Humanités numériques et méthodes de conservation et de valorisation des patrimoines maritimes : l'exemple des arsenaux de Brest et Venise

Marie-Morgane Abiven

▶ **To cite this version:**

Marie-Morgane Abiven. Humanités numériques et méthodes de conservation et de valorisation des patrimoines maritimes : l'exemple des arsenaux de Brest et Venise. Histoire. Université de Bretagne occidentale - Brest, 2019. Français. NNT : 2019BRES0083 . tel-03209664

HAL Id: tel-03209664
https://theses.hal.science/tel-03209664

Submitted on 27 Apr 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.

UNIVERSITE SOCIETES BRETAGNE TEMPS LOIRE TERRITOIRES

UBO
Université de Bretagne Occidentale

THESE DE DOCTORAT DE

L'UNIVERSITE
DE BRETAGNE OCCIDENTALE
COMUE UNIVERSITE BRETAGNE LOIRE

ECOLE DOCTORALE N° 604
Sociétés, Temps, Territoires
Spécialité : Epistémologie et Histoire des Sciences et des Techniques

Par

Marie-Morgane ABIVEN

«Humanités Numériques et méthodes de conservation et de valorisation des patrimoines maritimes. L'exemple des arsenaux de Brest et Venise.»

Thèse présentée et soutenue à Brest, le 16 décembre 2019
Unité de recherche : Centre François Viète (EA 1161) et Lab-STICC (CNRS UMR 62 85)

Rapporteurs avant soutenance :

Mme. Marina GASNIER, Professeure des Universités, FEMTO-ST/RECITS (UMR 6174), UTBM, Belfort.

M. Florent LAROCHE, Enseignant-chercheur HDR, Laboratoire LS2N (UMR CNRS 6004), Ecole Centrale - Université de Nantes

Composition du Jury :

Mme.Catherine CUENCA, Docteure, Conservatrice général du patrimoine (PSTN, CNAM, Université de Nantes.

Mme. Marina GASNIER, Professeure des Universités, FEMTO-ST/RECITS (UMR 6174), UTBM, Belfort.

Mme.Muriel GUEDJ, MCF HDR, LIRDEF (EA 3749), Université Montpellier. [Présidente du jury].

M. Florent LAROCHE, Enseignant-chercheur HDR, Laboratoire LS2N (UMR CNRS 6004), Ecole Centrale - Université de Nantes

Directeur de thèse
M.Serge GARLATTI, Professeur, Lab-STICC (CNRS UMR 62 85), IMT-Atlantique, Brest.

Co-encadrants
M.Sylvain LAUBE, MCF, Centre François Viète (EA 1161) , UBO Brest.

M.Ronan QUERREC, Professeur d'Université, Enib Brest, Lab-STICC, (CNRS UMR 62 85)

Je remercie chaleureusement toutes les personnes avec qui j'ai travaillé sur l'élaboration de ma thèse, notamment mon directeur M.Serge Garlatti, mes co-encadrants M. Sylvain Laubé et M.Ronan Querrec pour leur intérêt, leur soutien et leurs conseils durant la rédaction de ma thèse.

Ce travail n'aurait pas été possible sans le soutien de la Région Bretagne qui m'a permis, grâce à une allocation de recherche (ARED) de me consacrer sereinement à l'élaboration de ma thèse.

Ce projet de recherche a été mené à bien grâce au soutien indéfectible de mes collègues du Centre François Viète de Brest et de Nantes qui m'ont accompagné durant ces trois années et qui m'ont également fait profiter de leur expertise : Delphine Acolat, Gregory Chambon, Hervé Ferrière, Lisa Rougetet, Maëva Boudjema, Nathan Godet, Helen Rawsthorne,Vincent Lecoustey, Guillaume-Sallah Thomas, Bruno Rohou, Héloïse Petton, Estelle Blin, Emmanuelle Soual-Hoebeke et Mathilde Villette pour Brest, ainsi que Pierre Teissier, Jenny Boucard et Stéphane Tirard pour Nantes. Je remercie également Julien Hageaux et Guillaume Laour avec qui j'ai travaillé sur certains indicateurs de l'arsenal de Brest lors de la première année de ma thèse.

Je souhaite également remercier les collègues du CERV qui ont contribué à développer mes compétences en ingénierie des connaissances et en Réalité Virtuelle notamment Frédéric Devillers et Matthieu Courgeon. Un remerciement tout particulier à Marlène Gilles avec qui j'ai eu beaucoup de plaisir à travailler et qui m'a accompagnée de manière intense à la fin de la thèse pour procéder aux corrections.

Lors de mes recherches sur l'arsenal de Brest, j'ai eu l'occasion de travailler à de nombreuses reprises au Service Historique de la Défense (SHD) de Brest, aussi, je souhaiterais remercier tout le personnel, et tout particulièrement M.Xavier Laubie qui a toujours été très disponible et enthousiaste vis-à-vis de mes recherches. Merci également à Naval Group et à M.Gérard Louarn et M.Georges Castel de m'avoir permis de consulter des archives des forges.

Je souhaite également remercier M.Emmanuel Saulnier, Mme Gaël Priser ainsi que les élèves de l'école du Petit Paris à Brest avec qui j'ai collaboré au début de ces recherches. Les échanges avec les élèves ont été particulièrement enrichissants. Merci également au personnel et aux résidents de l'Ehpad Louise Le Roux de Brest.

Mes remerciements sincères vont également aux anciens ouvriers de l'arsenal qui ont accepté de répondre à mes questions. Ils ont contribué de manière enthousiaste à l'élaboration d'une grande partie de cette thèse. M.Bodremon, M.Guidal et M.Séité grutiers et M.Vourch, M.Patry et M.Roué, respectivement anciens forgerons et chef d'équipe de la forge de Pontaniou. Ils m'ont accompagné assidûment dans mes recherches durant ces trois années En dehors du fait d'avoir participé en tant qu'experts dans ce projet, ils ont toujours été présents à prendre régulièrement de mes nouvelles, à assister à mes conférences et à m'encourager. Ces rencontres m'ont beaucoup apporté et j'espère que cette thèse rend honneur à leur travail au sein de l'arsenal.

Mes remerciements s'adressent également aux personnes que j'ai côtoyées lors de mes recherches vénitiennes : Mme Paola Lanaro de L'Université de Ca'Foscari, M.Christophe

Austruy qui m'a beaucoup aidée et avec qui j'ai pris grand plaisir à découvrir Venise, Mme Caterina Balletti, M.Alessandro Ervas, M.Adriano Da Vita et M.Claudio Menichelli.

Au terme de ce parcours, je remercie enfin celles et ceux qui me sont chers et que j'ai quelque peu délaissés ces derniers mois pour achever cette thèse : Mes amis qui ont toujours su trouver les mots pour me remotiver lors des périodes difficiles. Leurs attentions et encouragements m'ont accompagné tout au long de ces années.

Je garde une place toute particulière à mes parents, et à Philippe et Inès qui ont été de véritables piliers et sans qui tout cela n'aurait été possible. Cette thèse leur est dédiée.

Si dans mes remerciements j'ai omis de citer quelques personnes je m'en excuse. J'espère qu'elles ne m'en tiendront pas rigueur.

Table des matières

Table des matières 5

Liste des figures 11

1 Introduction : une thèse transdisciplinaire centrée sur l'activité 17
1.1 Contexte et approche scientifique de la thèse . . . 18
1.1.1 Le contexte scientifique . . . 18
1.1.2 Conservation et valorisation du patrimoine des paysages culturels industriels et de l'activité associée . . . 21
1.1.3 Une approche pluri, inter ou transdisciplinaire ? . . . 21
1.2 Questions de recherche et problématiques . . . 23
1.2.1 Modéliser l'activité humaine : Le projet Lab in Virtuo . . . 23
1.2.2 L'articulation du projet de thèse avec le projet Lab in Virtuo . . . 25
1.2.3 Problématique et objectifs de la thèse . . . 26
1.3 Modéliser et restituer l'activité humaine en humanités numériques pour l'histoire et le patrimoine des paysages culturels maritimes : contributions de cette thèse . . . 28
1.4 Plan de la thèse . . . 29

I États de l'art 35

2 État de l'art : Les paysages culturels industriels et l'activité en Histoire des Sciences et des Techniques 39
2.1 Introduction . . . 40
2.2 Définition du champ d'études des paysages culturels industriels . . . 40
2.3 La question de l'activité en Histoire des Sciences et des Techniques . . . 42
2.4 Les ports en tant que paysages culturels industriels et macro-systèmes technologiques complexes . . . 49
2.4.1 Les macro-systèmes technologiques complexes . . . 49
2.4.2 La définition d'un port-arsenal . . . 50
2.4.3 Notre définition du port-arsenal . . . 51
2.5 Histoire comparée et modélisation des ports . . . 51
2.5.1 L'histoire comparée des paysages portuaires . . . 51
2.5.2 Modéliser pour comparer l'évolution des paysages portuaires. . . . 53
2.5.3 La modélisation des ports dans le cadre de ces travaux de thèse . . . 55
2.6 Positionnement de la thèse vis-à-vis de l'Histoire des Sciences et des Techniques . . . 57
2.7 Conclusion . . . 61

3 État de l'art : Ingénierie des connaissances pour la représentation de l'activité et l'histoire 67
3.1 Introduction . . . 68
3.2 L'ingénierie des connaissances . . . 68
3.3 Le Web Sémantique . . . 69
3.3.1 Le réseau sémantique . . . 71
3.3.2 Les Ontologies . . . 72
3.3.3 Les Bases de connaissances . . . 73
3.3.4 L'utilisation des ontologies pour l'histoire . . . 73
3.4 Des Ontologies de référence . . . 74
3.4.1 Le CIDOC-CRM . . . 75
3.4.2 L'ontologie DOLCE . . . 77
3.5 La publication des données en ligne . . . 78
3.5.1 Le consortium DATA FOR HISTORY . . . 78
3.5.2 Le «ARCHES PROJECT» . . . 78
3.6 Les Humanités Numériques pour faire de l'histoire . . . 79
3.7 Conclusion . . . 81

4 État de l'art : Les technologies 3D et de la réalité virtuelle pour le patrimoine, la médiation et l'apprentissage des connaissances 85
4.1 Introduction . . . 86
4.2 Les technologies de la 3D et de la réalité virtuelle . . . 86
4.3 Les technologies de la 3D et de la réalité virtuelle appliquées au patrimoine 89
4.3.1 Patrimoine et modèles 3D : deux typologies de mode de conception . 90
4.3.2 Application pour documenter et valoriser . . . 91
4.3.3 Application pour l'étude du patrimoine industriel et de l'activité associée . . . 94
4.3.4 Application pour le développement d'outils consacrés à la conservation et à la transmission des données 3D . . . 95
4.4 Les technologies 3D et la réalité virtuelle comme outil de médiation dans un musée . . . 97
4.5 La réalité virtuelle pour l'apprentissage des connaissances . . . 101
4.5.1 La réalité virtuelle pour l'acquisition de connaissances dans un contexte de formation . . . 101
4.5.2 La réalité virtuelle pour l'apprentissage des connaissances dans un contexte scolaire . . . 104
4.6 Synthèse . . . 106
4.7 Synthèse des états de l'art . . . 107

II Paysages culturels et activité en Histoire des Sciences et des Techniques 113

5 Approches méthodologiques pour l'étude des paysages culturels maritimes industriels en Histoire des Sciences et des Techniques 117
5.1 Introduction . . . 118
5.2 Les méthodologies employées pour l'étude des ports et de l'activité associée 118
5.2.1 Le méta-modèle ANY-ARTEFACT . . . 118
5.2.2 HST-ARSENAL : application du modèle d'évolution pour l'étude des arsenaux . . . 123

5.3 Caractéristiques de l'étude en Histoire des Sciences et des Techniques . . . 125
5.4 Les méthodes employées pour le recueil de données historiques 125
5.4.1 Le contexte de la recherche 126
5.4.2 Le recueil de données auprès d'anciens utilisateurs des systèmes techniques 127
5.5 Présentation des paysages culturels de l'étude et des indicateurs 129
5.5.1 L'arsenal de Brest 129
5.5.2 L'arsenal de Venise 130
5.5.3 Les indicateurs sélectionnés 132
5.6 Conclusion 133

6 Application du modèle HST-ARSENAL à l'étude comparative des arsenaux : les indicateurs liés à la mobilité 137
6.1 Introduction 138
6.2 La première machine à mâter de Brest 138
6.3 La seconde machine à mâter de Brest 142
6.4 La torre Porta Nuova de Venise 149
6.5 La grue du viaduc de Brest 157
6.6 La grue hydraulique de Brest 164
6.7 La grue hydraulique de Venise 168
6.8 La grue électrique de Brest 175
6.9 Le pont tournant de Brest 182
6.10 Premières conclusions 196

7 Application du modèle HST-ARSENAL à l'étude comparative des arsenaux : Les unités de production industrielle 201
7.1 Introduction 202
7.2 Les corderies de Brest 202
7.3 Les corderies de Venise 211
7.4 Les forges de Brest 217
7.5 Les forges de Venise 232
7.6 Premières conclusions 236

8 Synthèse d'histoire comparée entre les arsenaux de Brest et Venise 241
8.1 Introduction 242
8.2 Synthèse d'histoire comparée des indicateurs liés à la mobilité 242
8.3 Synthèse d'histoire comparée des unités industrielle 248
8.4 Conclusion générale de l'étude des indicateurs 249

III Paysages culturels et Activité en Humanités Numériques et ingénierie des connaissances 255

9 Contexte et état des lieux des travaux en Humanités Numériques 259
9.1 Introduction 260
9.2 Les objectifs 260
9.3 Problématique 261
9.4 Contributions 262
9.5 Conclusion 262

10 Processus de conception du Lab in Virtuo **267**
10.1 Introduction . . . 268
10.2 Démarche globale de conception du Lab in Virtuo . . . 271
10.2.1 Le flux de conception . . . 272
10.2.2 Les outils logiciels . . . 274
10.3 L'ontologie générique ANY-ARTEFACT-O . . . 275
10.3.1 La conception de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O . . . 275
10.3.2 Les différents niveaux de conception . . . 275
10.4 L'alignement d'ANY-ARTEFACT et MASCARET . . . 294
10.4.1 «Artefact» / «Entity» . . . 294
10.4.2 «Acteur» / «Agent» . . . 295
10.4.3 «Savoir» / «Knowledge» . . . 297
10.4.4 «Pratique culturelle industrielle» / «Activity» . . . 298
10.5 Le niveau spécialisation de domaine . . . 300
10.5.1 La collecte et le stockage des données . . . 301
10.5.2 L'instanciation de MASCARET et de l'ontologie spécialisée . . . 302
10.5.3 La description du domaine et de l'activité . . . 303
10.5.4 La description des comportements et l'exécution des activités . . . 303
10.6 Conclusion . . . 304

11 Une ontologie spécialisée : l'exemple de «Forge-o» **309**
11.1 Introduction . . . 310
11.2 La démarche de conception de l'ontologie spécialisée « Forge-o » . . . 310
11.2.1 La constitution d'un corpus . . . 310
11.2.2 Le processus de construction . . . 311
11.3 La construction de l'ontologie «Forge-o» . . . 312
11.3.1 Les classes . . . 312
11.3.2 Les propriétés . . . 316
11.3.3 Le peuplement . . . 317
11.3.4 L'ajout d'informations . . . 319
11.4 L'intérêt de l'ontologie «Forge-o» . . . 320
11.4.1 La spécialisation d'un domaine . . . 320
11.5 Conclusion . . . 321

12 Les usages du Lab in Virtuo en médiation **325**
12.1 Introduction . . . 326
12.2 L'Environnement Virtuel des forges . . . 326
12.2.1 La construction de l'Environnement Virtuel . . . 326
12.2.2 Les premières applications de l'EV . . . 328
12.3 Immersion des experts du domaine . . . 330
12.4 Les scénarios de médiation . . . 333
12.4.1 Les différents types d'apprentissages en médiation . . . 333
12.4.2 Les différents types de scénarios et leur mode de construction . . . 334
12.4.3 Le scénario «activité» . . . 337
12.4.4 Le scénario «scolaire» . . . 339
12.4.5 Le scénario «comparaison Brest-Venise» . . . 340
12.5 Proposition d'intégration dans un musée . . . 342
12.5.1 Le Lab in Virtuo dans le cadre d'une exposition au Musée des Arts et Métiers . . . 345
12.5.2 L'apport pour la médiation culturelle dans un musée . . . 354

12.6 Conclusion 355

IV Conclusion **359**

13 Conclusion et perspectives **361**
13.1 Conclusion 362
13.2 Perspectives 364

V Bibliographie générale **371**

VI Sources historiques et entretiens **389**
13.3 Sources Historiques 391
13.4 Entretiens 394
13.4.1 Entretiens forgerons 394
13.4.2 Entretiens conducteurs de grues 394

VII Annexes **395**

A Synthèse des travaux à travers le guide méthodologique : La méthode KM-ACIL 399
A.1 Introduction 400
A.2 L'analyse des données historiques 401
A.2.1 L'étude de l'activité 401
A.2.2 L'étude des cycles de vie des artefacts 402
A.2.3 La sélection d'indicateurs 403
A.3 La représentation des données 403
A.3.1 Les cartes conceptuelles 403
A.3.2 L'ontologie spécialisée 404
A.3.3 L'instanciation 406
A.4 L'environnement Virtuel Informé 409
A.4.1 La récupération des modèles 3D 409
A.4.2 L'import de l'ontologie 410
A.4.3 La description des activités métier 411
A.4.4 Les scénarios de médiation 412
A.5 Conclusion 414

