlatti, Bruno Rohou, Matthieu Courgeon, Robert Vourch, and Jean-Pierre Roué. Histoire des paysages portuaires et humanités numériques. 2018.

[ALRB17] Mohamed Islem Ouamer Ali, Florent Laroche, Sebastien Remy, and Alain Bernard. Ki4d : Nouvelle méthodologie de rétro-conception intégrée. 2017.

[AM16] Nabil Anwer and Luc Mathieu. From reverse engineering to shape engineering in mechanical design. *CIRP Annals*, 65(1) :165–168, 2016.

[And97] Jean-Yves Andrieux. *Patrimoine et histoire*. Belin Paris, 1997.

[AP13] Julie André and Elena Pierazzo. Le codage en tei des brouillons de proust : vers l'édition numérique. *Genesis. Manuscrits–Recherche–Invention*, (36) :155–161, 2013.

[Aug07] Cedric Augustin. Référentiel général d'interopérabilité : incompétence ou volonté ? 2007.

[Bac93] Gaston Bachelard. *La formation de l'esprit scientifique : contribution à une psychanalyse de la connaissance*. Vrin, 1993.

[Bac00] Bruno Bachimont. L'archive numérique : entre authenticité et interprétabilité. *Archives*, 32(1) :3–15, 2000.

[Bac10] Bruno Bachimont. Le sens de la technique : le numérique et le calcul. *Paris, Encre Marine*, 2010.

[Bar11] Britt-Mari Barth. *Le savoir en construction*. Retz, 2011.

[BBČ+10] Jānis Bārzdiņš, Guntis Bārzdiņš, Kārlis Čerāns, Renārs Liepiņš, and Artūrs Sproģis. Uml style graphical notation and editor for owl 2. In *International Conference on Business Informatics Research*, pages 102–114. Springer, 2010.

[BC12] Jean-Pierre Babelon and André Chastel. *La notion de patrimoine*. Liana Levi, 2012.

[BDLBR15] Chryssoula Bekiari, Martin Doerr, P La Boeuf, and Pat Riva. Definition of frbroo : A conceptual model for bibliographic information in object-oriented formalism, 2015.

[BDR+14] Marina Bruneau, Alexandre Durupt, Lionel Roucoules, Jean-Philippe Pernot, and Harvey Rowson. Methodology of reverse engineering for large assemblies products from heterogeneous data. 2014.

[Bea95] David Bearman. Standards for networked cultural heritage. *Archives and museum informatics*, 9(3) :279–307, 1995.

[Ber11] Emmanuelle Bermes. Convergence and interoperability : a linked data perspective. In *IFLA WORLD LIBRARY AND INFORMATION CONGRESS*, volume 77, pages 1–12, 2011.

[Ber16] Loup Bernard. Arkeogis, un outil libre de mise en commun de données spatialisées. 2016.

[BG12] Vandana Bhagat and Arpita Gopal. Comparative study of row and column oriented database. In *2012 Fifth International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology*, pages 196–201. IEEE, 2012.

[BHBL11] Christian Bizer, Tom Heath, and Tim Berners-Lee. Linked data : The story so far. In *Semantic services, interoperability and web applications : emerging concepts*, pages 205–227. IGI Global, 2011.

[BHJ09] Mathieu Bastian, Sebastien Heymann, and Mathieu Jacomy. Gephi : an open source software for exploring and manipulating networks. In *Third international AAAI conference on weblogs and social media*, 2009.

[BL16] Tim Berners-Lee. Linked data, 2006, on http ://www. w3. org/designissues. *LinkedData. html*, 2016.

[BLHL+01] Tim Berners-Lee, James Hendler, Ora Lassila, et al. The semantic web. *Scientific american*, 284(5) :28–37, 2001.

[Blo74] Marc Bloch. *Apologie pour l'histoire*. Armand Colin Paris, 1974.

[Bon14] Thierry Bonnot. *Attachement aux choses (L')*. Cnrs, 2014.

[Bor11] Chiara Bortolotto. Le trouble du patrimoine culturel immatériel. *Terrain*, 26 :21–42, 2011.

[bot39] Legge 1 giugno 1939, n. 1089 tutela delle cose d'interesse artistico o storico, 1939. Accessible en Sept 0219.

[Bra04] Agnès Bradier. Le gouvernement électronique : une priorité européenne. *Revue française d'administration publique*, 110(2) :337–347, 2004.

[Bri51] Suzanne Briet. *Qu'est-ce que la documentation ?*, volume 1. Éditions documentaires, industrielles et techniques, 1951.

[Bri59] Léon Brillouin. La science et la théorie de l'information. 1959.

[Bru13] Christoph Brumann. *Comment le patrimoine mondial de l'Unesco devient immatériel*. Number 18. Musée du quai Branly, 2013.

[BSH16] Matthew H Brush, Kent Shefchek, and Melissa Haendel. Sepio : A semantic model for the integration and analysis of scientific evidence. In *ICBO/BioCreative*, 2016.

[BT08] Alain Bernard and Serge Tichkiewitch. *Methods and tools for effective knowledge life-cycle-management*, volume 11. Springer, 2008.

[Buc04] Ralf Buckley. The effects of world heritage listing on tourism to australian national parks. *Journal of sustainable tourism*, 12(1) :70–84, 2004.

[Bur15] Lou Burnard. *Qu'est-ce que la Text Encoding Initiative ?*, volume 5. OpenEdition Press, 2015.

[Bus74] Roberto Busa. Index thomisticus sancti thomae aquinatis operum omnium indices et concordantiae in quibus verborum omnium et singulorum formae et lemmata cum suis frequentiis et contextibus variis modis referuntur. 1974.

[Bus04] Roberto A Busa. Foreword : Perspectives on the digital humanities. *A companion to digital humanities*, pages xvi–xxi, 2004.

[BVEL04] Sara Brockmans, Raphael Volz, Andreas Eberhart, and Peter Löffler. Visual modeling of owl dl ontologies using uml. In *International Semantic Web Conference*, pages 198–213. Springer, 2004.

[BZB18] Martin Boeckhout, Gerhard A Zielhuis, and Annelien L Bredenoord. The fair guiding principles for data stewardship : fair enough ? *European journal of human genetics*, 26(7) :931, 2018.