B Entretiens et scénarios de médiation **415**
B.1 Les entretiens avec les anciens utilisateurs de systèmes techniques 415
B.1.1 M.Vourch (Forgeron) 415
B.1.2 M.Roué (Chef d'équipe aux forges) 446
B.1.3 M.Bodremon (Conducteur de grues) 471
B.1.4 M.Guidal (Conducteur de grues) 484
B.2 Les démonstrations de la modélisation 3D des forges avec les forgerons . . . 495
B.2.1 La démonstration de M.Roué 495
B.2.2 La démonstration de M.Vourch 497
B.2.3 Conclusion des démonstrations 498
B.3 Les scénarios de médiation 499
B.3.1 Le scénario activité : La fabrication d'une grosse pièce métallique . . 499

B.3.2 Le scénario scolaire : La présentation de l'environnement des forges 499
B.3.3 Le scénario de comparaison des arsenaux : Les forges de Brest et Venise 502

Liste des figures

1.1 Un projet de recherche à l'articulation de trois domaines 23
1.2 Les travaux de modélisation en HST, en ingénierie des connaissances et en RV 26
1.3 Un modèle d'activité qui traverse les disciplines 27

2.1 Structure de l'activité par Engeström (1987) (ENGESTRÖM 2014) 47
2.2 Schéma du modèle ANY-PORT par Bird (1963) (RODRIGUE, COMTOIS et SLACK 2009) 54
2.3 Le modèle d'évolution du port par (Brian Stewart HOYLE 1989) 55
2.4 Le modèle de développement des ports par Peter J.Rimmer (RIMMER et al. 2007) 56
2.5 Tableau de comparaison des thèses de Bruno Rohou et M.M Abiven 58

3.1 Les différents langages du Web Sémantique [1] 70
3.2 L'arbre de Porphyre (DESCLÉS 1987) 71
3.3 Représentation d'un réseau sémantique 71
3.4 Représentation d'un graphe d'héritage 72
3.5 L'organisation de l'ontologie SyMoGIH (BERETTA 2016) 74
3.6 Représentation de l'instance, la propriété et la classe 75
3.7 La hiérarchie des classes au sein du CIDOC-CRM [2] 76

4.1 La métaphore de Pinocchio (TISSEAU 2001) 87
4.2 Le *«Head Mounted Display»*, premier visiocasque de l'histoire (CANOPÉ 2017) 88
4.3 Modélisation 3D du pont tournant de Brest [3] 90
4.4 Deux cas de figure pour la conception de modèles 3D pour le patrimoine . . 91
4.5 L'utilisation des modèles 3D (VERGNIEUX et al. 2017) 97
4.6 Les médiatrices virtuelles Ada et Grace au musée des sciences de Boston [4] . 99

5.1 Le modèle d'activité d'ANY-ARTEFACT 119
5.2 Le modèle de Norros (1991) (RABARDEL 1995) 120
5.3 ANY-ARTEFACT et les relations entre les notions (D'après (ROHOU 2018)) . . 122
5.4 Le cycle de vie générique d'un artefact (ROHOU 2018) 123
5.5 Le cycle de vie des artefacts HST-ARSENAL 124
5.6 Plan de l'arsenal en 1866 (CROS 1984) 130
5.7 Situation de l'arsenal de Venise [5] 131
5.8 Phases d'agrandissement de l'arsenal de Venise (BALLETTI et FERRIGHI 2013) 131
5.9 Les types d'indicateurs sélectionnés 132
5.10 Les indicateurs spécifiques 133

6.1 Une grue à tympan ou «cage à écureuils» (OZANAM 1691) 139
6.2 Louis-Nicolas Van Blarenberghe, *«Vue du port de Brest (vue prise de la terrasse des Capucins)»* [6], ... 139

6.3 Première machine à mâter de l'arsenal de Brest [7] . . . 141
6.4 Projet de tour à mâter dans l'arsenal de Brest [8] . . . 143
6.5 Plan d'une machine à mâter flottante pour l'arsenal de Brest (CAMPAIGNAC 1834) . . . 144
6.6 Maquette de la tour à mâter de Karlskrona [9] . . . 144
6.7 Emplacement de la deuxième machine à mâter de Brest (détail) [10] . . . 145
6.8 La grue à mâter de Brest en 1860 (détail) [11] . . . 146
6.9 Plan de la seconde machine à mâter de Brest (CAMPAIGNAC 1834) . . . 147
6.10 Vue stéréoscopique de la machine à mâter de Brest [12] . . . 148
6.11 Localisation de la Torre Porta Nuova [13] . . . 150
6.12 Plan de la tour à mâter [14] . . . 151
6.13 La torre Porta Nuova équipée de ses bigues [15] . . . 152
6.14 La tour à mâter de Copenhague [16] . . . 153
6.15 Tableau comparatif de trois tours à mâter . . . 154
6.16 La tour à mâter de Venise [17] . . . 155
6.17 Intérieur de la tour réhabilitée [18] . . . 156
6.18 Mécanisme de la tour à mâter de Karlskrona [19] . . . 156
6.19 Le môle du viaduc équipé de la grue à bigues en 1861 [20] . . . 158
6.20 Plan du môle et de la grue Gervaize (HAUSER 1886) . . . 159
6.21 La grue Gervaize ou grue du Viaduc en 1866 (EYMIN 1865) . . . 160
6.22 La grue Gervaize, le ponton flottant et la petite grue à chaînes de Galle [21] . . . 161
6.23 La grue Gervaize électrifiée [22] . . . 162
6.24 Le môle du viaduc [23] . . . 163
6.25 La grue hydraulique de l'arsenal de Brest. Collection Villard à Quimper. . . . 164
6.26 Schéma technique des grues de Brest et de Toulon (D'après (LA-NATURE 1893)) 165
6.27 Grue hydraulique de Brest (détail) [24] . . . 166
6.28 Vue aérienne de Brest à la libération [25] . . . 167
6.29 Grue Fairbairn de l'arsenal de Venise [26] . . . 168
6.30 Schéma d'une grue hydraulique de 160 tonnes de fabrication Armstrong (RIVISTA-MARITTIMA 1876) . . . 169
6.31 Schéma de la grue hydraulique de Venise (BETTIOL et al. 2010) . . . 171
6.32 La grue hydraulique en service (non daté) [27] . . . 172
6.33 Grue hydraulique de l'arsenal de Venise [28] . . . 174
6.34 Modèle 3D de la grue Armstrong de Venise [29] . . . 175
6.35 Grue de 150 tonnes – Mise en place de la tourelle du cuirassé « le Danton » (1er septembre 1910) [30] . . . 176
6.36 Organisation de la cabine de la grue électrique [31] . . . 179
6.37 La grande grue électrique à la suite des bombardements [32] . . . 180
6.38 Le démontage de la grande grue électrique [33] . . . 181
6.39 Projet de Pont par Trotté de la Roche en 1836 [34] . . . 184
6.40 Projet de pont par M.Tritschler [35] . . . 185
6.41 Projet retenu pour le pont de Brest-Recouvrance [36] . . . 186
6.42 Échafaudage permettant le montage du pont tournant (Détail) [37] . . . 187
6.43 Photographie de mai 1860 durant l'assemblage du pont par Emmanuel Mangel du Mesnil (LEMOINE 1983). . . . 188
6.44 Mécanisme de rotation du pont (détail) [38] . . . 189
6.45 Mécanisme de fixation aux quais (détail) [39] . . . 189
6.46 Mécanisme de fixation des volées (détail) [40] . . . 190
6.47 Manoeuvre des cabestans (COUDURIER 1935) . . . 191

6.48 Dessin satirique du journal *«La dépêche de Brest»* [41] . . . 192
6.49 Illustration satirique du pont tournant [42] . . . 193
6.50 Le pont tournant détruit en 1944 [43] . . . 193
6.51 Emplacements du pont tournant et du pont levant [44] . . . 194
6.52 Vestiges de l'ancien pont tournant [45] . . . 195

7.1 Emplacement de la vieille corderie [46] . . . 203
7.2 Localisation de la première corderie de l'arsenal de Brest (CROS 2015) . . . 203
7.3 Emplacement des deux corderies de l'arsenal de Brest [47] . . . 205
7.4 Les corderies, l'hôpital maritime et l'ancien bagne [48] . . . 206
7.5 Les corderies de l'arsenal de Brest (détail) [49] . . . 206
7.6 L'étape du peignage dans la Corderie de Karlskrona [50] . . . 207
7.7 Plan du chariot mobile de la corderie de Brest (CHEDEVILLE 1852a) . . . 208
7.8 Des ouvriers à l'intérieur de la corderie de Brest (ABÉGUILÉ-PETIT 2002) . . . 210
7.9 Emplacement de la corderie de Venise dans l'arsenal [51] . . . 212
7.10 Intérieur de la corderie [52] . . . 213
7.11 Organisation des corderies d'après une partie de la carte de 1797 par Maffioletti [53] . . . 214
7.12 Les machines de la corderie Inio de la Guidecca (AGOSTINO 2007) . . . 215
7.13 Les forges de Pontaniou en 1743 [54] . . . 218
7.14 Les forges de Pontaniou en 1833 [55] . . . 218
7.15 Outils utilisés dans les forges (MONTIER DESLONGCHAMPS 1763) . . . 220
7.16 Les grandes forges en 1881 (détail) [56] . . . 221
7.17 Livret d'entretien du marteau-pilon attestant de son premier emplacement [57] 223
7.18 Les différents composants du marteau-pilon [58] . . . 223
7.19 Les forges de Pontaniou à la fin de la guerre [59] . . . 225
7.20 Outils manuels des forges [60] . . . 226
7.21 Le manipulateur de forge [61] . . . 228
7.22 Les ouvriers en plein forgeage d'une pièce [62] . . . 229
7.23 Scans 3D de tenailles [63] . . . 232
7.24 Localisation de deux des forges de Venise [64] . . . 233
7.25 Les fours des forges de l'arsenal de Venise [65] . . . 233
7.26 Schéma d'un martinet des forges de Venise (VENTRICE non daté) . . . 234
7.27 Marteau auto-compresseur des forges de Venise [66] . . . 234
7.28 Démonstration à l'intérieur des forges de Venise [67] . . . 235

8.1 Emplacements des engins de levage au sein de l'arsenal de Brest [68] . . . 243
8.2 Tableau comparatif des grues de Brest . . . 244
8.3 Emplacements des engins de levage au sein de l'arsenal de Venise [69] . . . 245
8.4 Tableau comparatif des grues de Venise . . . 246
8.5 Frise chronologique des différents indicateurs liés à la mobilité . . . 247

10.1 Les rôles de MASCARET . . . 269
10.2 Les rôles du Lab in Virtuo . . . 270
10.3 Les concepts du Lab in Virtuo . . . 271
10.4 La chaîne de production . . . 272
10.5 Exemple de carte conceptuelle . . . 273
10.6 Les outils employés pour la conception du Lab in Virtuo . . . 274
10.7 Le méta-modèle d'activité ANY ARTEFACT . . . 276
10.8 L'ontologie ANY-ARTEFACT-O 0.1. «traduction» du modèle ANY-ARTEFACT 279

10.9 Les classes des perdurants dans l'ontologie ANY-ARTEFACT-O 279
10.10 La classe «acteur» et ses sous-classes dans l'ontologie ANY-ARTEFACT-O 0.1 280
10.11 La classe «savoir» 281
10.12 La taxonomie du savoir par (KRATHWOHL 2002) 282
10.13 La classe «qualité» 282
10.14 Les classes principales du CIDOC- (E1 CRM Entity) et d'ANY-ARTEFACT-O 0.1. 284
10.15 La classe «acteur» et ses sous-classes dans CIDOC-CRM 286
10.16 La classe «acteur» et ses sous-classes dans l'ontologie ANY-ARTEFACT-O 0.1 287
10.17 Les classes E24_Physical Man-Made Thing et E28_Conceptual Object, sous-classes de E71_Man-Made Thing, sous-classe de E70_Thing 287
10.18 Les sous-classes de «perdurant» et E2_Temporal Entity 289
10.19 Les sous-classes de E5_Event 290
10.20 Les sous-classes de la classe «événement» de ANY-ARTEFACT-O 291
10.21 Correspondance de la classe «pratique culturelle industrielle» d'ANY-ARTEFACT-O avec le CIDOC-CRM 291
10.22 Les propriétés de la classe artefact de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O sous la forme d'une carte conceptuelle 292
10.23 Le processus de construction de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O 293
10.24 Le concept d'Artefact dans ANY-ARTEFACT-O. 294
10.25 Le concept d'Entity dans MASCARET. 295
10.26 Correspondances entre les concepts ANY-ARTEFACT et MASCARET pour «Acteur» et «Entity» 295
10.27 Le concept d'acteur dans ANY-ARTEFACT 296
10.28 Le concept d'acteur dans MASCARET 296
10.29 Correspondances entre les concepts ANY-ARTEFACT et MASCARET pour «acteur» et «Agent» 296
10.30 Le concept de savoir dans ANY-ARTEFACT 297
10.31 Le concept de savoir dans MASCARET 298
10.32 Correspondances entre les concepts ANY-ARTEFACT et MASCARET pour «Savoir» et «Knowledge» 298
10.33 Le concept de pratique culturelle industrielle dans ANY-ARTEFACT 299
10.34 Le concept d'activité dans MASCARET 299
10.35 Correspondances entre les concepts ANY-ARTEFACT et MASCARET pour «Pratique culturelle industrielle» et «Activity» 300
10.36 Exemple de formulaire sur la plateforme ARCHES [70] 302
10.37 Extrait d'un modèle de procédures sous la forme d'un diagramme d'activité 303
10.38 Exemple de scénario de médiation du Lab in Virtuo 304

11.1 Le processus de conception du Lab in Virtuo appliqué au cas des forges de Brest 312
11.2 La classe «acteur» de l'ontologie «Forge-o» 313
11.3 La classe «artefact» de l'ontologie «Forge-o» 314
11.4 La classe «savoir» de l'ontologie «Forge-o» 314
11.5 La classe «pratique culturelle industrielle» de l'ontologie «Forge-o» 315
11.6 Les propriétés de l'ontologie «Forge-o» 317
11.7 Exemple d'instances dans l'ontologie «Forge-o» 318
11.8 Exemple de formulaire pour les composants du marteau-pilon 319

11.9 Le processus de conception de l'ontologie «Forge-o» appliqué aux forges de Brest . . . 319
11.10 Les annotations de l'ontologie «Forge-o» . . . 320
11.11 L'instanciation des forges de Venise dans «Forge-o» . . . 321

12.1 Nuage de points obtenu par le LIDAR [71] . . . 327
12.2 Commande d'action dans l'environnement virtuel . . . 327
12.3 Commande de direction dans l'environnement virtuel . . . 328
12.4 La démonstration de M. Roué . . . 331
12.5 La démonstration de M. Vourch . . . 331
12.6 La pyramide de l'apprentissage par Edgar Dale améliorée par (J. ROCHELEAU 2012) . . . 334
12.7 Le processus de construction des scénarios de médiation . . . 335
12.8 Les actions du guide au sein de l'EVI . . . 337
12.9 Extrait du diagramme du scénario «activité» . . . 338
12.10 Extrait du diagramme d'activité du scénario scolaire . . . 339
12.11 Extrait du diagramme d'activité du scénario «comparaison Brest-Venise» . . . 341
12.12 Extrait de la modélisation 3D du Marteau-Pilon de 100T du Creusot [72] . . . 344
12.13 Organisation de l'exposition . . . 349
12.14 Plan de fondation du marteau-pilon de 6000 kg [73] . . . 351
12.15 Ouvrage pédagogique sur le forgeage (BEAUSOLEIL 1964) . . . 352

13.1 Le modèle d'activité produit grâce aux trois domaines de recherche . . . 364

A.1 Les objectifs de la méthode KM-ACIL . . . 401
A.2 Exemple de carte conceptuelle sous CMapTools . . . 404
A.3 L'attribution des propriétés dans l'ontologie . . . 405
A.4 La création des propriétés dans Protégé . . . 406
A.5 L'interface de création de formulaires . . . 407
A.6 La création de ressources . . . 408
A.7 Méthode de recherche via une carte sur ARCHES . . . 409
A.8 L'importation des classes de l'ontologie dans Modelio . . . 410
A.9 La récupération des rôles métiers dans Modelio . . . 411
A.10 La récupération des actions dans Modelio . . . 411
A.11 Les actions réalisables par le rôle métier "forgeron" dans le scénario "activité" 412
A.12 Exemple de scénario de médiation sous Modelio . . . 413

B.29 Scénario scolaire : Le trajet du marteau-pilon de Brest . . . 500
B.30 Scénario scolaire : Le four de la forge de Brest . . . 501
B.31 Scénario scolaire : Les outils de la forge de Brest . . . 501
B.32 Scénario comparaison Brest-Venise : L'emplacement de l'arsenal de Venise 502
B.33 Scénario comparaison Brest-Venise : Les forges de Venise . . . 503
B.34 Scénario comparaison Brest-Venise : Les forges de Brest . . . 503
B.35 Scénario comparaison Brest-Venise : Le four de Brest . . . 504
B.36 Scénario comparaison Brest-Venise : Les fours de Venise . . . 504
B.37 Scénario comparaison Brest-Venise : Le livret de réparation du Marteau-Pilon 505
B.38 Scénario comparaison Brest-Venise : Le marteau-pilon de Venise . . . 505
B.39 Scénario comparaison Brest-Venise : La grue Armstrong de l'arsenal de Venise 506
B.40 Scénario comparaison Brest-Venise : La grue hydraulique de l'arsenal de Brest 506
B.41 Scénario comparaison Brest-Venise : Le valet de la forge de Venise . . . 507

Chapitre 1

Introduction : une thèse transdisciplinaire centrée sur l'activité

1.1 Contexte et approche scientifique de la thèse

1.1.1 Le contexte scientifique

Cette thèse en Histoire des Sciences et des Techniques [1] et Humanités Numériques [2] s'inscrit dans le cadre de la collaboration de trois acteurs principaux issus de domaines spécifiques :

- L'Université de Bretagne Occidentale (UBO) et le Centre François Viète : Laboratoire d'Epistémologie et d'Histoire des Sciences et des Techniques, le Centre François Viète de Brest s'investit depuis plusieurs années dans le programme *« Histoire comparée des paysages culturels maritimes et industriels et Humanités Numériques»* qui porte sur la compréhension notamment de l'évolution des ports et des arsenaux incluant les pratiques scientifiques et technologiques sur une période déterminée. Cette thématique s'insère dans deux axes du laboratoire : «Traces et matérialités des savoirs» et «Artefacts et systèmes» [3].
- IMT Atlantique : Cette institution travaille dans le domaine des EIAH (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain) et des MOOCS (Massive Open Online Course). Les travaux de ce type abordant des situations pédagogiques informatisées concernent deux domaines particuliers : les SHS et les STICC, qui ont leurs propres spécificités. Du point de vue des Sciences Humaines et Sociales sont abordées les problématiques liées à l'enseignement, à l'apprentissage, mais également à l'ingénierie des connaissances particulièrement nécessaires pour la conception de situations pédagogiques. En informatique les problématiques sont celles liées à la conception des logiciels.
- Le CERV (Centre Européen de la Réalité Virtuelle) : Le CERV, rattaché à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Brest (ENIB) est une plateforme de recherche pluridisciplinaire. Les chercheurs du CERV viennent de différents laboratoires comme le Lab STICC, le CFV, Le CREAD (Centre de Recherche sur l'Éducation, les Apprentissages et la Didactique) ou encore le LATIM (Laboratoire de traitement de l'information médicale). Elle rassemble des chercheurs de nombreuses disciplines, telles que l'informatique, l'éducation, la psychologie, l'HST et le patrimoine. Cet aspect pluridisciplinaire est visible au travers des projets développés au CERV qui touchent au domaine de l'industrie [4], de la psychologie [5] ainsi que du patrimoine. [6] Le Lab-STICC (UMR 62 85) présent à la fois à IMT-Atlantique et au CERV, est un laboratoire en Sciences et Techniques de l'Information, de la Communication et de la Connaissance. Il est composé de plusieurs équipes de recherche dont IHSEV (Interactions Humains Systèmes et Environnements Virtuels) [7] une équipe qui concentre ses tra-

1. Afin d'alléger la lecture, l'acronyme HST est utilisé pour désigner l'Histoire des Sciences et des Techniques.
2. Afin d'alléger la lecture, l'acronyme HN est utilisé pour désigner les Humanités Numériques.
3. https://cfv.univ-nantes.fr
4. Projet CORVETTE (Collaborative Virtual Environment for Technical Training and Experiment) propose un ensemble d'innovations scientifiques dans le domaine de la formation industrielle collaborative, au moyen de la technologie de RV.
5. Projet EVODIIME (Évolutivité et dynamique d'interaction en immersion virtuelle)qui offre un ensemble d'innovations scientifiques et technologiques dans le domaine de l'interaction entre humains et agents virtuels.
6. Projet ANTIMOINE : Anthropologie des territoires – lecture du patrimoine qui aborde les systèmes d'information patrimoniaux, et la construction entre l'utilisateur et un environnement 3D interactif et adaptatif
7. https://www.labsticc.fr/en/teams/m-573-ihsev.htm

vaux sur l'interaction entre les humains et les systèmes. Ceux-ci s'adressent à différents types de systèmes comme les robots, les environnements virtuels, les systèmes socio-techniques ou de simulation, en accordant une place primordiale au rôle et à la relation entre l'humain et le système. Le Lab-STICC s'investit dans un certain nombre de projets interdisciplinaires, notamment en Sciences Humaines et Sociales.

La problématique de cette thèse est issue d'une dynamique crée en 2012 par le groupe de recherche SemanticHPST [8] (Semantic approach to History and Philosophy of Science and Technology) soutenu par le réseau des MSH (Maisons des sciences de l'homme) impliquant le Centre François Viète, le Lab STICC, le LHSP AHP [9] et le LORIA [10] de l'Université de Lorraine ainsi que le LIRDEF [11] de l'Université de Montpellier. Les objectifs de ce groupe étaient d'intégrer et interroger l'utilisation du Web Sémantique dans le cadre de l'HST en élaborant des ontologies de référence et en développant des environnements informatiques de partage de données collaboratives à distance.

Trois thématiques s'appuyant sur les travaux en cours dans les laboratoires ont été mises alors en place avec l'objectif de produire un modèle générique dédié à l'HST : (BRUNEAU et al. 2015) [12] :

1. **La culture matérielle** avec comme étude de cas l'histoire du port arsenal de Brest (CFV et Lab-STICC à Brest),
2. **Les acteurs et les aspects prosopographiques** à partir de la correspondance d'Henri Poincaré (LORIA et LHSP-AHP à Nancy)
3. **Les concepts et les théories** à partir des travaux de recherches sur le concept de l'énergie (LIRDEF à Montpellier).

A Brest, cette dynamique a conduit à une première thèse démarrée en 2013 et soutenue par Bruno (ROHOU 2018) le 13 décembre 2018 [13], dans le cadre d'une co-direction entre le Centre François Viète (S. Laubé) et le Lab-STICC (S. Garlatti) qui avait pour objet d'étudier l'évolution des macro-systèmes technologiques complexes que sont les ports de Brest, Mar del Plata et Rosario dans le cadre d'une approche comparée. Le point de départ proposé était de considérer un port comme un macro-système technologique complexe dont l'évolution spatio-temporelle et multi-échelle s'inscrit dans une histoire des sciences et des techniques. Les artefacts représentatifs de l'activité (comme des quais, des engins de levage ou encore des unités de stockage) sont considérés comme des indicateurs signifiants de cette évolution. L'objectif était également de proposer et de valider de nouvelles méthodes de travail en HN dans le domaine du web sémantique [14] (S. LAUBÉ, ROHOU et GARLATTI 2014).

Par ailleurs, des travaux de modélisation 3D en RV [15] pour l'HST et le patrimoine industriel portuaire sont menés par le CERV et le Centre François Viète. Une modélisation est développée en 2011 portant sur le pont tournant de Brest (à partir de recherches préalables (LAUBE, QUERREC, GARLATTI et É. MAISEL 2016), (S. LAUBÉ 2009)) et la seconde, sur

8. https://semhpst.hypotheses.org/
9. Laboratoire d'Histoire des Sciences et de Philosophie - Archives Henri Poincaré.
10. Laboratoire lorrain de Recherche en Informatique et ses Applications.
11. Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche en Didactique, Éducation et Formation.
12. https://portail.telecom-bretagne.eu/publi/public/fic_download.jsp?id=44279
13. https://brmdp.hypotheses.org/
14. Une partie du chapitre 2 sera consacrée à la thèse de Bruno Rohou.
15. Afin d'alléger la lecture, l'acronyme RV est utilisé pour désigner la réalité virtuelle.

les forges de Pontaniou, à partir de 2014 dans le cadre d'une opération de sauvegarde et de valorisation toujours en cours. L'ensemble de ces projets ont conduit en 2015 à la création du groupe de recherche PAM 3D Lab pour *« Patrimoines, Artefacts, Médiations et 3D»* qui fonde un partenariat effectif entre le Centre François Viète, le CERV et IMT-Atlantique.

Les approches méthodologiques ont été les suivantes :

- L'étude des artefacts en tant que «*production humaine*»
- La production de modèles 3D associée à une bibliothèque numérique
- L'impact des HN sur les Sciences Humaines et Sociales
- La production d'outils innovants pour la médiation culturelle et la valorisation du patrimoine en HST.

Les travaux développés par le PAM 3D Lab ainsi que les recherches relatives à ce projet de thèse s'intègrent dans des consortiums de recherche ayant pour but de favoriser une intégration scientifique reconnue dans le domaine de l'histoire maritime, de l'HST mais également des HN. Voici les principaux :

- **Le GIS (Groupement d'Intérêt Scientifique Histoire Maritime [16]) :** Les travaux du Pam 3D Lab s'insèrent dans ce groupement d'intérêt scientifique qui explore plusieurs thèmes de la maritimité comme par exemple la circulation des marchandises, des technologies, des hommes et des idées ainsi que la conservation et la valorisation du patrimoine maritime.
- **Le consortium DATA FOR HISTORY** [17] : Nos travaux de recherches mêlant à la fois l'histoire et les HN, PAM 3D Lab est impliqué dans des projets regroupant la communauté du web sémantique pour l'histoire. Le consortium DATA FOR HISTORY regroupe, au même titre que le PAM 3D Lab des chercheurs en histoire et en informatique. L'intérêt de ce groupement est de travailler sur l'interopérabilité et la curation des données historiques, sur des solutions de partage et de stockage. [18]
- **Le consortium Huma-Num 3D SHS** [19] : Le consortium 3D pour les Sciences Humaines et Sociales est affilié à l'infrastructure de recherche Huma-Num [20]. Le consortium 3D SHS, comme son nom l'indique, s'investit dans le domaine du patrimoine et des données numériques 3D. L'intérêt de ce consortium est de sensibiliser les chercheurs aux enjeux de l'usage de la 3D, d'encourager le développement d'outils open source, de favoriser les échanges pluridisciplinaires et de travailler sur la création d'un conservatoire numérique de données 3D.

C'est dans ce contexte que le PAM 3D Lab propose en janvier 2016 un sujet de thèse à la Région Bretagne [21] dans le cadre d'une Allocation de REcherche Doctorale (ARED).

Cette thèse s'intitule ***«Humanités Numériques, méthodes de conservation et de valorisation du patrimoine maritime. L'exemple des arsenaux de Brest et Venise»*** [22].

16. http://www.Histoire-maritime.org
17. http://dataforhistory.org/
18. Voir chapitre 4.
19. https://shs3d.hypotheses.org/
20. https://www.huma-num.fr/
21. https://www.bretagne.bzh/
22. https://brestvenise.hypotheses.org/

1.1.2 Conservation et valorisation du patrimoine des paysages culturels industriels et de l'activité associée

Cette thèse s'intéresse aux HN, ainsi qu'à la conservation, et à la valorisation du patrimoine. Présentons comment nous nous situons vis-à-vis de ces notions.

Selon (MOUNIER 2018), les HN permettent d'*« éclairer les ressorts profonds* [des humanités]» et *d'interroger la place que peuvent occuper les humanités dans des sociétés sous l'influence des technologies numériques*». Ce champ disciplinaire, au coeur de ce projet de recherche, permettra d'interroger les notions de conservation et de valorisation du patrimoine au travers les technologies numériques.

Selon (STOVEL et al. 1998) la conservation concerne des : *« Mesures to extend the life of cultural heritage while strenthening transmission of its significant heritage messages and values»*. Le terme valorisation est quant à lui dérivé du concept de « valeur ». La valorisation du patrimoine culturel consiste alors à ajouter, donner ou à augmenter la valeur d'une ressource patrimoniale. L'objectif est donc de mobiliser les objets patrimoniaux dans les initiatives de développement territorial pour permettre sa transmission.

Ces travaux portent sur la notion de patrimoine culturel qui est, selon l'UNESCO, « *dans son sens le plus large, à la fois un produit et un processus qui fournit aux sociétés un ensemble de ressources héritées du passé, créées dans le présent et mises à disposition pour le bénéfice des générations futures*[23]». Le patrimoine culturel se distingue en deux catégories : le patrimoine culturel matériel qui correspond aux objets, sites archéologiques ou monuments, et le patrimoine culturel immatériel, c'est-à-direaux traditions orales, aux arts du spectacle, ou encore aux rituels. La Convention du patrimoine mondial[24] précise l'obligation d'assurer l'identification, la protection, la conservation, la mise en valeur ainsi que la transmission aux générations futures. Les paysages culturels font partie intégrante du patrimoine mondial et relèvent du patrimoine mixte, culturel et naturel, ainsi que des liens inhérents entre les communautés et leur milieu.

Concernant l'étude du patrimoine, les critères retenus par l'UNESCO sont l'authenticité et l'intégrité :

- L'authenticité correspond à *« la connaissance et la compréhension des caractéristiques originelles et subséquentes du patrimoine culturel, leur signification et leurs sources d'information comme [...] comme la forme et la conception, les matériaux et la substance, l'usage et la fonction, la tradition et les techniques, la situation et l'emplacement»* (MITCHELL, RÖSSLER et TRICAUD 2011). Cette authenticité est assurée au moyen de la vérification des sources d'information sur ses valeurs pertinentes.
- La notion d'intégrité est caractérisée quant à elle par *« un tout matériel, un caractère complet, un état impeccable ou incorrompu»* (MITCHELL, RÖSSLER et TRICAUD 2011). Les conditions d'intégrité exigent de juger dans quelle mesure le bien possède tous les éléments nécessaires pour exprimer sa valeur et que celui-ci permet une représentation complète des caractéristiques qui transmettent l'importance du bien.

1.1.3 Une approche pluri, inter ou transdisciplinaire ?

Ce projet de recherche se situe dans une articulation entre deux domaines :

23. https:/www.unesco.org
24. https://whc.unesco.org/fr/convention/

- Le patrimoine, l'histoire des Sciences et des Techniques

- Les Humanités Numériques

Les objectifs de ce projet de recherche sont doubles :

- Produire un premier corpus non exhaustif d'informations concernant l'histoire comparée des arsenaux de Brest et Venise en vue de la constitution d'une bibliothèque numérique de référence. Ce corpus est constitué à partir de l'étude des deux types d'indicateurs sélectionnés représentatifs de l'activité.

- Construire et valider de nouvelles méthodes en HN de conservation et de valorisation du patrimoine industriel et de l'activité associée dans les arsenaux basées sur le développement d'une chaîne de production de données impliquant des travaux en modélisation des connaissances en histoire.

Ces travaux ont pour ambition de contribuer au développement d'un Environnement Virtuel Informé (EVI), appelé Lab in Virtuo (QUERREC, LAUBE et al. 2018). Plusieurs domaines de recherche et outils spécifiques sont impliqués, il est donc important de se pencher sur l'approche scientifique de ce projet.

Compte tenu de la pluralité des domaines scientifiques sollicités ici, il est nécessaire de clarifier leurs relations et leurs modes d'interaction.

Selon (GLYKOS 1999) repris par (CLAVERIE 2010), il existe trois types d'approches :

- **La pluridisciplinarité :** Il s'agit de l'association entre des *« disciplines qui concourent à une réalisation commune, mais sans que chaque discipline ait à modifier sa propre vision des choses et ses propres méthodes.»*

- **L'interdisciplinarité :** L'interdisciplinarité a quant à elle *«pour but d'élaborer un formalisme suffisamment général et précis pour permettre d'exprimer dans ce langage unique les concepts, les préoccupations, les contributions d'un nombre plus ou moins grand de disciplines.»* Ces disciplines vont alors croiser leurs compétences, leurs savoir-faire, vont interagir entre elles.

- **La transdisciplinarité :** Implique *« ce qui est au-delà de toute discipline et ce qui traverse toutes les disciplines possibles»*. Le terme « transdisciplinarité» a été proposé dans les années 70 par Jean Piaget [25] qui prône *« un système total sans frontières stables entre les disciplines»* (BOURGUIGNON 1997).

25. Jean Piaget (1896-1980) est un biologiste, psychologue, et épistémologue. Il est principalement connu pour ses travaux en épistémologie et en psychologie du développement.

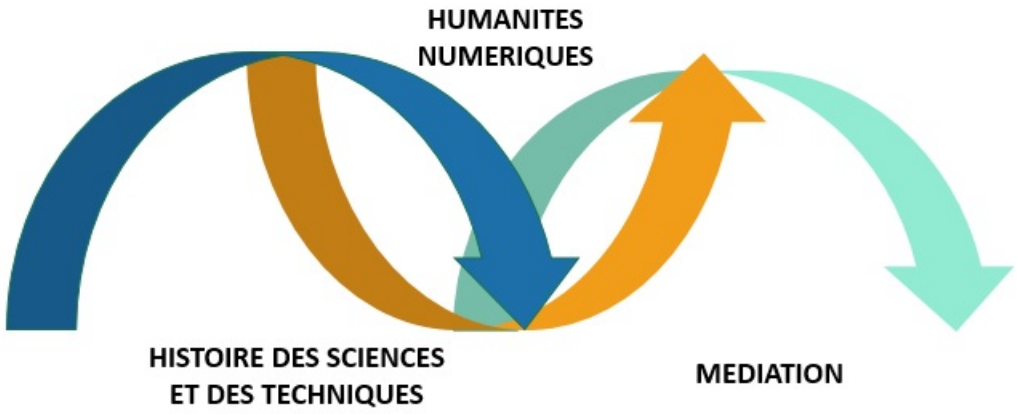


FIGURE 1.1 – Un projet de recherche à l'articulation de trois domaines

Il sera donc question de trois domaines de recherche qui impliquent des méthodologies et des outils spécifiques : l'HST, les HN et la médiation (Voir Figure 1.1). L'examen de la problématique et de son mode de résolution va permettre de qualifier les travaux ici présents de « transdisciplinaires» dont les spécificités sont les suivantes :

> *« La transdisciplinarité est complémentaire de l'approche disciplinaire ; elle fait émerger de la* ***confrontation des disciplines*** *de* ***nouvelles données qui les articulent entre elles*** *; et elle nous offre une* ***nouvelle vision de la nature et de la réalité****. La transdisciplinarité* ***ne recherche pas la maîtrise de plusieurs disciplines, mais l'ouverture de toutes les disciplines à ce qui les traverse et les dépasse***[26]».