[Cam05] Christina Cameron. Évolution de l'application du concept de «valeur universelle exceptionnelle» au patrimoine culturel et naturel», 2005.

[CDGL05] Mark Chan, Patrice Delmas, Georgy Gimel'farb, and Philippe Leclercq. Comparative study of 3d face acquisition techniques. In *International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns*, pages 740–747. Springer, 2005.

[CE14] Arianna Ciula and Øyvind Eide. Reflections on cultural heritage and digital humanities : modelling in practice and theory. In *Proceedings of the first international conference on digital access to textual cultural heritage*, pages 35–41, 2014.

[CF15] Joël Candau and Maria Leticia Mazzucchi Ferreira. Mémoire et patrimoine : des récits et des affordances du patrimoine. *Educar em revista*, (58) :21–36, 2015.

[CF19] Laurette Chardon and Jacques François. Le dictionnaire électronique des synonymes du crisco et l'éventail des sens lexicaux. 2019.

[CHH08] Richard Cyganiak, Andreas Harth, and Aidan Hogan. N-quads : Extending n-triples with context. *W3C Recommendation*, page 41, 2008.

[Cid03] Crm Cidoc. The cidoc conceptual reference model, 2003.

[CJQ+19] Michel Cotte, Loic Jeanson, Matthieu Quantin, Nicolas Bourgeois, and Florent Laroche. Analysis of a site's integrity by 3d models and integrated database, case study : the pic-du-midi high-mountain observatory (france). *arXiv preprint arXiv :1901.06265*, 2019.

[CKCF+03] Martin Campbell-Kelly, Mary Croarken, Raymond Flood, Eleanor Robson, et al. *The history of mathematical tables : from Sumer to spreadsheets*. Oxford University Press, 2003.

[CL17] Simon Cox and Chris Little. Time ontology in owl, w3c recommendation, w3c, 2017.

[Com16] European Commission. Guidelines on fair data management in horizon 2020. 2016.

[Cox15] Raymond Cox. Real-world comparisons between target-based and targetless point-cloud registration in faro scene, trimble realworks and autodesk recap. 2015.

[CP15] Alain Chenevez and Nanta Novello Paglianti. L'invention de la valeur universelle exceptionnelle de l'unesco. In *40e anniversaire de la Convention du patrimoine mondial (1972-2012) Imprimer L'invention de la «valeur universelle exceptionnelle»*. L'Harmattan, 2015.

[Cue10] Catherine Cuenca. Patrimoine contemporain et culture scientifique et technique. *La Lettre de l'OCIM. Musées, Patrimoine et Culture scientifiques et techniques*, (129) :21–27, 2010.

[CVB+11] Sylvie Cormont, Pierre-Yves Vandenbussche, Antoine Buemi, Jean Delahousse, Eric Lepage, and Jean Charlet. Implementation of a platform dedicated to the biomedical analysis terminologies management. In *AMIA Annual Symposium Proceedings*, volume 2011, page 1418. American Medical Informatics Association, 2011.

[CW03] Gregory Crane and Clifford Wulfman. Towards a cultural heritage digital library. In *Proceedings of the 3rd ACM/IEEE-CS joint conference on Digital libraries*, pages 75–86. IEEE Computer Society, 2003.

[Dav00] Emmanuel Davoust. *L'observatoire du Pic du Midi : cent ans de vie et de science en haute montagne*. CNRS, 2000.

[DB10] Bernd-Arno Behrens Eckart Doege and Bernd-Arno Behrens. *Handbuch Umformtechnik*. Springer, 2010.

[DDK+17] Jonathan Dekhtiar, Alexandre Durupt, Dimitris Kiritsis, Matthieu Bricogne, Harvey Rowson, and Benoit Eynard. Machine learning techniques to address classification issues in reverse engineering. In *Advances on Mechanics, Design Engineering and Manufacturing*, pages 829–839. Springer, 2017.

[dE85] Gobierno de España. Ley 16/1985, de 25 de junio, del patrimonio histórico español. *Boletín Oficial del Estado*, 29 :20342–20352, 1985.

[DFIdJD14] Martin Doerr, Crete FORTH-ICS, Gerald de Jong, and BV Delving. Realizing lessons of the last 20 years : A manifesto for data provisioning & aggregation services for the digital humanities (a position paper). *D-lib magazine*, 20(7/8), 2014.

[DIL+16] Zlatan Dragisic, Valentina Ivanova, Patrick Lambrix, Daniel Faria, Ernesto Jiménez-Ruiz, and Catia Pesquita. User validation in ontology alignment. In *International Semantic Web Conference*, pages 200–217. Springer, 2016.

[dl] Conseil de l'Europe. Déclaration européenne sur les objectifs culturels.

[dlC] Ministère de la Culture. Protections, labels et appellations. https://www.culture.gouv.fr/Aides-demarches/Protections-labels-et-appellationsl/.

[DLD+15] Marie-Luce Demonet, Alain Legros, Mathieu Duboc, Lauranne Bertrand, and Alexei Lavrentiev. Michel de montaigne, essais, 1588 (exemplaire de bordeaux), édition en xml/tei. 2015.

[DMS10] Bojana Dimić, Branko Milosavljević, and Dušan Surla. Xml schema for unimarc and marc 21. *The Electronic Library*, 28(2) :245–262, 2010.

[dpm09] Comité du patrimoine mondial. Décisions finales de la 33e session du comité du patrimoine mondial. https://whc.unesco.org/archive/2009/whc09-33com-20f.pdf, 2009.

[dRGD+11] Etienne-Hyacinthe de Ratte, Antoine Gauteron, René Baron Desgenettes, Nicolas Dufriche, Jacques Poitevin, Jean-Alexandre Carney, and François de Plantade. *Éloges des académiciens de Montpellier*. Bossange et Masson, 1811.

[Dri06] MJ Driscoll. P5-ms : A general purpose tagset for manuscript description. *Digital Medievalist*, 2, 2006.

[Dro88] A-M Drouin. Le modèle en questions. *Aster*, 1988.

[dSdedC] Direction Interministérielle des Systèmes d'Information et de Communication. Référentiel général d'interopérabilité (rgi) v1.0.