Par conséquent, les trois domaines de recherches concernés ainsi que les méthodologies employées vont prôner l'ouverture des méthodologies et le dépassement des habitudes inhérentes aux différents domaines de recherche. Ce projet transdisciplinaire révèle alors l'importance d'une forte collaboration SHS-STICC[27].

1.2 Questions de recherche et problématiques

1.2.1 Modéliser l'activité humaine : Le projet Lab in Virtuo

Ce projet de thèse s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche plus large mené au sein du PAM 3D Lab : Le développement d'un Environnement Virtuel Intelligent Réaliste Sensoriel (EVIRS) nommé « Lab in Virtuo».

La contribution principale de cette thèse concerne le développement d'un Environnement Virtuel Informé (EVI) pour le domaine de la médiation.

Le projet initial du Lab in Virtuo est développé depuis trois ans sous la responsabilité scientifique de R. Querrec (CERV), S. Laubé (Centre François Viète/UBO) et S. Garlatti (IMT Atlantique)[28].

L'hypothèse de recherche qui est défendue est double :

26. Article 3 de la *«Charte de la transdisciplinarité»*, Adoptée au Premier Congrès Mondial de la Trandisciplinarité, Portugal, 1994. http://ciret-transdisciplinarity.org/chart.php
27. Sciences Humaines et Sociale et Sciences et Techniques de l'Information, de la Communication et de la Connaissance.
28. Querrec, Laubé, Garlatti, *Prépropositon ANR « Lab in Virtuo» Octobre 2018.*

- La RV, augmentée, collaborative et participative permet, au-delà des approches classiques en SHS, de développer des méthodes de recherche pluridisciplinaire et de médiations innovantes qui se traduisent par un saut qualitatif et quantitatif concernant l'élicitation des données et des connaissances
- L'immersion des usagers dans un Environnement Virtuel Intelligent Réaliste Sensoriel (EVIRS) où le corps est engagé d'un point de vue sensoriel, cinématique et gestuel se traduit par une récupération accrue des différentes mémoires procédurales, épisodiques et autobiographiques qui sont habituellement interrogées ou travaillées dans le cadre classique de productions d'archives orales.

L'histoire de l'activité humaine et de ses rapports au paysage est ici centrale dans une approche systémique où les paysages culturels industriels sont considérés comme des systèmes complexes (dans ce projet des ports et un système minier).

Les objectifs principaux sont :

1. Développer, valider et diffuser des laboratoires virtuels et des méthodes de recherches transdisciplinairess SHS-STIC (IA-RV) à partir de cas d'études en cours au Centre François Viète et au LIA CNRS «Mines[29]» d'Atacama concernant des démonstrateurs d'un fort intérêt historique et patrimonial ;
2. Développer et valider des méthodes de sciences collaboratives impliquant aussi bien des acteurs institutionnels (Musée, etc.) que non institutionnels (ouvriers, etc.) portant sur l'Histoire culturelle et la conservation numérique des métiers industriels ;
3. A partir des points 1) et 2) développer, tester et valider des scénarios d'usage dédiés à la médiation culturelle situés dans l'EVIRS

L'acquisition des connaissances relatives à un objet 3D s'effectue de manière classique par la collecte de sources primaires (archives, traces archéologiques, etc.) et secondaires (travaux académiques de référence), collecte complétée lorsque cela est possible par des enquêtes orales auprès des acteurs encore vivants.

Le projet Lab in Virtuo est centré sur l'acquisition et la restitution des connaissances (déclaratives et procédurales) dans un EVIRS (Environnement Virtuel Intelligent Réaliste Sensoriel) constitué à partir de la modélisation 3D d'un environnement matériel et sensoriel à caractère historique et patrimonial avec la possibilité de développer plusieurs jeux d'usagers.

Un jeu d'usagers est une suite d'interactions impliquant deux acteurs (ou plus) immergés dans un EVIRS dans une approche de science collaborative :

- Des chercheurs de différents domaines (historien, archéologue, anthropologue, ethnologue, etc.) ;
- Des experts en patrimoine/chercheurs ;
- Des acteurs locaux non académiques/chercheurs pour l'acquisition d'informations sur le milieu matériel et sensoriel, acquisition/capture des gestes techniques (savoir-faire), ainsi que leur explicitation ;
- Des experts en médiation/chercheurs/acteurs locaux.

29. https://liamines.hypotheses.org/

Ces jeux d'acteurs permettront d'acquérir, partager et restituer des connaissances plus détaillées et plus pertinentes grâce à la collaboration et la mise en situation dans un EVIRS. En d'autres termes, il s'agit améliorer l'élicitation des connaissances.

Les verrous principaux suivants ont été identifiés :

1. En Humanités Numériques : Élaborer des scénarios d'usage (jeux d'usagers, organisation de l'environnement virtuel de travail, mise à disposition d'une base de connaissances incrémentale issue dans un premier temps des recherches préalables en SHS, interaction avec l'environnement, etc.) et évaluer les gains en termes de production de nouvelles connaissances par rapport aux pratiques classiques en SHS ;
2. En Informatique : Concevoir une interface naturelle (RV/RA distribuée, dialogue naturel et interfaces multimodales) favorisant la collaboration pluridisciplinaire pour l'explicitation et la médiation de connaissances. L'idée est de considérer les agents conversationnels dans l'EVIRS comme une interface naturelle. Le comportement autonome de ces agents devra leur permettre d'interpréter les actions et verbalisations des utilisateurs, mais devra également générer de nouvelles interactions (poser/répondre une question, désigner un objet de l'environnement, faire/observer un geste technique...) en fonction des raisonnements sur la base de connaissances (connaissances manquantes, inférences et validation de l'ontologie).

Trois fonctions principales sont à assurer par l'EVIRS :

- Collecter des données « in virtuo» au moyen d'entretiens avec des experts du domaine ou des chercheurs du ainsi que des captures de gestes techniques. Il s'agit ici de travailler en mode collaboratif et participatif et éventuellement à distance.
- Travailler en mode collaboratif et participatif pour permettre à des experts de différents domaines, travaillant sur un même système de confronter leurs modèles et de les compléter par des points de vue différents. L'immersion dans l'environnement virtuel permet de rendre plus concrets les concepts qui seront débattus par les experts et nous pensons que cela permettra une communication plus efficace.
- Mettre en médiation consiste à mettre en place des scénarios de médiation exécutables dans l'EVIRS afin d'acquérir des connaissances sur les procédures ou sur les systèmes techniques.

1.2.2 L'articulation du projet de thèse avec le projet Lab in Virtuo

Cette thèse est une contribution à une des trois étapes essentielles du projet global Lab in Virtuo : L'application au domaine de la médiation culturelle. Elle ouvre la voie au développement de ce dispositif notamment au travers de deux principaux objectifs :

- Contribuer au développement et à la diffusion des Lab in Virtuo et des méthodes de recherches transdisciplinaires SHS-STIC à partir de cas d'études issus de l'histoire et du patrimoine industriels à travers un démonstrateur ayant un fort intérêt historique et patrimonial (Les forges de l'arsenal de Brest)
- Développer des scénarios pour l'EVI dédiés à la médiation culturelle.

Tous ces travaux relatifs au Lab in Virtuo appliqué à la médiation culturelle, impliquent la modélisation 3D d'environnements industriels associée à :

- Une base de connaissance fondée sur le web sémantique et l'ingénierie des connaissances : une ontologie consacrée aux paysages culturels industriels développée à partir du méta-modèle ANY-ARTEFACT et une ontologie spécialisée sur les forges.

- Un EVI (développé à partir du méta-modèle MASCARET) où il est possible de réaliser des procédures et d'acquérir des connaissances.
- Une interface permettant l'intégration de nouvelles connaissances dans le corpus. numérique

Le démonstrateur retenu pour ces travaux est la forge de l'arsenal de Brest qui a fermé ses portes en 2013. Cet indicateur représente un cas concret pour étudier l'activité humaine. En effet, l'unité de production industrielle est encore composée d'un certain nombre de machines-outils et d'outils manuels et il reste encore des témoins de cette activité. Ce choix de démonstrateur s'explique également par le statut incertain de cet atelier qui sera soit détruit, soit valorisé.

1.2.3 Problématique et objectifs de la thèse

Dans le cadre de ce projet transdisciplinaire impliquant le développement du Lab in Virtuo pour la médiation, il est nécessaire de pouvoir modéliser l'activité dans les paysages culturels industriels dans le champ de l'histoire comparée et des HN. Il existe un certain nombre de travaux de modélisation dans chacun des trois champs disciplinaires (Voir figure 1.2) :

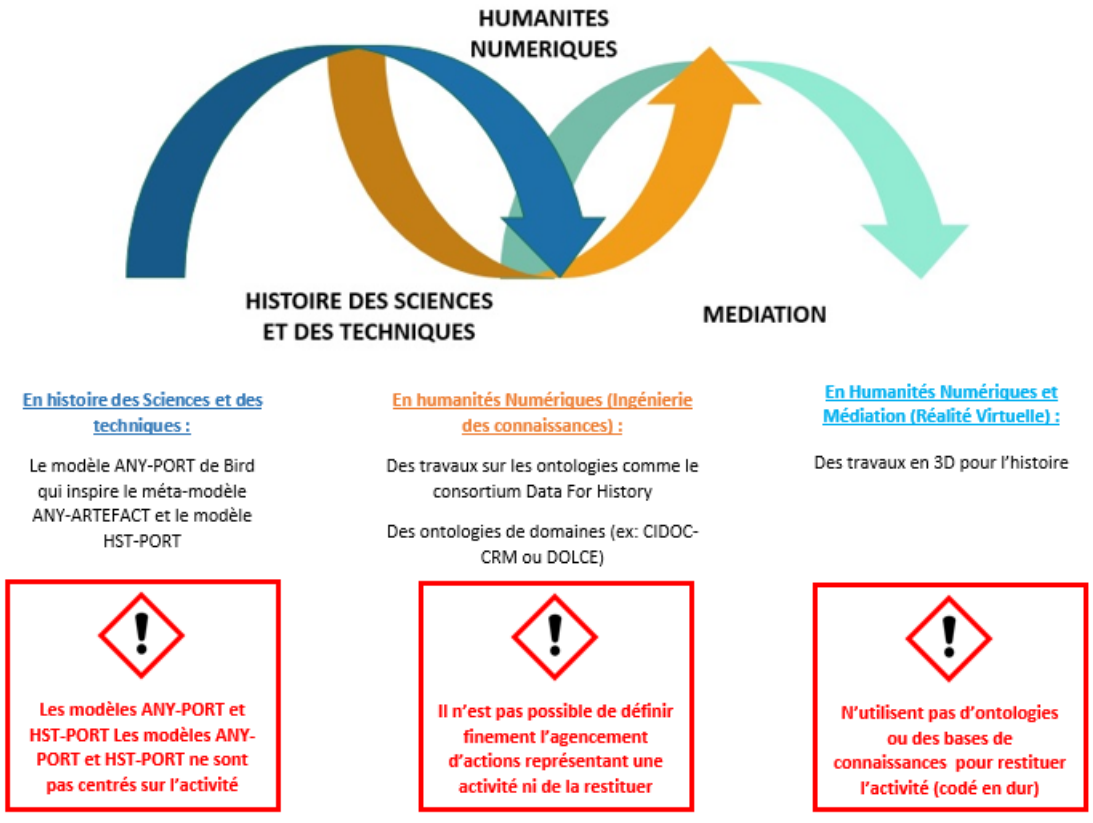


FIGURE 1.2 – Les travaux de modélisation en HST, en ingénierie des connaissances et en RV

En Histoire des Sciences et des Techniques

En HST nous pouvons, entre autres, citer le modèle ANY-PORT de (BIRD 1963) qui décrit comment les infrastructures portuaires évoluent dans le temps et l'espace. Ce modèle ANY-PORT a inspiré le modèle ANY-ARTEFACT (LAUBE 2017) et qui se traduit par le mo-

dèle HST-PORT utilisé dans le cadre de la thèse de Bruno (ROHOU 2018) (Voir chapitre 2).

Malgré la pertinence des modèles ANY-PORT et HST-PORT pour étudier les paysages culturels que représentent les ports, ceux-ci ne sont pas centrés sur l'activité.

En Humanités Numériques (Ingénierie des connaissances)

Dans le domaine de l'ingénierie des connaissances les travaux de modélisation sont nombreux. DATA FOR HISTORY, un consortium international fondé en 2017 qui a pour vocation d'améliorer l'interopérabilité des données géo-historiques dans le web sémantique et d'établir par conséquent, une méthode commune pour la modélisation, la conservation et la gestion des données dans la recherche historique.

Il existe également de nombreuses ontologies de domaines comme DOLCE ou le CIDOC-CRM qui est fréquemment utilisé dans les domaines de l'histoire et du patrimoine.

L'ingénierie des connaissances et notamment les ontologies sont donc particulièrement utilisées en histoire mais il n'est pas possible de définir finement l'agencement d'actions représentant une activité ni de la restituer.

En Humanités Numériques et médiation (Réalité Virtuelle)

Il existe de nombreux projets employant les technologies de la 3D et de la RV pour l'histoire. Certains de ces projets vont être présentés dans le chapitre 4.

Malgré la pertinence de ces projets, ceux-ci n'utilisent pas d'ontologies ou des bases de connaissances afin de restituer l'activité. En effet, généralement les informations sont codées en dur.

Il est alors nécessaire de développer un modèle d'activité déployant des méthodes transdisciplinaires, c'est-à-dire traversant à la fois les domaines de l'HST, des HN et de la médiation (Voir figure 1.3).

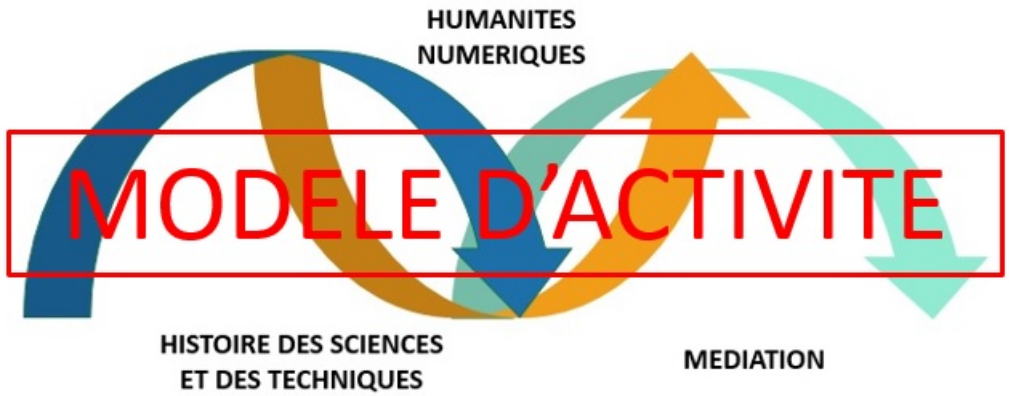


FIGURE 1.3 – Un modèle d'activité qui traverse les disciplines

Afin de répondre à cette problématique, l'objectif de cette thèse est donc de développer une méthode impliquant les HN pour le développement d'un outil dédié à la conservation et à la valorisation du patrimoine pour la médiation et centré sur l'activité.

1.3 Modéliser et restituer l'activité humaine en humanités numériques pour l'histoire et le patrimoine des paysages culturels maritimes : contributions de cette thèse

Afin de répondre aux questions de recherches relatives au projet de recherche, nous proposons un certain nombre de contributions à caractère transdisciplinaire impliquant l'HST, les HN (Ingénierie des connaissances et RV) et la médiation :

- HST-ARSENAL modèle d'évolution pour l'étude des arsenaux qui complète les apports du modèle HST-PORT (ROHOU 2018).
- Une étude comparée des arsenaux de Brest et de Venise du point de vue de l'HST ainsi qu'une périodisation des deux arsenaux à travers des systèmes technologiques ainsi que l'activité associée.

Ces deux contributions issues des recherches en HST vont permettre de développer les travaux en HN et en médiation.

- Le développement d'une méta-ontologie, « ANY-ARTEFACT-O» issue du méta-modèle en HST ANY-ARTEFACT qui permet de décrire les activités dans les paysages culturels industriels.
- La création d'une ontologie spécialisée, « Forge-o» déclinée à partir de « ANY-ARTEFACT-O» et consacrée au démonstrateur du projet, a par la suite été développée.
- La mise en place d'un alignement entre la méta-ontologie formelle « ANY-ARTEFACT-O» et MASCARET, modèle d'activité permettant la simulation de systèmes techniques et des activités dans l'EVI.

Ces trois contributions issues des recherches en HN (Ingénierie des connaissances) ont pu être développées au moyen des recherches en HST et vont contribuer aux travaux en médiation.

- L'élaboration de différents types de scénarios de médiation exécutables dans l'EVI du Lab in Virtuo permettant à l'utilisateur de réaliser des procédures et d'acquérir des connaissances sur le domaine.

Les différents champs de recherche de ce projet de recherche ainsi que les contributions sont liées entre elles et démontrent « *l'ouverture*», « *l'inventivité*» et le « *dépassement des normes et des habitudes*» (PASQUIER 2018), notions qui sont caractéristiques de la transdisciplinarité.

Ces méthodologies qui vont être développées dans cette thèse ont permis la rédaction du guide méthodologique KM-ACIL (***K**nowledge **M**odelling dedicaded to **A**ctivities in **C**ultural **I**ndustrial **L**andscape*).

Ce guide regroupe des procédures de références routinières et d'outils spécifiques issues des recherches en HST et en HN. Les méthodes de travail présentées dans ce guide s'adressent à la fois à ceux qui produisent les connaissances et ceux qui les utilisent que ce soit dans le cas d'une étude comparative ou non. Les recherches sur le Lab in Virtuo, ainsi que le développement de ce guide favorisent l'implantation d'un regroupement scientifique et technologique reconnu dans le domaine du patrimoine scientifique, technologique et industriel. Ce guide délivre des informations essentielles pour le montage de projets de valorisation et/ou de conservation du patrimoine industriel et de l'activité associée en utilisant les HN.

Le guide proposé dans le cadre de cette thèse, (Voir Annexes A) est une version synthétisée des travaux et fera l'objet par la suite d'un livrable.

L'originalité du Lab in Virtuo appliqué à la médiation culturelle se situe alors sur quatre points particuliers :

1. L'emploi de méthodologies transdisciplinaires en HST, ingénierie des connaissances et RV.
2. La proposition de méthodes innovantes d'apprentissage des connaissances centrées sur l'activité
3. La mise en place de nouveaux modes de médiation culturelle
4. L'ambition de valider et diffuser des méthodologies de conservation préventive des patrimoines et métiers industriels

1.4 Plan de la thèse

Cette thèse est structurée en sept parties : « État de l'art», « Paysages culturels et activité en Histoire des Sciences et des Techniques», « Paysages culturels et activité en Humanités Numériques», « Conclusion et Perspectives», « Bibliographie générale» , « Sources Historiques et entretiens» et enfin « Annexes».

La partie 1 présente le contexte d'état de l'art. Ce projet de recherche transdisciplinaire requiert des connaissances à la fois en HST, en HN et en médiation. Pour les besoins de ces travaux, sont proposés trois états de l'art permettant de faire l'état des travaux dans les disciplines concernées. Le premier état de l'art concerne le domaine de l'HST, le second la représentation de l'activité dans le domaine des HN et de l'Histoire, et enfin le troisième état de l'art est consacré aux usages de la modélisation 3D et de la RV l'histoire et le patrimoine.

Chapitre 2 : Ce chapitre présente l'état de l'art en HST. Nous allons nous intéresser à la définition du port comme macro-système technologique complexe et présenter notre propre définition d'un arsenal. Ce projet étant une Histoire comparée des paysages culturels, nous allons reprendre la littérature sur le sujet afin de bien délimiter les objectifs de ce projet. Une section de ce chapitre est également consacrée à la modélisation des ports en Histoire où nous présenterons plusieurs travaux dans le domaine, notamment ceux de Bruno Rohou dans le cadre d'une étude comparative.Ce chapitre présentera également le positionnement de cette thèse vis-à-vis de l'HST.

Chapitre 3 : L'objectif de ce chapitre est de faire un état de l'art sur la représentation de l'activité en HN. Dans un premier temps nous nous intéresserons à l'ingénierie des connaissances et au Web sémantique, puis nous nous focaliserons sur le CIDOC-CRM et DOLCE que nous utilisons dans le cadre de ce projet.

Chapitre 4 : Ce chapitre décrit les différentes utilisations des technologies 3D pour l'histoire, le patrimoine et pour l'apprentissage des connaissances. Nous allons distinguer les utilisations pour la recherche en Histoire, pour le patrimoine, mais également pour l'apprentissage des connaissances dans un contexte de formation ou scolaire. L'intérêt est de mettre l'accent sur la valeur ajoutée de l'usage de cette technologie.

La partie 2 expose les recherches en Histoire des Sciences et des Techniques.

Chapitre 5 : Ce chapitre est consacré aux méthodologies employées dans le domaine de l'HST et notamment dans le cadre des chapitres 6 et 7.

Chapitre 6 : Dans ce chapitre nous allons mettre à exécution les méthodologies en HST afin d'étudier les indicateurs spécifiques retenus pour l'étude. Il s'agit ici de produire un corpus de données historiques non exhaustif pour la constitution d'une première bibliothèque numérique dédiée à l'EVI Lab in Virtuo. Ce chapitre 6 est consacré au premier type d'indicateur, les indicateurs liés à la mobilité.

Chapitre 7 : Au même titre que le chapitre précédent, ce chapitre 7 est consacré à l'étude non exhaustive des indicateurs. Il est question ici du deuxième type d'indicateur, les unités de production industrielle.

Chapitre 8 : Le chapitre 8 sera consacré à la synthèse d'histoire comparée entre les arsenaux de Brest et Venise rendue possible grâce à l'étude des indicateurs.

La partie 3 concerne les travaux dans le domaine des HN et de l'ingénierie des connaissances pour le développement de l'outil Lab in Virtuo.

Chapitre 9 : Ce chapitre est consacré aux objectifs, problématiques et contributions des travaux en HN qui ont conduit au développement du Lab in Virtuo.

Chapitre 10 : Ce chapitre présente le mode de résolutions des problèmes exposés dans le chapitre 7, le processus de conception du Lab in Virtuo, les méta-modèles ANY ARTEFACT et MASCARET ainsi que le flux de production.

Chapitre 11 : Ce chapitre se propose de se focaliser sur le premier cas d'usage du Lab in Virtuo qui est consacré aux forges de l'arsenal de Brest. L'intérêt est ici de présenter les méthodologies mises en place pour la construction d'une ontologie spécialisée : « Forge-o».

Chapitre 12 : Ce chapitre est consacré aux usages de la RV dans un environnement virtuel informé. Cela implique des actions de médiation, des validations des modèles ainsi que la mise en place de scénarios pédagogiques. Nous proposons également des pistes de recherche sur l'usage du Lab in Virtuo dans le cadre d'une exposition temporaire dans un musée.

La partie 4 de cette thèse concerne des pistes ainsi que des perspectives de recherche.

Chapitre 13 : Cet ultime chapitre a pour objectif de présenter des conclusions et des pistes de recherche pour l'usage des méthodologies et du Lab in Virtuo.

La partie 5 de cette thèse concerne la bibliographie générale. Celle-ci regroupe de manière thématique les références de l'ensemble des chapitres.

La partie 6 regroupe l'intégralité des sources historiques utilisées dans le cadre des recherches en HST, ainsi que la liste des entretiens effectués auprès d'anciens utilisateurs de systèmes.

La partie 7 de cette thèse concerne les annexes. Celles-ci sont organisées en quatre parties : La partie A regroupe toutes les méthodologies employées dans la conception d'un Lab in Virtuo sous la forme d'un guide de référence : La méthode KM-ACIL. La partie B contient les retranscriptions des entretiens menés dans le cadre des recueils de données , la partie C le compte-rendu des démonstrations effectuées avec les forgerons et enfin la partie D est consacrée aux scénarios de médiation.

Références chapitre 1

BIRD James Harold (1963), *The major seaports of the United Kingdom*, Hutchinson.

BOURGUIGNON André (1997), « De la pluridisciplinarité à la transdisciplinarité », *Bulletin interactif du*.

BRUNEAU Olivier et al. (2015), « SemanticHPST: applying semantic web principles and technologies to the history and philosophy of science and technology », p. 416–427.

CLAVERIE Bernard (2010), « Pluri-, inter-, transdisciplinarité: ou le réel décomposé en réseaux de savoir », *Projectics/Proyéctica/Projectique*, n° 1, p. 5–27.

GLYKOS A (1999), « Approche communicationnelle du Dialogue Artiste/Scientifique, Note de synthèse pour l'Habilitation à diriger des recherches », *Paris: Université Diderot Paris*, t. 7.

LAUBE Sylvain (2017), « Maritimité, histoire et patrimoine scientifique et industriel: apport du modèle d'activité ANY-ARTEFACT », in.

LAUBÉ Sylvain (2009), « Modélisation des documents numériques pour l'histoire des techniques: une perspective de recherche », *Documents pour l'histoire des techniques. Nouvelle série*, n° 18, p. 37–41.

LAUBE Sylvain, QUERREC Ronan, GARLATTI Serge et MAISEL Éric (2016), « Un exemple de paysage culturel portuaire: le pont tournant de Brest en réalité virtuelle », in.

LAUBÉ Sylvain, ROHOU Bruno et GARLATTI Serge (2014), « Humanités numériques et web sémantique: de l'intérêt de la modélisation des connaissances en histoire des sciences et des techniques pour une histoire comparée des ports de Brest (France) et Mar del Plata (Argentine) », in.

MITCHELL Nora, RÖSSLER Mechtild et TRICAUD Pierre-Marie (2011), *Paysages culturels du patrimoine mondial: guide pratique de conservation et de gestion*, UNESCO.

MOUNIER Pierre (2018), *Les humanités numériques: une histoire critique*, Éditions de la Maison des sciences de l'homme.

PASQUIER Florent (2018), « La transdisciplinarité, combien de divisions? »

ROHOU Bruno (2018), « Modélisation des ports de Brest (France), Rosario et Mar del Plata (Argentine) en tant que macro systèmes technologiques complexes: application à la modélisation des connaissances pour l'histoire des sciences et des techniques », thèse de doct.

STOVEL Herb et al. (1998), *Risk preparedness: a management manual for world cultural heritage*.

Première partie

États de l’art

La partie 1 de cette thèse présente les états de l'art consacrés aux domaines de ce projet de recherche : l'histoire des sciences et des techniques, l'ingénierie des connaissances ainsi que la réalité virtuelle pour l'étude de l'activité. L'analyse des travaux existants permet de dresser un panorama des savoirs dans les domaines concernés et ainsi de se positionner scientifiquement vis-à-vis de ces derniers.

Le premier état de l'art concerne les paysages culturels industriels dans le cadre d'une étude en histoire des sciences et des techniques. L'intérêt est d'ici de référencer des travaux existants sur les macro-systèmes, l'étude comparée des paysages portuaires ainsi que la modélisation des ports.

Le second état de l'art s'intéresse aux travaux en ingénierie des connaissances et à la représentation de l'activité avec le web sémantique ou l'usage des humanités numériques pour l'histoire.

Le troisième et dernier état de l'art se consacre aux usages des technologies de la 3D et des humanités numériques pour le patrimoine, l'histoire, la médiation et l'apprentissage des connaissances.

Chapitre 2

État de l'art : Les paysages culturels industriels et l'activité en Histoire des Sciences et des Techniques

2.1 Introduction

En 1935, Lucien (FEBVRE 1935) propose des pistes de réflexion sur l'histoire des techniques comme nouvelle discipline. Selon lui, elle implique trois dimensions :

- L'exécution d'une histoire technique des techniques
- L'analyse historique des rapports entre la technique et la science
- L'intégration de l'histoire des techniques dans le cadre des autres sciences humaines, par l'établissement des rapports avec l'histoire économique et sociale.

Plus tard, (KOBILJSKI, HILAIRE-PÉREZ et CARNINO 2016) précisera *«l'histoire des techniques a acquis sa place au sein de l'histoire globale«* notamment en ce qui concerne l'analyse des innovations techniques et des modes de transmission des savoirs, qui sont généralement faites au moyen d'études de cas illustrant les connexions techniques entre différents pays.

Ce projet de recherche en HST, en HN ainsi qu'en médiation se situe dans le champ de la transdisciplinarité, ce qui implique que les différents champs disciplinaires contribuent aux autres domaines et permettent le développement de méthodologies spécifiques.

Dans le cadre des recherches en Histoire des Sciences et des Techniques l'objectif est d'établir et de comparer le cycle d'évolution et les pratiques des deux arsenaux du point de vue scientifique et technologique de leur création jusqu'à aujourd'hui en s'appuyant sur des indicateurs spécifiques comme des grues, des ponts ainsi que des unités de production industrielle comme des forges ou des corderies. L'étude de ces systèmes techniques n'a pas pour vocation de devenir une étude exhaustive, mais de démontrer une méthode impliquant les autres domaines de recherche (Voir chapitre 5). En effet, cette étude comparée des arsenaux de Brest et Venise du point de vue de l'HST ainsi que la périodisation à travers les systèmes techniques et l'activité associée, participe au développement d'une bibliothèque numérique nécessaire aux recherches en HN et en médiation.

Le domaine de l'HST occupe une place essentielle dans ce projet, il est donc nécessaire de situer ces recherches vis-à-vis d'autres travaux du domaine abordant les mêmes notions. Nous allons donc, dans cet état de l'art, nous intéresser aux paysages culturels industriels, à la question de l'activité ainsi qu'à l'étude des macro-systèmes technologiques complexes. Les questions d'histoire comparée et de modélisation des ports vont également être abordées avant de situer ces recherches vis-à-vis des différents travaux qui seront présentés.

2.2 Définition du champ d'études des paysages culturels industriels

Dans le cadre de ces travaux, nous nous intéressons à un type de paysage particulier, les paysages culturels. Le paysage culturel est une notion qui possède une définition officielle fournie par l'UNESCO :

> *«Cultural landscapes are cultural properties and represent the "combined works of nature and of man » [...] They are illustrative of the evolution of human society and settlement over time, under the influence of the physical constraints*

and/or opportunities presented by their natural environment and of successive social, economic and cultural forces, both external and internal[1] "

Il existe trois catégories de paysages culturels :

- **Le paysage facilement identifiable** est le paysage clairement défini, conçu et crée intentionnellement par l'homme, ce qui comprend les jardins ou les parcs aménagés pour des raisons esthétiques.
- **Les paysages essentiellement évolutifs** qui résultent d'exigences à la fois sociale, économique, administrative ou religieuse et qui atteint sa forme actuelle par association et en réponse à son environnement naturel. Ce paysage se subdivise en différentes catégories :
  1. Un paysage relique qui est un paysage ayant subi un processus évolutif qui s'est arrêté soit brutalement soit sur une période à un certain moment dans le passé.
  2. Un paysage vivant qui conserve un rôle social actif dans la société contemporaine, étroitement associé au mode de vie traditionnel et dans lequel le processus évolutif se poursuit.
- **Les paysages culturels associatifs** concernent les associations religieuses, artistiques on encore culturelles.

Les paysages culturels industriels et principalement portuaires concernent, selon les catégories de paysages culturels de l'UNESCO, des paysages évolutifs liés à la société, car ce sont des paysages qui évoluent dans le temps. Selon (CROUZET 1997), un paysage industriel implique *«un paysage où les activités industrielles sont évidentes, révélé par des bâtiments et équipements caractéristiques, lesquels, finalement, dominent ce paysage.»*. Actuellement plusieurs types de paysages culturels industriels sont inscrits au patrimoine mondial de l'UNESCO comme par exemple le bassin minier du Nord-Pas de Calais, la gorge d'Ironbridge au Royaume-Uni ou encore Zone d'exploitation minière de la grande montagne de cuivre de Falun ou encore la zone d'exploitation minière de la grande montagne de cuivre de Falun en Suède.

Afin de figurer dans la liste du patrimoine culturel mondial de l'UNESCO[2], les paysages culturels industriels doivent répondre à un certain nombre de critères dont certains mettent en évidence l'activité humaine ainsi que certaines notions inhérentes la technologie ou le savoir-faire :

- Critère 1 :*«Représenter un chef-d'œuvre du génie créateur humain»*
- Critère 2 :*«Témoigner d'un échange d'influences considérable pendant une période donnée ou dans une aire culturelle déterminée, sur le développement de l'architecture ou de la technologie, des arts monumentaux, de la planification des villes ou de la création de paysages»*
- Critère 4 :*«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»*

Ces trois critères correspondent parfaitement aux paysages culturels industriels qui prennent en compte l'humain et la notion de technologie.

La notion d'activité étant centrale dans cette thèse, nous allons à présent nous intéresser à la question de l'activité dans les travaux en Histoire des Sciences et des Techniques.

1. https://whc.unesco.org/en/culturallandscape
2. Orientations devant guider la mise en œuvre de la Convention du patrimoine mondial, «Critères pour l'évaluation de la valeur universelle exceptionnelle», http://whc.unesco.org/

2.3 La question de l'activité en Histoire des Sciences et des Techniques

La méthodologie qui est développée dans ce projet de recherche repose sur l'application du méta-modèle ANY-ARTEFACT qui considère l'activité humaine comme la résultante de trois facteurs : Les artefacts, les acteurs et les savoirs (Voir chapitre 5). Il est donc nécessaire, avant toute chose, de se pencher sur la définition de ces notions.