[DSH18] Yucong Duan, Lixu Shao, and Gongzhu Hu. Specifying knowledge graph with data graph, information graph, knowledge graph, and wisdom graph. 6 :10–25, 04 2018.

[Eco72] Umberto Eco. *La structure absente Introduction à la recherche sémiotique*. 1972.

[Eli14] Norbert Elias. *Du temps*. Fayard/Pluriel, 2014.

[Ell14] Jacques Ellul. *La parole humiliée*. Editions de la Table Ronde, 2014.

[EMS+11] Jérôme Euzenat, Christian Meilicke, Heiner Stuckenschmidt, Pavel Shvaiko, and Cássia Trojahn. Ontology alignment evaluation initiative : six years of experience. In *Journal on data semantics XV*, pages 158–192. Springer, 2011.

[Ert09] Olivier Ertzscheid. L'homme, un document comme les autres. *Hermès, La Revue*, (1) :33–40, 2009.

[Esc91] Robert Escarpit. *L'information et la communication : théorie générale*. Hachette, 1991.

[EV+04] Jérôme Euzenat, Petko Valtchev, et al. Similarity-based ontology alignment in owl-lite. In *ECAI*, volume 16, page 333, 2004.

[Fab13] Daniel Fabre. *Émotions patrimoniales*, volume 27. Les Editions de la MSH, 2013.

[FH13] Julia Flanders and Scott Hamlin. Tapas : Building a tei publishing and repository service. *Journal of the Text Encoding Initiative*, (5), 2013.

[G+09] OWL Working Group et al. Owl 2 web ontology language document overview : W3c recommendation 27 october 2009. 2009.

[Gar99] Mickaël Gardoni. *Maîtrise de l'information non structurée et capitalisation de savoir et savoir-faire en Ingénierie Intégrée : cas d'étude Aérospatiale*. PhD thesis, Université Paul Verlaine-Metz, 1999.

[GCFZ12] Fabien Gandon, Olivier Corby, and Catherine Faron-Zucker. *Le web sémantique : Comment lier les données et les schémas sur le web ?* Dunod, 2012.

[GDDD04] Dragan Gasevic, Dragan Djuric, Vladan Devedzic, and Violeta Damjanovi. Converting uml to owl ontologies. In *Proceedings of the 13th international World Wide Web conference on Alternate track papers & posters*, pages 488–489. ACM, 2004.

[GG95] Pierdaniele Giaretta and Nicola Guarino. Ontologies and knowledge bases towards a terminological clarification. *Towards very large knowledge bases : knowledge building & knowledge sharing*, 25(32) :307–317, 1995.

[GOS09] Nicola Guarino, Daniel Oberle, and Steffen Staab. What is an ontology ? In *Handbook on ontologies*, pages 1–17. Springer, 2009.

[Gru93] Thomas R Gruber. A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge acquisition*, 5(2) :199–220, 1993.

[Gru95] Thomas R Gruber. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing ? *International journal of human-computer studies*, 43(5-6) :907–928, 1995.

[GSO+10] Michael Granitzer, Vedran Sabol, Kow Weng Onn, Dickson Lukose, and Klaus Tochtermann. Ontology alignment—a survey with focus on visually supported semi-automatic techniques. *Future Internet*, 2(3) :238–258, 2010.

[GTD05] Françoise Le Guet-Tully and Jean Davoigneau. L'inventaire et le patrimoine de l'astronomie : l'exemple des cercles méridiens et de leurs abris. *In Situ. Revue des patrimoines*, (6), 2005.

[Gua97] Nicola Guarino. Understanding, building and using ontologies. *International Journal of Human-Computer Studies*, 46(2-3) :293–310, 1997.

[GVS+14] Bernard Grabot, Bruno Vallespir, Gomes Samuel, Abdelaziz Bouras, and Dimitris Kiritsis. *Advances in Production Management Systems : Innovative and Knowledge-based Production Management in a Global-local World : IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2014, Ajaccio, France, September 20-24, 2014, Proceedings*, volume 439. Springer, 2014.

[GWL+17] Fei Gao, Yi Wang, Panpeng Li, Min Tan, Jun Yu, and Yani Zhu. Deepsim : Deep similarity for image quality assessment. *Neurocomputing*, 257 :104–114, 2017.

[Hal17] Agnieszka Halczuk. L'édition numérique (tei-xml) d'un corpus d'inscriptions chypriotes de la région de paphos. In *La 5e table-ronde «Ecdotique, l'édition des textes anciens en devenir»*, 2017.

[Ham07] Erwan Hamon. Les raisons du blocage du référentiel général d'interopérabilité (rgi). 2007.

[Har18] François Hartog. Patrimoine, histoire et présentisme. *Vingtième Siècle. Revue d'histoire*, (1) :22–32, 2018.

[Her14] Benjamin Hervy. *Contribution à la mise en place d'un PLM muséologique dédié à la conservation et la valorisation du patrimoine*. PhD thesis, 2014.

[HH+99] Ian Hacking, Jan Hacking, et al. *The social construction of what ?* Harvard university press, 1999.

[HI11] Bernhard Haslhofer and Antoine Isaac. data. europeana. eu : The europeana linked open data pilot. In *International Conference on Dublin Core and Metadata Applications*, pages 94–104, 2011.

[HLB12] Benjamin Hervy, Florent Laroche, and Alain Bernard. An information system for driving the future plm for museum : the dhrm, digital heritage reference model. In *ASME 2012 11th Biennial Conference On Engineering Systems Design And Analysis-ESDA 2012*, 2012.

[HMP10] Serge Heiden, Jean-Philippe Magué, and Bénédicte Pincemin. Txm : Une plateforme logicielle open-source pour la textométrie-conception et développement. 2010.

[Hue] Roberto Huertas. Sqlite made easy for unity3d. https://github.com/robertohuertasm/SQLite4Unity3d.

[Hyv12] Eero Hyvönen. Publishing and using cultural heritage linked data on the semantic web. *Synthesis Lectures on the Semantic Web : Theory and Technology*, 2(1) :1–159, 2012.

[Jok06] Jukka Jokilehto. World heritage : Defining the outstanding universal value. *City & time*, 2(2) :1, 2006.

[KAH07] David M Kroenke, David J Auer, and B Horan. Database concepts. ed, 2007.