- Un artefact est une production humaine qui a une fonction précise et qui possède la «capacité» de réaliser cette fonction. En plus de cette fonction, l'artefact a un usage qui correspond à l'activité pour lequel il a été créé.
- Un acteur participant à une activité humaine peut-être de différents types : un homme ou être humain, un groupe, une position ou un poste occupé.
- Les savoirs regroupent l'ensemble de connaissances relatives à une activité. Ces savoirs peuvent être de différents types, comme par exemple des savoirs théoriques ou procéduraux. Les savoirs concernent les connaissances relatives aux artefacts ainsi qu'à l'activité elle-même.

L'étude de l'activité implique régulièrement l'utilisation de notions analogues à «artefact» comme «objet technique » et «outil».

- Un objet technique est un objet finalisé dans un but utilitaire qui se caractérise par une fonction ainsi qu'un usage et qui a été créé afin de répondre à un problème technique. Ce terme générique est fréquemment utilisé afin de désigner un outil, un instrument, ou une machine.
- Un outil est un objet fabriqué par l'homme dans le but de réaliser une opération déterminée. François (SIGAUT 2012), agronome et historien, a travaillé sur l'étude des comportements techniques où l'outil occupe une place centrale. Son ouvrage *«Comment Homo devint faber. Comment l'outil fit l'homme»* aborde le fait que l'homme détient la capacité à inventer et à se servir des outils, ce qui lui permet de développer son intelligence. La fonction de l'outil c'est l'ensemble des finalités pour lesquelles il est mis en œuvre comme il le précise dans un autre ouvrage : *« Un couteau ne sert pas à couper mais en coupant »* (SIGAUT 1991). Selon cette vision, c'est donc l'homme lui-même qui est outil dans le geste technique.

La question de l'activité humaine est également fortement liée aux concepts de technologie et de technique qui nécessitent d'être discutés [3].

- La technique désigne des actions directement liées aux gestes. Les transmissions des connaissances techniques sont celles des acteurs (ingénieurs, techniciens, ouvriers..) qui mettent en œuvre la technique, qui est elle-même révélée par les métiers (RUSSO 1986) : *«Les artefacts évoluent sans cesse et reflètent un état historique de la pratique des utilisateurs en même temps qu'ils modèlent cette pratique. »*.
- La technologie est une science qui implique l'ensemble des savoirs, des pratiques et des termes propres à un domaine technique en particulier. Selon (MAUSS 2004), la technologie *«prétend à juste titre étudier toutes les techniques, toute la vie technique des hommes depuis l'origine de l'humanité jusqu'à nos jours.* (BECKMANN 1806) agronome, naturaliste et économiste allemand, est considéré comme le «père» de la

3. On trouvera par exemple ici un cadre «définitionnel» par Daux-Garcia Chantal. La culture technologique. In : Spirale. Revue de recherches en éducation, n°26, 2000. Culture scientifique et culture technique à l'école, sous la direction de Joëlle Delattre. pp. 169-185.

technologie. Dans son ouvrage «*Entwurf der allgemeinen technologie*» de 1806, il propose une nouvelle discipline appelée «*technologie générale*». Il s'agit d'une science nouvelle qui étudie l'activité humaine sous forme d'opérations et qui considère le geste comme partie intégrante de l'activité humaine. Le principe de la «chaîne opératoire» lié à l'activité a été ensuite repris par de nombreux scientifiques dont (BALFET 1991) qui précise : «*Si l'on s'attache à mettre en évidence la logique interne d'une activité, la chaîne opératoire se présente comme un enchaînement d'**actes, gestes, instruments** constituant un processus technique avec ses grandes étapes plus ou moins prévisibles*» .

Il s'agit alors d'un ensemble d'opérations qu'un groupe humain planifie et exécute, notamment au moyen du savoir dont il dispose, en vue d'un résultat. Pour cela, les notions d'«actes», de «gestes», et d'«instruments» sont impliquées.

Le terme technologie est donc théorique alors que la technique se veut pratique.

Nous allons à présent nous intéresser à l'activité humaine dans les paysages culturels industriels en se penchant sur les relations entre l'homme et l'artefact ainsi que les notions de savoirs humains impliqués dans une activité.

La relation entre l'homme et l'objet technique

La figure de l'acteur en tant que technicien, artisan et surtout ingénieur est régulièrement logée au centre de travaux abordant l'activité. Des auteurs se sont intéressés à l'acteur comme Hélène (VÉRIN 1993) qui s'intéresse aux ingénieurs, Bertrand (GILLE 1980) qui s'intéresse aux mécaniciens ou encore Antoine (PICON 1997) qui étudie l'ingénieur comme constructeur, entrepreneur et inventeur. L'étude de ces différents acteurs permet d'étudier les rapports que ceux-ci entretiennent avec l'artefact, mais également leur influence sur l'activité en elle-même.

Dans le cadre de ce projet en HST, nous avons pris le parti de développer une approche anthropocentrée, en plaçant l'homme et les activités au centre de l'étude. En effet, comme le souligne Anne Françoise (GARÇON 2006), l'HST n'est pas qu'une histoire de systèmes techniques :

> *«Cette histoire (L'histoire des Sciences et des Techniques ndrl) que l'on pense souvent n'être qu'une histoire de machines, de rivets, de boulons, d'engrenages, de fours, de canaux, ou de ponts, cette histoire dont on pense encore qu'elle délaisse l'homme pour ne s'intéresser qu'aux instruments et aux outils rebute.»*

Pour étudier l'activité il faut alors prendre en considération d'autres notions et d'autres facteurs pour que l'analyse soit plus pertinente et complète. En effet, l'étude de l'activité nécessite le développement de la dimension humaine, le sujet en tant qu'acteur. L'acteur possède un rôle primordial dans l'activité puisqu'il s'agit d'un individu possédant la capacité d'agir grâce à des compétences personnelles et des savoir-faire. Le rapport qu'entretient l'acteur avec son environnement de travail et les objets techniques qu'il utilise sont une variable essentielle de l'activité.

L'homme et le savoir au coeur de l'activité

La question du savoir-faire est indispensable à la notion d'activité, car il s'agit de compétences techniques particulières. En effet, le savoir-faire implique l'expérience et l'habileté dans un domaine spécifique.

Cette notion de savoirs que l'on attribue aux acteurs concerne le savoir manuel, c'est-à-dire les gestes techniques, l'utilisation des outils, mais également les savoirs liés aux procédures et au métier à proprement parlé. Ces savoirs peuvent se transmettre sous plusieurs formes, de manière verbale d'un acteur à un autre, ou de manière matérielle à travers les plans, ou encore les archives. Ils ne sont pas figés, se transmettent et évoluent en fonction des acteurs et du perfectionnement des objets techniques. Cette circulation des savoirs est une des sources majeures de l'innovation. Les connaissances liées aux acteurs et aux activités sont essentielles, car elles permettent de garder des «traces » quand il s'agit d'une activité en péril ou déjà disparue.

L'étude des systèmes techniques n'est donc, pas suffisante pour étudier l'évolution des paysages culturels industriels. En effet, l'étude de l'activité humaine est essentielle, car elle est indissociable de la technique. Elle concerne entre autres le savoir-faire, les connaissances du système technique ainsi que la gestuelle. Activité humaine et évolutions techniques sont étroitement liées, car les évolutions techniques modifient l'activité humaine. Selon (JACOMY 2015), l'histoire des techniques est fortement liée à l'humain à travers les pratiques sociales ou encore les savoir-faire :

> *«Une histoire des techniques écrite aujourd'hui ne peut se satisfaire de la simple évocation des grandes innovations qui l'on jalonnée et des grands hommes qui l'ont marquée.[...] L'histoire des techniques, telle que je tente de l'approcher ici, est culturelle. Elle fait apparaître les liens qui, depuis les silex taillés par les premiers hommes jusqu'aux plus récents outils, souvent immatériels, que la société actuelle met entre nos mains, unissent les techniques aux pratiques sociales, les* ***savoir-faire*** *aux arts, les innovations aux modes de vie etc...»*

La notion de savoir est essentielle quand il s'agit d'étudier l'activité. Cependant, il existe plusieurs types de savoirs impliqués dans une activité. Selon (CARON 2010), il existe deux types de savoirs : Le savoir empirique et le savoir tacite :

> *«Dans un tel système, des* ***connaissances*** *à la fois tacites et empiriques sont incorporées dans les gestes, le regard, le toucher ou l'odorat des opérateurs, artisans et ouvriers. C'est un savoir d'abord manuel « savoir de la main », en quelque sorte. Son expression verbale, écrite ou graphique, par le biais de dessins et de modèles, équivaut à la définition de règles, qui ne débouchent pas sur des analyses causales ou des lois mathématiques, mais sur de simples recettes. Les* ***connaissances*** *sont* ***transmises*** *de manière héréditaire, par* ***l'apprentissage*** *ou par la circulation des travailleurs d'un atelier ou d'un chantier à un autre. Elles ne sont pas immuables, mais au contraire en constante évolution. Ce savoir est devenu, au cours des temps, de plus en plus complexe et sophistiqué, tout en demeurant en grande partie* ***tacite****. C'est aussi un* ***savoir empirique****, qui peut être source d'innovations et, par conséquent, créateur de nouvelles* ***connaissances*** *»* (CARON 2010) .

Mais dans les textes scientifiques, selon les domaines évoqués ou les champs disciplinaires impliqués, nous pouvons mettre en évidence plusieurs types de savoirs :

- **Le savoir-faire incorporé** est un savoir-faire indissociable de personnes ou de groupes concrets. Il représente le résultat d'un apprentissage personnel, d'une expérience, ou d'une habileté. La caractéristique la plus importante de ce savoir-faire est qu'il n'est pas analysable c'est-à-dire que «*le travailleur sait faire, mais il ne sait pas complètement comment il sait*» (BAREL 1977).

- **Les savoirs empiriques, scientifiques et scolaires** sont les types de savoir qui ont été étudiés par (DELBOS et JORION 1984) en prenant comme exemple les métiers de la pêche, de la saliculture et de la conchyliculture comme étude de cas.
- **Le savoir technique** étudié par (CHAMOUX 1978) correspond à *«l'ensemble des connaissances et savoirs humains, conscients ou inconscients, qui permettent la mise en œuvre d'une technique. Les savoir-faire peuvent être gestuels et intellectuels, collectifs et individuels, et ils dépendent toujours à la fois des rapports des hommes entre eux et des rapports entre les hommes et les lois de la matière»*. Elle précise à propos de ce type de savoir que dans le cas des techniques industrielles, une partie de ce savoir-faire technique appartenant à l'ouvrier lui a été ôtée et a été en quelque sorte transférée dans la machine. Selon elle, «l'habilité personnelle» est moindre quand il s'agit de travailler au contact d'une machine.

L'étude des différents savoirs impliqués dans une activité est donc fortement liée à l'homme et à son rapport à l'activité en elle même.

La notion de geste technique évoque l'activité technique de l'acteur. Selon (BRIL 2019), il est possible de distinguer deux niveaux d'analyse. Le premier niveau concerne l'action qui représente un but à atteindre, et le deuxième niveau est la manière dont l'acteur va réaliser cette action, par l'intermédiaire d'une activité cognitive et sensori-motrice. Au même titre que l'activité, la gestuelle technique est fortement liée à l'acteur, l'outil et à l'environnement de travail. L'activité technique nécessite un apprentissage, elle fait donc fait partie intégrante de la notion de savoir. Comme le précise (BOUILLON, GUILLERME, MILLE et PIERNAS 2017) : *«Réfléchir sur les gestes techniques c'est se saisir de leur mode d'apprentissage comme de leur évolution»* , il s'agit donc d'une notion complexe qui implique une phase d'apprentissage, et une phase d'utilisation pour produire ou transformer.

Le geste technique ne peut être désincarné et réduit à une simple gestuelle opératoire. En effet, celui-ci permet d'étudier les attitudes, les outils employés, les schèmes d'utilisation, les matériaux employés ainsi que la notion de transmission. Le geste technique est vivant et évolue en fonction de la machine et de l'ouvrier : *«Le geste est un manifeste du métier comme savoir-faire de l'outil [...] Le geste a pour fin l'appréhension de la matière, sa transformation et la mise en valeur de l'ouvrage fabriqué»* (MILLE et PETIT 2014). L'étude du geste technique est d'autant plus intéressante quand on y associe la dimension sensorielle comme le regard, l'odeur, le bruit ainsi que le cognitif, car tout cela accompagne le geste de l'acteur ainsi que l'outil. C'est d'ailleurs ce qu'explique Anne-Françoise (GARÇON 2015) :

> *«L'analyse historique du geste technique ne peut se faire sans une relation directe, sensorielle, à la pratique [...]Tout geste technique s'inscrit dans un espace cognitif, dans une topique qui met en actes, en images, en sons et en mots, le réel sur lequel l'opérateur doit agir».*

L'étude des savoir-faire et de la gestuelle technique en complément de l'étude des artefacts nous permettent d'établir une étude complète des métiers, des acteurs associés, mais surtout de l'activité. C'est pourquoi l'étude de la gestuelle technique fait l'objet de nombreuses études sur différentes périodes comme la préhistoire (BRACCO, DUTOUR, CHENORKIAN et DEFLEUR 1992), (BEAUNE 2013), la période Greco-romaine (JOCKEY 1998), ou au XVIIIe siècle (PICON 1992), (HILAIRE-PÉREZ 2013). Ces travaux mobilisent de nombreuses disciplines notamment l'ethnologie, l'anthropologie, et l'HST. Ces recherches ont

permis l'organisation de colloques pluridisciplinaires consacrés à la thématique comme *«Valeur et fonction de la virtuosité technique des savoir-faire artisanaux et artistiques aux époques pré-industrielles*[4]*»* ou *«Conserver et transmettre les savoirs et les gestes*[5]*»* ainsi que la constitution de groupes de recherche comme *«Gestes techniques – Mémoire des métiers vivants»*.

Quand il est question de savoirs, la notion de transmission est essentielle. Ceci est particulièrement transmissible dans l'introduction du chapitre «Apprendre le geste» de l'ouvrage *«Geste technique, technique du geste»* signé par Béatrice Touchelay, il est précisé que dans l'Encyclopédie de Diderot et d'Alembert[6],qu'il faut faire la distinction entre les termes «apprendre» et «étudier» :

> *«Étudier, c'est travailler à devenir savant. Apprendre, c'est réussir. On étudie pour apprendre, et l'on apprend à force d'étudier [...] Il y a des choses qu'on apprend sans les étudier, et d'autres qu'on étudie sans les apprendre»* (BOUILLON, GUILLERME, MILLE et PIERNAS 2017).

« Apprendre » donne alors la possibilité de savoir et d'acquérir l'expertise des formateurs, c'est une activité qui peut être passive du fait d'écouter et qui s'effectue sous la direction d'une autre personne. L'étude requiert quant à elle, un effort personnel. Quand il s'agit de geste technique, il est souvent question d'apprentissage. Le geste technique vise à réaliser une action dont la maîtrise peut s'effectuer «sur le tas» ou auprès d'une personne.

Selon Patrick (FOURNIER 2005), *«il est presque impossible d'écrire une histoire des techniques purement technique.»* En effet, selon lui, un objet technique n'est plus rien si on n'aborde pas les notions de production ou d'utilisation. Pour analyser une activité, il est alors nécessaire de s'intéresser aux trois notions suivantes et donc, par conséquent, les notions de rapports homme-machine et de savoirs :

- L'artefact (L'outil, le système technique)
- Les acteurs (La personne qui a conçu l'artefact, qui l'utilise)
- Les savoirs (Les connaissances relatives à l'artefact, à son utilisation)

Dans son ouvrage *«La pièce et le geste : artisans, marchands et savoir technique à Londres au XVIIIe siècle»* Liliane (HILAIRE-PÉREZ 2013) aborde l'activité à travers ces notions en se basant sur une étude de cas liée à l'économie des «toyware[7]»à Londres. Cette étude aborde l'évolution des techniques liée aux domaines de l'horlogerie, la bijouterie et l'orfèvrerie. Plusieurs types d'activités relatives au secteur sont abordés, comme par exemple l'activité technique relative aux artisans et l'activité commerciale propre aux marchands. Les notions de chaîne opératoire, ou de processus techniques dont il est question plus tôt dans cette partie, sont abordées notamment dans le cadre d'un chapitre intitulé *«comptabilités opératoires archives des rationalités de l'action»* où il est question des «processus de travail» pour des fabrications neuves ou des opérations de réparation d'objets. Dans un article consacré à cet ouvrage dans la revue «Artefact» , Francesca (BRAY 2016) précise : *"Hilaire-Pérez calls an economy of the product, a qualitative vision in which the geste cannot be separated from its skill, nor the pièce from its design and execution."* Les travaux de

4. Maison des Sciences de l'Homme Ange-Guépin, 5 juin 2014
5. MUCEM, Janvier 2018.
6. Publiée entre 1751 et 1772.
7. Métallurgie consacrée à la fabrication d'accessoires et d'ornementation pour la décoration, l'horlogerie ou la construction navale.

Liliane Hilaire-Perez ont donc pour vocation d'aborder l'activité comme un processus où l'homme, son savoir-faire, ses gestes, et l'objet technique sont indissociables.

La question de l'activité a été également étudiée dans d'autres domaines de recherche, ce qui représente une ouverture sur la question de l'activité en HST. Nous pouvons, entre autres, citer les travaux de Vygotski et Léontiev, psychologues, Engeström, psychologue didacticien et Rabardel psychologue et ergonomiste.

De travaux ont été menés en psychologie pour le développement d'un concept qui se nomme « Théorie de l'activité » (TA). Fondée entre autre par Vygotski et Léontiev, cette théorie concerne à ses prémices l'étude sur la médiation par le langage et les processus d'apprentissage. Cette théorie évolue pour devenir la *Cultural Historical Activity Theory* ou « CHAT » (FOOT 2014) et se concentrer cette fois-ci sur la médiation à travers l'outil ou instrument, notamment dans les domaines de la technologie, de l'information et de la communication. La *Cultural Historical Activity Theory* a pour ambition de comprendre l'activité humaine en utilisant des approches des Sciences Humaines et Sociales.

La *Cultural Historical Activity Theory* se focalise sur quatre idées principales :

1. Un sujet (ou un acteur)
2. Un objet (ou un résultat souhaité)
3. L'outil ou les outils employés (les outils peuvent être matériels comme des ordinateurs, ou des protocoles, des méthodes ou des modèles)
4. Le principe de la communauté et de la communication (Les règles qui régissent les actions entre les sujets et la division du travail)

Au même titre que dans le domaine de l'HST, l'étude de l'activité n'est rien si on ne s'intéresse pas aux rapports qu'entretient l'homme avec l'artefact. Yrjö (ENGESTRÖM 2014) s'est intéressé à ces liens et a développé des études sur la théorie de l'activité dans les champs de la psychologie et de la didactique.

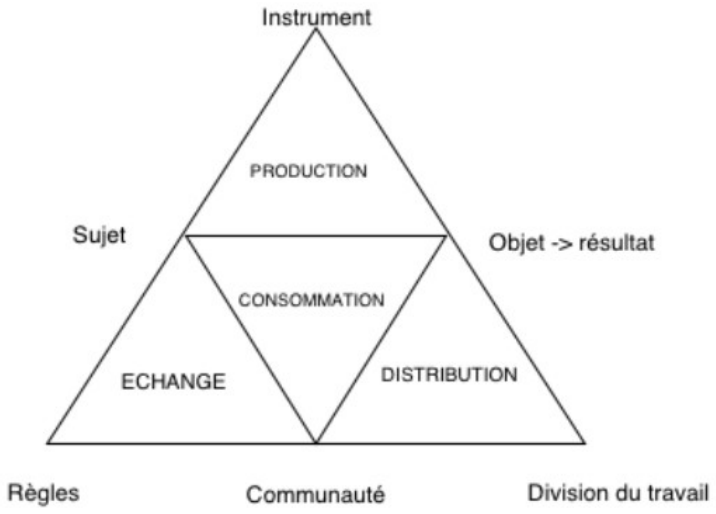


FIGURE 2.1 – Structure de l'activité par Engeström (1987) (ENGESTRÖM 2014)

Engeström propose d'étudier le concept d'activité grâce à un modèle de représentation systémique (Voir figure 2.1). La particularité de la vision de la théorie de l'activité

d'Engeström est qu'elle ne concerne pas qu'un sujet, mais une communauté qui a ses propres règles. Cette communauté est composée de personnes qui peuvent être réparties en plusieurs groupes en fonction de la division du travail. Cette communauté travaille sur un objet que l'on pourrait éventuellement associer à un objectif, un but. Pour l'auteur l'activité est divisée en quatre parties distinctes : la production, la consommation, l'échange et la distribution. Dans ses travaux, l'auteur développe ce qu'il appelle « *les contradictions* » qui sont des sources de modifications et de développement de l'ensemble des systèmes. Il s'agit de perturbations concernant l'utilisation d'un outil, comme par exemple un manque d'efficacité qui va nécessiter sa modification ou son remplacement. Ces « contractions » peuvent également être liées à l'environnement de travail où au contexte de l'activité.

Si la notion d'activité est présente dans les travaux d'histoire des sciences et des techniques, notamment en ce qui concerne la relation de l'homme avec le système technique ou encore les savoir-faire impliqués dans une activité, des travaux ont également été menés en psychologie et en ergonomie et permettent d'approfondir l'étude e ces notions.

Pierre (RABARDEL 1995) s'est penché sur l'étude du concept d'activité au travers de la relation qu'entretient l'homme avec la technologie. Dans son ouvrage,«*Les hommes et les technologies : approche cognitive des instruments contemporains*», (RABARDEL 1995) étudie les rapports des hommes face aux technologies dans de multiples disciplines de recherche comme la psychologie, l'informatique, ou encore la technologie. Rabardel propose de conceptualiser les formes contemporaines de l'association des hommes et des objets. Pour lui, l'instrument ne se réduit pas à l'objet, matériel ou symbolique, il comprend aussi les concepts sociaux d'utilisation qui y sont associés et doivent être construits ou appropriés par les utilisateurs.

L'auteur s'intéresse à trois approches :

- **L'approche technocentrique** est une approche qui est centrée sur la machine. Dans ce cas-là, c'est l'homme qui doit s'adapter à la machine. Dans ce cas-là, l'activité humaine est vue comme un résidu c'est-à-dire quelque chose qui n'a pas vraiment de valeur, d'intérêt. Il précise à ce propos «*l'homme occupe un espace de plus en plus restreint*» (RABARDEL 1995). La place de l'homme est résiduelle car il hérite simplement des tâches trop complexes qui ne peuvent pas être faites par des machines.
- **L'approche anthropocentrique** est tout le contraire, elle est centrée sur l'homme et ses besoins et c'est la machine qui doit s'adapter à l'homme. Le principe de cette approche c'est une recentration sur l'homme et son activité, on compte sur lui pour rendre la technique plus performante. Avec cette approche, on aborde une autre conception des rapports entre les hommes et les systèmes techniques. Contrairement à l'approche technocentrique, cette fois-ci les machines sont pensées en fonction des hommes et non plus l'inverse.
- **L'approche instrumentale** est en quelque sorte une combinaison des approches technocentriques et anthropocentriques, car la machine et l'homme s'adaptent ensemble. L'approche instrumentale permet la compréhension de la relation aux objets techniques à travers leur usage. Les artefacts existent à travers l'activité et sont constamment transformés par cette même activité. L'artefact change donc les aspects opérationnels, mais aussi les aspects de la pratique.

Ces travaux sur la notion d'activité menés dans les domaines de la psychologie, de la didactique et de l'ergonomie permettent une ouverture pour l'HST.

Nous pouvons compléter en précisant qu'une activité est réalisée dans un but conscient et dans un environnement matériel qu'elle transforme au fur et à mesure ce qui devient par association un phénomène de développement historique. Cela rappelle fortement la définition du paysage culturel évolutif proposée par l'UNESCO dont nous avons fait référence plus tôt.

Dans le cadre de ce projet de thèse, une étude approfondie des notions d'«artefact», d'«acteur» et de «savoir» sera proposée pour permettre de comprendre et modéliser l'activité au sein des arsenaux en tant que paysages culturels industriels et des macro-systèmes technologiques complexes.

2.4 Les ports en tant que paysages culturels industriels et macro-systèmes technologiques complexes

2.4.1 Les macro-systèmes technologiques complexes

L'objet de ce projet de recherche en Histoire des Sciences et des Techniques est de décrire et comprendre l'évolution des arsenaux de Brest et de Venise que l'on considère comme des macro-systèmes technologiques complexes.

Ce qui fait la particularité du macro-système complexe est qu'il est composé d'entités complexes elles-mêmes composées d'objets techniques ou artefacts, de savoirs ainsi que d'acteurs. Ces éléments du système sont parfaitement liés et interagissent entre eux.

Les grands systèmes technologiques subissent des changements même s'ils possèdent parfois de longues périodes de stabilité. Thomas Parke (HUGHES 1993), un historien américain spécialisé dans le domaine des technologies est considéré comme le « père fondateur » de l'étude des macro-systèmes technologiques. Dans son ouvrage « *Networks of power*» publié en 1983, il prend l'exemple du développement des réseaux d'électricité aux États-Unis afin de mettre en exergue les réseaux de connaissances scientifiques et technologiques ainsi que les réseaux institutionnels qui en émanent. Son analyse sur les réseaux a une grande influence dans l'étude des technologies, il développe alors le concept de « *Large Technical System* » (LTS) dont il identifie trois principales caractéristiques :

1. Le système est constitué d'un certain nombre de pièces ou de composants qui forment différents biens d'équipement.
2. Ces composants sont reliés par une structure ou un réseau pour former un système complexe. Parce que les composants sont liés par le réseau et des interconnexions, les changements dans l'activité ou la conception d'un composant à un impact sur les autres composants du système.
3. Un composant de contrôle est utilisé pour optimiser l'efficacité du système et diriger le système vers la réalisation des objectifs.

Hughes propose des concepts systématiques généralisables à d'autres systèmes d'échelle et justifie la délimitation des systèmes technologiques à d'autres systèmes sociaux, qu'ils soient petits ou grands . Sa vision des systèmes technologiques est donc compatible avec la nôtre.

Des auteurs comme Jacques (ELLUL 1977) et Andrew (DAVIES 1996) ont poursuivi les recherches de Hughes sur le LTS. Selon eux, un système est constitué de différents composants, qui sont liés entre eux par un réseau, afin de former un système complexe. Les composants étant en relation les uns avec les autres, toute modification de l'un provoque une modification de l'ensemble et vice versa.

Pour établir et comparer le cycle d'évolution et les pratiques des deux arsenaux de cette étude du point de vue scientifique et technologique depuis leur création, nous nous appuyons sur des d'indicateurs spécifiques comme les grues et des unités de production industrielle comme les forges ou les corderies. Ces artefacts vont nous permettre d'étudier leur évolution d'un point de vue technique et technologique. Pour qualifier ces artefacts, nous utilisons une définition de Pierre (RABARDEL 1995) :

> *«Nous lui donnerons un contenu plus précis que celui de "chose ayant subi une transformation d'origine humaine". En effet, ce qui nous intéresse, c'est la chose susceptible d'un usage, élaborée pour s'inscrire dans des activités finalisées »*

Cette définition rend bien compte que l'artefact n'est pas simplement transformé par l'homme, il est fortement lié à l'activité elle-même et à tout ce qui en découle.

A notre connaissance, avant le développement de la thématique «Histoire comparée des paysages culturels industriels» du laboratoire Centre François Viète [8], ainsi que la thèse de Bruno Rohou, les ports n'avaient pas été étudiés comme macro-système technologique complexe. Le but de ses travaux, et de ceux que nous présentons ici, est de montrer qu'un port ou un arsenal est constitué de nombreux éléments reliés par une structure afin de constituer un système complexe et qu'il s'agit également d'un objet industriel au sens large alloué d'une organisation de flux de matières.

L'étude des arsenaux et de nos indicateurs spécifiques qui sont des systèmes techniques a pour ambition d'étudier l'activité humaine qui y est associée et qui constitue une très grande partie de nos travaux.

En étudiant les définitions d'un port-arsenal, nous pouvons nous rendre compte qu'un arsenal possède toutes les caractéristiques d'un macro-système technologique complexe. En effet, l'arsenal est un espace défini, clos et doté de plusieurs artefacts. Ces artefacts sont par exemple des unités de productions industrielles comme des forges ou des corderies ou des systèmes techniques comme des grues. Ils occupent tous une fonction bien précise au sein de l'arsenal et sont tous en relation les uns avec les autres. L'arsenal est également doté d'une organisation de flux de matières, rendue possible par un réseau de communication. Ces réseaux concernent le trafic des bateaux au sein du port et les réseaux routiers et ferrés permettant le transport de marchandises jusqu'au port. Le port-arsenal est donc un artefact autour duquel s'organise un réseau de flux, ce qui en fait donc un macro-système technologique complexe.

2.4.2 La définition d'un port-arsenal

Notre étude sur les macro-systèmes technologiques complexes a pour objectif d'étudier l'évolution scientifique et technologique de deux arsenaux. Mais avant d'avancer dans notre réflexion il est essentiel de nous pencher sur la définition exacte du terme « arsenal » mais également de faire la distinction entre un « port » et un « arsenal ».

La définition exacte qui est donnée du port dans sa plus grande généralité est celle-ci : [Le port est composé d'] *« une rivière, un petit bras de mer, une anse défendue par l'art ou par la nature contre l'impétuosité des vents et celle des flots, et contre l'attaque des ennemis, où l'on peut faire en sûreté toutes les opérations relatives à l'armement, au désarmement, à la construction et au radoub des vaisseaux, forment un port ou un havre»* (BLONDEAU et DU CLAIRBOIS 1783). Selon l'encyclopédie méthodique de la Marine de 1783 il existe différents types de ports :

8. Dans le cadre de cours de master, de communications et l'organisation de séminaires

> *«On distingue des ports de trois espèces différents, les uns sont destinés uniquement aux opérations de la marine militaire ; ils s'appellent les grands ports ou ports du roi ; les autres ne recèlent que des navires du commerce, et ils sont appelés ports marchands ; enfin ceux qui remplissent à la fois cette double définition, sont désignés par la qualification de ports mixtes»* (BLONDEAU et DU CLAIRBOIS 1783).

Dans notre étude nous nous intéresserons aux grands ports ou ports du roi que l'on appelle également des arsenaux. La définition qui est donnée dans l'encyclopédie méthodique est celle-ci : *«Un arcenal ou arsenal de Marine est un enclos où est compris un port de mer appartenant au gouvernement, où il tient les vaisseaux et tout ce qui est propre à les construire, à les conserver, à les armer, les désarmer, les radouber»* (BLONDEAU et DU CLAIRBOIS 1783). Dans un autre ouvrage il est également précisé : *«Enceinte fermée de toute part, dans laquelle, sur le bord d'une rivière ou sur le rivage de la mère, sont établis des chantiers de construction, des magasins, des ateliers de toutes sortes, nécessaires à la construction, à l'armement, au radoub et à l'approvisionnement des navires de guerre»* (JAL 1848).

Les caractéristiques des arsenaux sont donc les suivants :

- Un port appartenant au gouvernement et consacré à la marine militaire
- Un port destiné à la construction et à la réparation des bateaux militaires
- Un port regroupant des unités de productions industrielles destinées au fonctionnement de la marine militaire

2.4.3 Notre définition du port-arsenal

Après avoir étudié les différentes définitions d'un port et d'un arsenal, nous pouvons proposer à présent notre propre définition d'un arsenal dans le cadre de notre étude :

1. Un arsenal possède toutes les caractéristiques d'un système complexe : il s'agit d'un système clos, mais en relation avec l'extérieur. Le port est composé de nombreux petits systèmes techniques, organisés en réseaux, dans le but de gérer des flux de matières, de marchandises, d'énergies.
2. Les arsenaux de Brest et de Venise que nous étudions dans ce projet de recherche sont des macro-systèmes complexes. Ils sont tous deux affectés à la fabrication des navires ainsi qu'à leur entretien. Ils sont ainsi constitués d'ateliers, d'outils, d'espaces de stockage, ainsi que de voies de communication. Nous allons dans cette étude, nous intéresser à certains artefacts, comme les engins de levage et deux types d'unités de production industrielle : les corderies et les forges.

La présente thèse consiste à construire une histoire comparée des arsenaux de Brest et de Venise. Après avoir défini les caractéristiques d'un port-arsenal et d'avoir défini notre propre définition, nous allons présenter un ensemble de travaux concernant la comparaison des ports en histoire ainsi que l'étude de leur évolution.

2.5 Histoire comparée et modélisation des ports

2.5.1 L'histoire comparée des paysages portuaires

Pour bâtir une histoire comparée entre les arsenaux de Brest et de Venise, il est nécessaire de s'appuyer sur des indicateurs spécifiques qui sont assimilés à des démonstra-

teurs. Ces indicateurs, qui sont de même type dans les deux lieux de l'étude, sont représentatifs de l'activité (Voir chapitre 5). Dans le cadre de cette présente étude, nous avons sélectionné des indicateurs de deux types :

- Des indicateurs liés à la mobilité (un pont tournant, différents types de grues)
- Des unités de production industrielle (les corderies, les forges)

Ces indicateurs vont nous permettre de réaliser une étude approfondie sur l'évolution scientifique et technique des arsenaux.

Amélia Polónia professeur au département d'histoire, d'études politiques et internationales à l'Université de Porto au Portugal, membre du centre de recherche CITCEM et du groupe « Mémoire et identité » qui se consacre à l'étude des identités sociales et culturelles et à l'étude du patrimoine. Polónia a beaucoup travaillé sur l'histoire comparée des ports en histoire. Son article «Les petits ports dans le système portuaire européen à l'Âge Moderne (XVIe.-XVIIIe. Siècles) » (POLÓNIA 2018) constitue un très bon état des lieux sur le domaine. Selon Polónia, *« d'après le concept de système portuaire un port est considéré en toute sa complexité : humaine, sociale, urbaine, logistique et économique »*. Pour appuyer son développement, elle prend en compte les travaux d'autres chercheurs ayant travaillé sur la thématique.

Gordon Jackson (JACKSON 2007) a consacré une partie de ses recherches sur les ports. Selon lui, nous pouvons les classer par hiérarchie :

- Les ports majeurs : Il s'agit des ports les plus importants qui sont essentiellement des ports commerciaux. Ils ont une très grande flotte, des infrastructures conséquentes ainsi qu'un flux de communication longue distance.
- Les ports moyens : Il s'agit des ports ayant une influence régionale, voire locale, avec des navires de faible capacité
- Les petits ports (appelés «unsignifiant-port») : Qui possèdent un hinterland limité et peu de relations avec l'extérieur. Ils sont clairement dominés par les autres types de ports.