[Ker07] Yves Keraron. *Couplages entre le sytème documentaire et les systèmes technique et humain : les mutations numériques*. PhD thesis, Nantes, 2007.

[Kob99] Cris Kobryn. Uml 2001 : a standardization odyssey. *Communications of the ACM*, 42(10) :29–37, 1999.

[Kos90] Reinhart Kosseleck. Le futur passé. *Contribution à la sémantique future des temps historiques, traduit de l'allemand par Jochen Hoock et Marie-Claire Hoock, éd. de l'EHESS, Paris*, 1990.

[KRS10] Jason Kucsma, Kevin Reiss, and Angela Sidman. Using omeka to build digital collections : The metro case study. *D-Lib magazine*, 16(3/4) :1–11, 2010.

[Lan10] Xavier Landrin. La sémantique historique de la weltliteratur : genèse conceptuelle et usages savants, 2010.

[Lar07] Florent Laroche. *Contribution à la sauvegarde des Objets techniques anciens par l'Archéologie industrielle avancée. Proposition d'un Modèle d'information de référence muséologique et d'une Méthode inter-disciplinaire pour la Capitalisation des connaissances du Patrimoine technique et industriel.* PhD thesis, 2007.

[Lar17] Florent Laroche. *KLM for Heritage*. PhD thesis, 2017.

[Lau09] Sylvain Laubé. Modélisation des documents numériques pour l'histoire des techniques : une perspective de recherche. *Documents pour l'histoire des techniques. Nouvelle série*, (18) :37–41, 2009.

[LBC08] Florent Laroche, Alain Bernard, and Michel Cotte. Knowledge management for industrial heritage. In Alain Bernard and Serge Tichkiewitch, editors, *Methods and Tools for Effective Knowledge Life-Cycle-Management*, pages 307–330, Berlin, Heidelberg, 2008. Springer Berlin Heidelberg.

[LCJLB07] Florent Laroche, Michel Cotte, Kerouanton Jean-Louis, and Alain Bernard. L'image virtuelle comme source de connaissance pour le patrimoine technique et industriel : Comment allier histoire et ingénierie ? 2007.

[LCKB07] Florent Laroche, Michel Cotte, Jean-Louis Jlk Kerouanton, and Alain Bernard. L'image virtuelle comme source de connaissance pour le patrimoine technique et industriel : Comment allier Histoire et Ingénierie ?

In *Congrès national des sociétés historiques et scientifiques*, CTHS, page 12 pages, Arles, France, 2007. CTHS. http ://cths.fr/ed/edition.php ?id=4707.

[leg39] Legge 29 giugno 1939, n. 1497 protezione delle bellezze naturali, 1939. Accessible en Sept 0219.

[LG13] André Leroi-Gourhan. *Le Geste et la Parole- : Technique et langage*, volume 1. Albin Michel, 2013.

[LH15] Thibault Le Hégarat. Un historique de la notion de patrimoine. 2015.

[LJL15] Florent Laroche and Kerouanton Jean-Louis. Numérisation du patrimoine, un état des lieux. 2015.

[LK16] Florent Laroche and Jean-Louis Jlk Kerouanton. Muséologie, patrimoine, humanités numériques et 3D. In *Digital Intelligence*, Conférence Digital Intelligence, Québec, Canada, April 2016. Université de Laval à Québec.

[LKSB11] Florent Laroche, Jean-Louis Kerouanton, Myriam Servières, and Alain Bernard. Un renouveau des pratiques muséographiques grâce au virtuel : un support à des applications pluridisciplinaire en pédagogie active. 2011.

[LLL+18] Facundo José López, Pedro M Lerones, José Llamas, Jaime Gómez-García-Bermejo, and Eduardo Zalama. A review of heritage building information modeling (h-bim). *Multimodal Technologies and Interaction*, 2(2) :21, 2018.

[LNK12] Minh-Thang Luong, Thuy Dung Nguyen, and Min-Yen Kan. Logical structure recovery in scholarly articles with rich document features. In *Multimedia Storage and Retrieval Innovations for Digital Library Systems*, pages 270–292. IGI Global, 2012.

[LPLK13] FABRICE Le Pavic, FLORENT Laroche, and JEAN-LOUIS Kerouanton. Vers une extension de la modélisation d'entreprise pour la rétro-conception de sites industriels disparus : cas d'étude de l'arsenal de la marine de lorient. 2013.

[LR14] Lucie Loubère and Pierre Ratinaud. Documentation iramuteq 0.6 alpha 3 version 0.1. *Toulouse, França*, 2014.

[LSM+13] Timothy Lebo, Satya Sahoo, Deborah McGuinness, Khalid Belhajjame, James Cheney, David Corsar, Daniel Garijo, Stian Soiland-Reyes, Stephan Zednik, and Jun Zhao. Prov-o : The prov ontology. *W3C recommendation*, 2013.

[LTG+19] Annalisa Landi, Mark Thompson, Viviana Giannuzzi, Fedele Bonifazi, Ignasi Labastida, Luiz Olavo Bonino da Silva Santos, and Marco Roos. The "a" of fair–as open as possible, as closed as necessary. *Data Intelligence*, pages 47–55, 2019.

[M+15] Mark A Musen et al. The protégé project : a look back and a look forward. *AI matters*, 1(4) :4, 2015.

[MDA16] David Myers, Alison Dalgity, and Ioannis Avramides. The arches heritage inventory and management system : a platform for the heritage field. *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development*, 6(2) :213–224, 2016.

[Mer] Mercurio - eloi gattet. http://wwhttp://mercurio3d.fr/. Accessed : 2019-10-09.

[MH08] Boris Motik and Ian Horrocks. Owl datatypes : Design and implementation. In *International Semantic Web Conference*, pages 307–322. Springer, 2008.

[Min65] Marvin Minsky. Matter, mind and models. 1965.

[MLG17] Hélène Macher, Tania Landes, and Pierre Grussenmeyer. From point clouds to building information models : 3d semi-automatic reconstruction of indoors of existing buildings. *Applied Sciences*, 7(10) :1030, 2017.

[MNV+17] Barend Mons, Cameron Neylon, Jan Velterop, Michel Dumontier, Luiz Olavo Bonino da Silva Santos, and Mark D Wilkinson. Cloudy, increasingly fair ; revisiting the fair data guiding principles for the european open science cloud. *Information Services & Use*, 37(1) :49–56, 2017.

[Mor13] Franco Moretti. *Distant reading*. Verso Books, 2013.

[MRK03] Song Mao, Azriel Rosenfeld, and Tapas Kanungo. Document structure analysis algorithms : a literature survey. In *Document Recognition and Retrieval X*, volume 5010, pages 197–207. International Society for Optics and Photonics, 2003.

[MSB19] Jean-Marc Meunier, Samuel Szoniecky, and Daniel Berthereau. Utilisation d'omeka-s pour la conception et le partage de ressources pédagogiques. 2019.

[Nie18] Witold Niewiem. Automatic photography device focussphere for micro close range photogrammetry. In *2018 Baltic Geodetic Congress (BGC Geomatics)*, pages 97–101. IEEE, 2018.

[NK98] Ikujiro Nonaka and Noboru Konno. The concept of "ba" : Building a foundation for knowledge creation. *California management review*, 40(3) :40–54, 1998.

[NKA13] SEM Hamane Niang, Ludovic Kibora, and Claudine Augée Angoué. Convention pour la sauvegarde du patrimoine culturel immatériel. 2013.

[NM+00] Natalya Fridman Noy, Mark A Musen, et al. Algorithm and tool for automated ontology merging and alignment. In *Proceedings of the 17th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-00). Available as SMI technical report SMI-2000-0831*, volume 115. sn, 2000.

[Noy04] Natalya F Noy. Semantic integration : a survey of ontology-based approaches. *ACM Sigmod Record*, 33(4) :65–70, 2004.

[NS15] Francesca Noardo and Antonia Spanò. Towards a spatial semantic management for the intangible cultural heritage. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 4(2) :133–147, 2015.

[NSH04] Andreas Nüchter, Hartmut Surmann, and Joachim Hertzberg. Automatic classification of objects in 3d laser range scans. In *Proc. 8th Conf. on Intelligent Autonomous Systems*, volume 1, pages 963–970. IOS Press, 2004.

[NT11] Joachim Neubert and Klaus Tochtermann. Linked library data : offering a backbone for the semantic web. In *Knowledge Technology Week*, pages 37–45. Springer, 2011.

[NTU96] lkujiro Nonaka, Hirotaka Takeuchi, and Katsuhiro Umemoto. A theory of organizational knowledge creation. *International Journal of Technology Management*, 11(7-8) :833–845, 1996.

[OBD+] Dominic Oldman, Chrysoula Bekiari, Martin Doerr, Gerald de Jong, Barry Norton, and Thomas Wikman. The relevance of aggregators : Proposal for a new data provision reference model-synergy.

[OVK19] Sebastian Ochmann, Richard Vock, and Reinhard Klein. Automatic reconstruction of fully volumetric 3d building models from oriented point clouds. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 151 :251–262, 2019.

[Păt15] Aurelia Pătraşcu. Comparative analysis between owl modelling and uml modelling. *Petroleum-Gas University of Ploiesti Bulletin, Technical Series*, 67(2), 2015.

[Péd06] Roger T Pédauque. Document et modernités. 2006.

[Per07] Nicolas Perry. *Knowledge Engineering : Knowledge based approaches, for an optimal use in engineering ; case of the economical evaluation*. Habilitation à diriger des recherches, Université de Nantes, November 2007.

[PNNB18] Florent Poux, Romain Neuville, Gilles-Antoine Nys, and Roland Billen. 3d point cloud semantic modelling : Integrated framework for indoor spaces and furniture. *Remote Sensing*, 10(9) :1412, 2018.

[PP08] Francis Pisani and Dominique Piotet. *Comment le web change le monde : l'alchimie des multitudes*. Pearson Education France, 2008.

[PSK11] Manolis Peponakis, Michalis Sfakakis, and Sarantos Kapidakis. Frbrization : using unimarc link fields to identify works. 2011.

[QHLK17] Matthieu Quantin, Benjamin Hervy, Florent Laroche, and Jean-Louis Kerouanton. Haruspex, outil de gestion de connaissances non structurées. 2017.

[QLAV17] Matthieu Quantin, Florent Laroche, Nathalie André, and Françoise Villedieu. Rétroconception et maquettage d'un batiment mécanique de la rome antique. 2017.

[RBM+12] Allen Razdow, Christopher Baril, Frederick R Mueller, Jeremy Lew, Jonathan Bell, and Leopold Travis. Method for automatically enabling traceability of engineering calculations, February 21 2012. US Patent 8,121,998.

[RD12] Marion Roux-Durand. Les labels du patrimoine culturel. *La Lettre de l'OCIM. Musées, Patrimoine et Culture scientifiques et techniques*, (142) :28–37, 2012.

[RDZ08] Pat Riva, Martin Doerr, and Maja Zumer. Frbroo : enabling a common view of information from memory institutions. In *World Library and Information Congress : 74th IFLA General Confrence and Council*, 2008.

[Rei18] Rudy Reichstadt. Le conspirationnisme dans l'opinion publique française. *Fondation Jean Jaurès*, 7, 2018.

[RLG17] Bruno Rohou, Sylvain Laube, and Serge Garlatti. The port history ontology. In *European Conference on Advances in Databases and Information Systems*, pages 363–372. Springer, 2017.

[Rob92] BUSA Roberto. *Thomae Aquinatis Opera omnia cum hypertextibus in CD-ROM*. Editoria Elettroniea Editel Milan, 1992.

[Row07] Jennifer Rowley. The wisdom hierarchy : representations of the dikw hierarchy. *Journal of Information Science*, 33(2) :163–180, 2007.

[Sal07] Jean-Michel Salaün. La redocumentarisation, un défi pour les sciences de l'information. *Études de communication. langages, information, médiations*, (30) :13–23, 2007.

[San98] Jean-Christophe Sanchez. *Le Pic du Midi de Bigorre et son observatoire : histoire scientifique, culturelle et humaine d'une montagne et d'un observatoire scientifique*. FeniXX, 1998.

[SBIdSC15] Rainer Simon, Elton Barker, Leif Isaksen, and Pau de Soto Cañamares. Linking early geospatial documents, one place at a time : annotation of geographic documents with recogito. *e-Perimetron*, 10(2) :49–59, 2015.

[SdS79] Carol Sanders and Ferdinand de Saussure. *Cours de linguistique générale, de Saussure*. FeniXX, 1979.

[Sie17] Siemens. Siemens plm software. *Siemens Global Website*, pages 1996–2013, 2017.

[Sim58] Gilbert Simondon. Du mode d'existence des objets techniques. 1958.

[SJB+18] Emilio M Sanfilippo, Loic Jeanson, Farouk Belkadi, Florent Laroche, and Alain Bernard. A foundational view on nominal and actual qualities in engineering. In *FOIS*, pages 149–156, 2018.

[SKB08] Faisal Shafait, Daniel Keysers, and Thomas Breuel. Performance evaluation and benchmarking of six-page segmentation algorithms. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 30(6) :941–954, 2008.

[SMGE11] Abhinav Shrivastava, Tomasz Malisiewicz, Abhinav Gupta, and Alexei A Efros. Data-driven visual similarity for cross-domain image matching. In *ACM Transactions on Graphics (ToG)*, volume 30, page 154. ACM, 2011.

[SOR+10] Michael E Smoot, Keiichiro Ono, Johannes Ruscheinski, Peng-Liang Wang, and Trey Ideker. Cytoscape 2.8 : new features for data integration and network visualization. *Bioinformatics*, 27(3) :431–432, 2010.

[SPDR14] Robert Simpson, Kevin R Page, and David De Roure. Zooniverse : observing the world's largest citizen science platform. In *Proceedings of the 23rd international conference on world wide web*, pages 1049–1054. ACM, 2014.

[Sto07] Herb Stovel. Effective use of authenticity and integrity as world heritage qualifying conditions. *City & Time*, 2(3) :3, 2007.

[Sul13] Chris Alen Sula. Digital humanities and libraries : A conceptual model. *Journal of Library Administration*, 53(1) :10–26, 2013.

[SWK99] H Schwenke, Ch Weiskirch, and H Kunzmann. Opto-taktiler sensor zur 2d-und 3d-messung kleiner strukturen mit koordinatenmeßgeräten opto-tactile sensor for 2d-and 3d measurement of small structures on coordinate-measuring machines. *tm-Technisches Messen*, 66(12) :485–489, 1999.

[SWMDM13] Agnès Simon, Romain Wenz, Vincent Michel, and Adrien Di Mascio. Publishing bibliographic records on the web of data : opportunities for the bnf (french national library). In *Extended Semantic Web Conference*, pages 563–577. Springer, 2013.

[Sys19] Dassault Systèmes. 3dexperience platform, 2019.

[Tar72] Alfred Tarski. Logique sémantique, métamathématique, 1923-1944. 1972.

[TBD+10] Sergio Terzi, Abdelaziz Bouras, Debashi Dutta, Marco Garetti, Dimitris Kiritsis, et al. Product lifecycle management-from its history to its new role. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 4(4) :360–389, 2010.

[Til05] Barbara Tillett. What is frbr ? a conceptual model for the bibliographic universe. *The Australian Library Journal*, 54(1) :24–30, 2005.

[TKKDV18] H Tran, K Khoshelham, A Kealy, and L Díaz-Vilariño. Shape grammar approach to 3d modeling of indoor environments using point clouds. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 33(1) :04018055, 2018.

[TNTM08] Tania Tudorache, Natalya F Noy, Samson Tu, and Mark A Musen. Supporting collaborative ontology development in protégé. In *International Semantic Web Conference*, pages 17–32. Springer, 2008.

[UML17] OMG UML. Omg (2017) unified modeling language®(omg uml®) version 2.5. 1 https ://www. omg. org/spec. UML, 2017.

[Une99] WHC Unesco. *Operational guidelines for the implementation of the world heritage convention*. UNESCO Paris, 1999.

[Une12] WHC Unesco. Rapport de la réunion internationale d'experts sur l'intégrité du patrimoine culturel. 2012.

[VAPVV17] Pierre-Yves Vandenbussche, Ghislain A Atemezing, María Poveda-Villalón, and Bernard Vatant. Linked open vocabularies (lov) : a gateway to reusable semantic vocabularies on the web. *Semantic Web*, 8(3) :437–452, 2017.

[Var08] Franck Varenne. Epistémologie des modèles et des simulations–tour d'horizon et tendances. *Physique et interrogations fondamentales*, 11, 2008.

[VBC+17] Robert Vergnieux, Jean-François Bernard, Mehdi Chayani, Violette Abergel, Pascal Benistant, Laurent Bergerot, Hervé Bohbot, Serge Cassen, Livio De Luca, Bruno Dutailly, et al. Livre blanc du consortium 3d shs, 2017.

[VCD05] B. Vallespir, D Chen, and Y. Ducq. Enterprise modelling for interoperability. *IFAC Proceedings Volumes*, 38(1) :70 – 75, 2005. 16th IFAC World Congress.

[VGL18] Matthieu Viry, Timothée Giraud, and Nicolas Lamberta. Magrit : a new thematic cartography tool. In *Proceedings of the ICA*, volume 1, page 120, 2018.

[VHK11] Hilde Valo, Jens Fredrik Hjelmstad, and Atle Onar Knapskog. Method and system for automatic classification of objects, November 22 2011. US Patent 8,063,815.

[VVR11] Pierre-Yves Vandenbussche, Bernard Vatant, and Lise Rozat. Linked open vocabularies : an initiative for the web of data. In *QetR Workshop, Chambery, France*, volume 2011, 2011.

[WDA+16] Mark D Wilkinson, Michel Dumontier, IJsbrand Jan Aalbersberg, Gabrielle Appleton, Myles Axton, Arie Baak, Niklas Blomberg, Jan-Willem Boiten, Luiz Bonino da Silva Santos, Philip E Bourne, et al. The fair guiding principles for scientific data management and stewardship. *Scientific data*, 3, 2016.

[Wei97] Stuart Weibel. The dublin core : a simple content description model for electronic resources. *Bulletin of the American*

Society for Information Science and Technology, 24(1) :9–11, 1997.

[Wie] Frank Wiegand. Tei/xml editing for everyone's needs. *The Linked TEI : Text Encoding in the Web*, page 231.

[Wil96] Gilles Willett. Paradigme, théorie, modèle, schéma : qu'est-ce donc ? *Communication et organisation*, (10), 1996.

[Win99] Thomas Nelson Winter. Roberto busa, sj, and the invention of the machine-generated concordance. *Faculty Publications, Classics and Religious Studies Department*, page 70, 1999.

[Win11] Eric Wing. *Autodesk Revit Architecture 2012 : No Experience Required*. John Wiley & Sons, 2011.

[WL16] Günter Winands and Melanie List. Das neue kulturgutschutzgesetz. *KUR-Kunst und Recht*, 18(6) :198–206, 2016.

[WW98] Misha Wolf and Charles Wicksteed. Date and time formats. *W3C NOTE NOTE-datetime-19980827, August*, page 26, 1998.

[Zac05] Manuel Zacklad. Processus de documentarisation dans les documents pour l'action (dopa) : statut des annotations et technologies de la coopération associées (nouvelle version corrigée). In *Le numérique : Impact sur le cycle de vie du document pour une analyse interdisciplinaire, 13-15 Octobre 2004, Montréal*, 2005.

[Zac06] Manuel Zacklad. Documentarisation processes in documents for action (dofa) : the status of annotations and associated cooperation technologies. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, 15(2-3) :205–228, 2006.

[Zel87] Milan Zeleny. Management support systems : towards integrated knowledge management. *Human systems management*, 7(1) :59–70, 1987.

[Zgh15] Rachid Zghibi. Problems of encoding digital text documents in arabic using the international standard tei. *Cybrarians Journal*, (39), 2015.

[Zin07] Chaim Zins. Conceptual approaches for defining data, information, and knowledge. *Journal of the American society for information science and technology*, 58(4) :479–493, 2007.

[ZJL11] Jesper Zedlitz, Jan Jörke, and Norbert Luttenberger. From uml to owl 2. In *Knowledge Technology Week*, pages 154–163. Springer, 2011.

Annexe A

Extraits de textes régissant les décisions patrimoniales

La décision No 1194/2011/EU , publiée au journal officiel le 22 novembre 2011 est intéressante pour son article 2 et une partie de son article 7 :

> Article 2
> Definitions
> For the purposes of this Decision, the following definitions shall apply :
>
> 1. *sites* means monuments, natural, underwater, archaeological, industrial or urban sites, cultural landscapes, places of remembrance, cultural goods and objects and intangible heritage associated with a place, including contemporary heritage ;
> 2. *transnational site* means :
>   (a) several sites, located in different Member States, which focus on one specific theme in order to submit a joint application ; or
>   (b) one site located on the territory of at least two Member States ;
>   (c)
> 3. *national thematic site* means several sites, located in the same Member State, which focus on one specific theme in order to submit a joint application.
>
> [...]

Article 7
Criteria

1. The attribution of the label shall be based on the following criteria ('criteria') :
   (a) Candidate sites for the label must have a symbolic European value and must have played a significant role in the history and culture of Europe and/or the building of the Union. They must therefore demonstrate one or more of the following :
      i. their cross-border or pan-European nature : how their past and present influence and attraction go beyond the national borders of a Member State ;
      ii. their place and role in European history and European integration, and their links with key European events, personalities or movements ;
      iii. their place and role in the development and promotion of the common values that underpin European integration.

La déclaration européenne sur les objectifs culturels de 1984 est l'autre texte porteur d'indices quant aux valeurs portées par le patrimoine reconnu par l'Union Européenne : On y trouve l'encart suivant [dl] :

> Considérant que le patrimoine européen est formé de ressources naturelles et de créations humaines, de richesses physiques mais aussi de valeurs spirituelles et religieuses, de croyances et de savoirs, d'angoisses et d'espoir, de raisons d'être et de modes de vie, dont la diversité fait la richesse d'une culture commune, base fondamentale de la construction européenne ;

On y retrouve la distinction précédente nature-culture. Cette fois-ci cependant apparait le patrimoine culturel immatériel. Là encore, la valeur principale est la diversité en tant qu'elle constitue la base fondamentale de la construction européenne.

Le droit français

L'Article L111-1 contient les éléments suivants :

Sont des trésors nationaux :

1. Les biens appartenant aux collections des musées de France ;
2. Les archives publiques, au sens de l'article L. 211-4, ainsi que les biens classés comme archives historiques en application du livre II ;
3. Les biens classés au titre des monuments historiques en application du livre VI ;
4. Les autres biens faisant partie du domaine public mobilier, au sens de l'article L. 2112-1 du code général de la propriété des personnes publiques ;
5. Les autres biens présentant un intérêt majeur pour le patrimoine national au point de vue de l'histoire, de l'art ou de l'archéologie.

La structure en livres du code du patrimoine s'articule de la façon suivante :

Partie législative (Article L1)

LIVRE Ier : DISPOSITIONS COMMUNES À L'ENSEMBLE DU PATRIMOINE CULTUREL

LIVRE II : ARCHIVES

LIVRE III : BIBLIOTHÈQUES

LIVRE IV : MUSÉES

LIVRE V : ARCHÉOLOGIE

LIVRE VI : MONUMENTS HISTORIQUES, SITES PATRIMONIAUX REMARQUABLES ET QUALITE ARCHITECTURALE

LIVRE VII : DISPOSITIONS RELATIVES À L'OUTRE-MER

Le droit autrichien Issu du *i-trans* de l'ÖGKGS[1], recueil des différents textes en vigueur en Autriche. Une section de définition apporte une définition à plusieurs niveaux de la notion de bien culturel.

> Kulturgüter im engeren Sinn sind bewegliche und unbewegliche Güter, die in ihrer Gesamtheit das kulturelle Erbe eines Volkes symbolisieren. Dazu zählen historische Bauwerke, weltliche und sakrale Gegenstände, Bibliotheken und Archive ebenso

1. Österreichische Gesellschaft für Kulturgüterschutz, en français Société Autrichienne pour la protection des biens culturels

> wie archäologische Fundstätten, historische Gärten und Industriedenkmale.
>
> Kulturgüter im weiteren Sinn umfassen alle Formen traditioneller Kultur, also kollektive Werke, die von einer Gemeinschaft hervorgebracht werden und oftmals auf mündlicher Überlieferung beruhen. Hinzu zählen Sprache, Bräuche, Musik, Tänze, Rituale, Feste, traditionelle Medizin und Wissen um Heilpflanzen sowie alle Arten von Fertigkeiten, die mit den materiellen Aspekten von Kultur in Verbindung stehen wie Werkzeuge und Habitat (Wohnstätte, Siedlung).
>
> Zusammengefaßt kann man unter dem Begriff „Kulturgut“ also Symbole nationaler, regionaler oder lokaler Identität verstehen, welche neben ihrer materiellen auch eine ideelle Bedeutung für ein Volk oder eine Volksgruppe haben.

Le droit espagnol

Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español », réactualisée le 27 mai 2015. Difficile à reprendre par extraits, je n'ai repris ici que la structure des chapitres qui la composent.

> *TITULO PRELIMINAR. Disposiciones Generales*
>
> *TITULO II. De los bienes inmuebles*
>
> *TITULO III. De los bienes muebles*
>
> *TITULO IV. Sobre la protección de los bienes muebles e inmuebles*
>
> *TITULO V. Del Patrimonio Arqueológico*
>
> *TITULO VI. Del Patrimonio Etnográfico*
>
> *TITULO VII. Del Patrimonio Documental y Bibliográfico y de los Archivos, Bibliotecas y Museos*
>
> etc (la liste se poursuit sur les formes de soutien financier, les infractions administratives, ...

Le droit italien

La loi Bottai détermine les principaux types de biens de patrimoine culturels comme :

1. Beni artistici e storici : tutte le opere e i monumenti, mobili e immobili, che hanno un riconosciuto pregio artistico o una particolare rilevanza storica;
2. Beni architettonici : tutti gli edifici, gli insiemi architettonici e i monumenti : beni immobili, dunque, cui sia riconosciuta l'artisticità o la pregnanza storica;
3. Beni archeologici : i beni e le testimonianze mobili o immobili del passato antico, portati alla luce attraverso lo scavo tecnico o non ancora rinvenuti, ma la cui presenza è accertata in un dato luogo;
4. Centri storici. Un insieme urbanistico ed edilizio che non ha mai visto interrotta la sua viabilità abitativa e la sua funzione urbana, né ha mai subito quel processo di ampliamento esterno alle mura antiche che ne avrebbe alterato la veduta.
5. Beni librari e biblioteche : questi beni sono solitamente custoditi tra le mura di biblioteche, che raccolgono i libri, custodendone l'integrità e li rendono accessibili al pubblico. Le biblioteche possono essere statali o dipendenti da enti locali, da enti morali, da monasteri o appartenenti a privati.
6. Beni archivistici : questi beni includono sia documenti, che archivi, ossia quelle istruzioni pubbliche destinate alla conservazione di atti e documenti pubblici e privati che sono di competenza statale.
7. Musei. I musei sono delle importanti istituzioni, atti ad ospitare ed esporre una serie di beni mobili, che sono custoditi , catalogati ed esibiti al pubblico (i musei possono essere pubblici o privati).

Titre : APPORTS À LA CONSTRUCTION D'OUTILLAGE INFORMATIQUE POUR LES ÉTUDES LIÉES AU PATRIMOINE

Mots clés : Patrimoine, évaluation, étude, numérique, informatique, sémantique

Résumé : Les travaux patrimoniaux connaissent de multiples déclinaisons : étude en vue d'une candidature, exposition en musée, analyse ethnologique, archéologique, historiographique..
La nature des activités dépend du type de patrimoine considéré, des intentions, de la documentation à disposition, etc. Le plus souvent, des travaux complémentaires s'agrègent, permettant de combiner les points de vue, hypothèses et informations. Les humanités numériques, c'est à dire les activités d'étude, en sciences humaines au sens large, ayant recours à l'informatique calculatoire, se développent depuis les années 60. Les travaux patrimoniaux ne sont pas en reste, mais la quantité et la diversité, voire l'hétérogénéité des informations, combinées aux critères déontologiques du travail patrimonial compliquent le développement d'outillage pertinent.
Dans une première partie, une réflexion portant sur les caractéristiques des travaux patrimoniaux et sur les enjeux du travail de modélisation en lien étroit avec la documentation est présentée. A partir de cette analyse, un cahier des charges pour la production d'un outil est établi permettant de faire face aux enjeux prioritaires. L'opposition entre la construction du sens qui entraîne la patrimonialisation, et la rupture du sens inhérente au numérique, est discutée, ainsi que le besoin de transparence dans les pratiques de modélisation. Les critères d'intégrité et d'authenticité des biens patrimoniaux, qui guident en partie nos apports, seront aussi affirmés dans leurs dimensions dynamiques. La mise en application, par le cas d'étude de l'Observatoire du Pic du Midi ainsi que celui de la série des cercles méridiens Gautier, permet de démontrer les propositions et d'en éprouver la pertinence et les limites.

Title : Contribution towards computer aided heritage works

Keywords: Heritage, evaluation, study, digital, semantics

Abstract: There are several types of heritage works : studying a site/objects towards heritage nomination, building an exhibition in museum, ethnological, archaeological, historiographical works, etc.
The very nature of the works depends on many aspects (e.g. the type of object, the overall intentionality, the documentation available, etc.). Most of the time, various works are aggregated, combining diverse points of view, hypothesis and information.
Digital humanities, that is to say works in the humanities using digital assistance in a broad sense follow a growing trend since the 60's, among them heritage works do not lag behind. Although, data quantity, diversity or heterogeneity, combined to heritage methodology and deontology lead to difficult relevant tool development.
In a first part heritage works are analysed in their characteristics and the issues of heritage modelling from documentation. Upon this analysis, requirement specifications towards a digital tool addressing priority issues are presented.
Opposition between the construction of meaning leading to heritage recognition, and the break of meaning inherent to digital calculation is discussed, as well as the need for transparency in modelling practices. The dynamics of Integrity and Authenticity criteria, partly guiding our contribution, is reaffirmed. Implementation, through the two use-cases of the Observatoire du Pic du Midi as well as the Gautier Meridian Circles, illustrates and proves relevance and limitations of our contribution.