Afin d'étudier le développement des ports en tant que « système » et mettre au point une étude pertinente, Jackson a travaillé sur de nombreux ports britanniques comme Aberdeen, Leith, Glasgow, Liverpool, Londres, ou encore Cardiff. Pour lui, il y a neuf points essentiels à étudier :

1. L'Hinterland : (ou arrière-pays) Quel est son potentiel économique ? Son développement ? Comment sa population a-t-elle évolué ; Quels ont été les développements en matière de transport ?
2. Leur but : Quels services offrent-ils dans l'arrière-pays ? Quel rôle les ports ont-ils joué dans l'alimentation de leur arrière-pays ?
3. Leur peuple : Qui étaient les travailleurs du port ? A-t-on fait appel à des travailleurs de l'étranger ? Comment ont-ils été recrutés et formés ?
4. Leur expédition : A qui les navires appartenaient-ils ? Ont-ils été construits localement ?
5. Leur capacité financière : Comment étaient les finances du port ? A-t-on obtenu des financements extérieurs ?
6. Leurs industries portuaires : Importait-on des matières premières à l'international ?
7. Leur soutien National : L'État a-t-il subventionné le commerce ou les installations portuaires ?

8. Leurs installations portuaires : Quelle est la situation topographique et la structure du port ? Qui possédait et gérait les installations portuaires ? Y avait-il suffisamment d'espace pour l'entreposage des marchandises ? S'agissait-il d'une propriété publique ou privée ?
9. Leur vie sociale : Comment ce système portuaire s'est-il différencié des autres villes ?

L'approfondissement de ces neuf points permet d'établir une étude pertinente des ports en tant que systèmes et rend possible une comparaison avec d'autres systèmes portuaires du même type.

D'autres auteurs ayant travaillé sur le domaine, (FISCHER et JARVIS 2017), proposent de compléter l'analyse de Jackson en proposant quant à eux différentes typologies en fonction de la nature du commerce et du trafic.

Avec la mondialisation et la révolution des transports, de nombreuses études sur la place des ports dans l'économie ont fait leur apparition. C'est le cas avec (ROBINSON 2002) qui propose d'étudier les chaînes d'approvisionnement et les voies logistiques dans lesquelles les ports sont intégrés. Selon lui, les ports doivent être considérés comme des éléments d'un système de chaînes de valeur, et non seulement comme des lieux ayant des fonctions spécifiques. L'extension des zones portuaires a redéfini le rôle des ports dans les chaînes d'approvisionnement et ont engendré un nouveau type de système. Pour démontrer cela, (LEE, SONG et DUCRUET 2008) proposent dans un article une étude comparative de deux ports en empruntant le point de vue asiatique, ainsi qu'en se concentrant sur le cas particulier des villes portuaires Hong-kong et Singapour.

Avec l'évolution du commerce et des techniques, les ports évoluent et de nombreuses connexions se mettent en place entre les différents pays. De nombreux travaux préconisent alors des études comparatives entre plusieurs zones du globe. Guy (SAUPIN 2016) propose d'étudier les grands ports de commerce de l'Espagne, de la Grande-Bretagne ainsi que de la France pour percevoir les hiérarchies de ses ports et les comparer, le but étant de comprendre si ces hiérarchies sont communes ou non.

Certaines études sur les ports prennent le parti d'intégrer la ville à l'étude du port. C'est le cas avec l'étude des villes portuaires de Calcutta et de Singapour (TAN 2007) . Cette étude examine comment les trajectoires historiques de ces deux villes ont été influencées par leur caractère maritime ainsi que l'évolution de leurs relations avec leurs arrière-pays respectifs.

L'étude de (WOO, PETTIT, KWAK et BERESFORD 2011) est particulièrement intéressante en ce qui concerne l'étude comparative des ports. En effet, leur étude reprend toute la littérature portuaire publiée entre 1980 et 2000. Il s'agit d'une étude méthodologique qui vise à classer les différents travaux sur le sujet en fonction des questions méthodologiques telles que les exemples utilisés, la méthode de recherche, ainsi que les techniques d'analyse.

Dans le cadre de cette étude, nous bâtissons une histoire comparée entre deux arsenaux de deux pays : l'arsenal de Brest en France et l'arsenal de Venise en Italie. Cette histoire comparée a pour vocation principale d'étudier les cycles d'évolution des deux ports. Pour cela, nous nous intéresserons à de nombreux travaux issus pour la plupart de la géographie pour modéliser ces évolutions.

2.5.2 Modéliser pour comparer l'évolution des paysages portuaires.

Ce projet de recherche sur l'étude des arsenaux de Brest et Venise concerne, comme nous l'avons précisé plus tôt, des paysages culturels évolutifs, selon la classification de

l'UNESCO. Afin d'amorcer notre étude comparative, nous avons sélectionné deux types d'indicateurs communs aux deux lieux d'étude : les indicateurs liés à la mobilité comme les grues, et deux types d'unités de production industrielle, les forges et les corderies.

Afin de travailler sur l'étude de l'évolution de nos deux arsenaux, nous allons nous pencher sur les travaux des géographes. Au même titre que la thèse de Bruno Rohou, nos travaux vont s'intéresser au travail de (BIRD 1963). Bird a travaillé sur l'évolution spatiale du port en prenant en compte les liens qui unissent le port et la ville. Particulièrement focalisé sur l'étude des infrastructures portuaires, Bird part du principe que leur étude permet de proposer une périodisation des ports. Pour cela, il met au point un modèle d'évolution qu'il nomme ANY-PORT qu'il applique dans une étude de cas sur des ports britanniques. Ces travaux ont été en grande partie inspirés par les travaux de F.W. (MORGAN 1952) .

Le modèle théorique ANY-PORT se distingue en trois étapes successives permettant d'étudier l'évolution des ports (Voir figure 2.2) :

1. L'établissement initial du port en raison d'une situation géographique optimale
2. L'expansion du port généralement causé par la révolution industrielle et l'augmentation de l'activité
3. La spécialisation qui correspond à une vague de travaux comme la construction de quais ou de bâtiments liés à l'activité du port

Même si le modèle ANY-PORT n'est pas une généralité, il peut représenter une base dans le but d'étudier les ports à grande échelle. Ce qui fait son intérêt, c'est que ce modèle ne s'intéresse pas qu'au port, mais bel et bien aux relations qu'il entretient avec le milieu urbain dans lequel il se trouve.

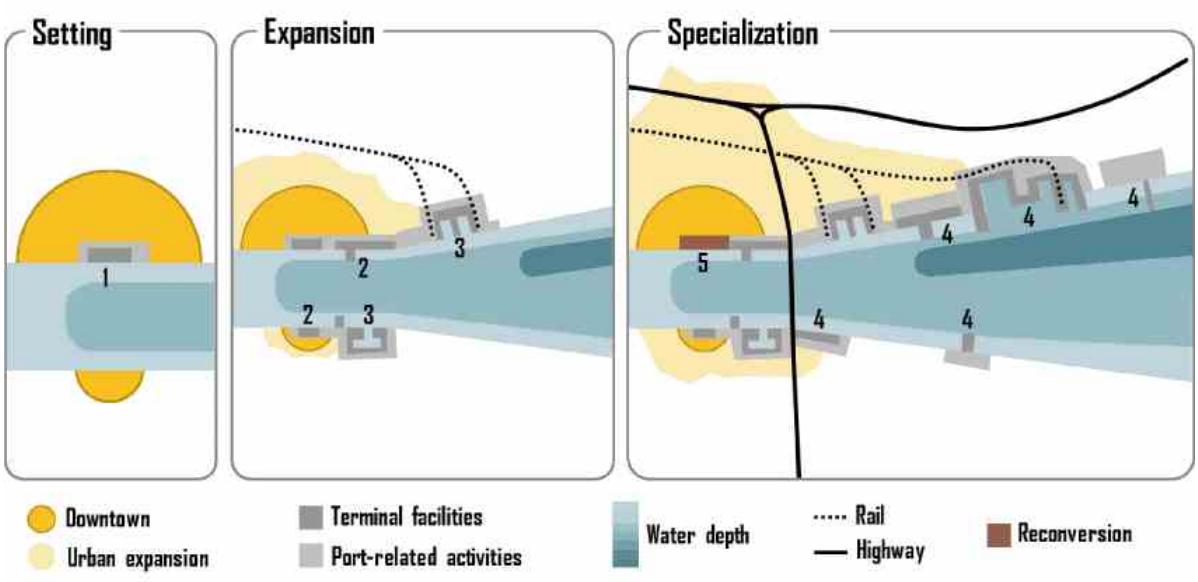


FIGURE 2.2 – Schéma du modèle ANY-PORT par Bird (1963) (RODRIGUE, COMTOIS et SLACK 2009)

Les travaux sur l'évolution des ports de Bird ont amorcé les travaux d'autres chercheurs qui se sont également intéressés au sujet. Cinq ans après le modèle ANY-PORT, Hoyle propose de tester le modèle de Bird en l'appliquant à des ports est-Africains comme Tanga ou Zanzibar. Quelques années plus tard, (Brian S HOYLE 1968) complète le modèle et décide de se concentrer sur la relation qu'entretiennent la ville et le port. Ce modèle

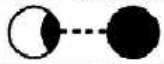
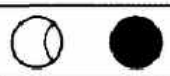
STAGE	SYMBOL ○ City ● Port	PERIOD	CHARACTERISTICS
I Primitive port/city		Ancient/medieval to 19th century	Close spatial and functional association between city and port.
II Expanding port/city		19th–early 20th century	Rapid commercial/industrial growth forces port to develop beyond city confines, with linear quays and break-bulk industries.
III Modern industrial port/city		Mid–20th century	Industrial growth (especially oil refining) and introduction of containers/ro-ro (roll-on, roll-off) require separation/space.
IV Retreat from the waterfront		1960s–1980s	Changes in maritime technology induce growth of separate maritime industrial development areas.
V Redevelopment of waterfront		1970s–1990s	Large-scale modern port consumes large areas of land/water space; urban renewal of original core.
VI Renewal of port/city links		1980s–2000+	Globalization and intermodalism transform port roles; port-city associations renewed; urban redevelopment enhances port-city integration.

FIGURE 2.3 – Le modèle d'évolution du port par (Brian Stewart HOYLE 1989)

permet de constater les liens liant la ville et le port en fonction des époques. La séparation, ou au contraire, la fusion de la ville et du port sont directement liées à l'activité portuaire, mais également aux flux.

Peter J.(RIMMER et al. 2007) , un géographe australien, travaille lui aussi sur le lien ville-port. Il propose en 1967 un modèle de développement permettant d'illustrer l'évolution des liens entre les ports et les villes en cinq étapes successives.

Bien plus récemment, (NOTTEBOOM et RODRIGUE 2005) ont encore amélioré les modèles de Bird et Hoyle pour y ajouter une phase qu'ils définissent comme la « régionalisation » qui permet de mieux comprendre la relation entre le port et son Hinterland. Il existe à ce jour de très nombreux travaux de géographes sur l'évolution des ports (MARNOT 2011), (VIGARIÉ 1984), (DUCRUET 2005),(ROZENBLAT et al. 2004). Ces travaux, qui permettent de comprendre les relations entre les villes et les ports ainsi que l'évolution des sites portuaires sont particulièrement intéressants pour permettre de modéliser une évolution.

2.5.3 La modélisation des ports dans le cadre de ces travaux de thèse

Les différentes références que nous avons données dans cet état de l'art, ainsi que la bibliographie particulièrement complète proposée par Polónia ne concernent que l'étude comparative des ports de commerce. En effet, il n'existe à ce jour, pas d'étude comparative et complète en ce qui concerne les ports militaires. De plus, l'étude comparative des ports concerne le plus souvent des domaines comme la géographie ou encore l'économie et non pas l'HST. L'ambition de faire une histoire comparée des arsenaux de Brest et de Venise est de mettre en lumière l'évolution de ces ports à partir d'indicateurs liés à l'activité portuaire et de dégager ainsi des tendances communes entre les deux macro-systèmes techniques.

Dans le cas de nos travaux sur les arsenaux, nous ne sommes pas concernés par toutes les données utilisées par les géographes les réseaux de transports ou certains types de constructions tels que les quais. Nous utiliserons donc les modèles des géographes présentés ici (et en l'occurrence ceux de Bird et Hoyle) pour étudier l'évolution de nos ports à travers les indicateurs spécifiques que nous avons sélectionnés comme les grues et les

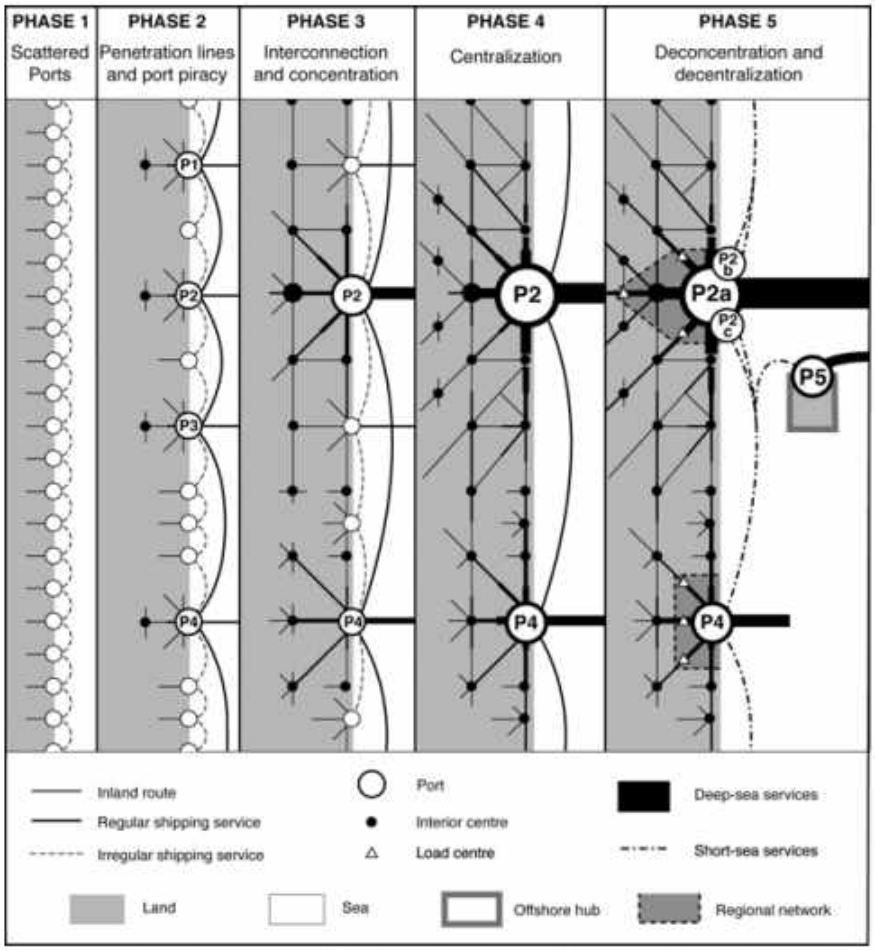


FIGURE 2.4 – Le modèle de développement des ports par Peter J.Rimmer (RIMMER et al. 2007)

unités de production industrielle. Ces modèles vont nous permettre de périodiser nos ports en étudiant les infrastructures ainsi que l'organisation même du lieu. Les indicateurs que nous avons sélectionnés pour ces travaux sont des indicateurs pertinents pour l'HST et vont nous permettre d'étudier la transformation des paysages culturels et industriels que représentent les arsenaux au fil des époques.

Il est tout de même important de préciser que les modèles que nous avons présentés ici ne prennent pas en compte le concept d'activité humaine qui est pour nous central dans notre étude. Nous montrerons donc à travers ces modèles d'évolution que l'étude des artefacts, des acteurs et des savoirs associés permet également une périodisation du port. Pour cela, nous allons proposer notre propre modèle d'évolution inspiré du modèle de Bird, HST-PORT que nous développerons dans le chapitre 5.

2.6 Positionnement de la thèse vis-à-vis de l'Histoire des Sciences et des Techniques

Le Centre François Viète de Brest travaille sur la thématique *«Histoire comparée des paysages culturels industriels et Humanités numériques»*. C'est dans ce cadre qu'a travaillé Bruno (ROHOU 2018) avec sa thèse intitulée *«Modélisation des ports de Brest (France), Rosario et Mar del Plata (Argentine) en tant que macro systèmes technologiques complexes. Application à la modélisation des connaissances pour le web sémantique pour l'histoire des sciences et des techniques»*.

La thèse de Bruno Rohou et ce projet de thèse se situant dans la même thématique de laboratoire, il est intéressant de procéder à une étude comparative afin de mettre en évidence les analogies, les différences ainsi que les spécificités de chaque projet (Voir figure 2.5).

La thèse de Bruno Rohou se situe dans les domaines de l'HST et des HN avec une part importante d'ingénierie des connaissances. La problématique de la thèse est de bâtir une histoire comparée sur un grand nombre de ports, impliquant la construction et la validation de nouvelles méthodes de travail en HN. Les objectifs de ce projet sont doubles :

- Édifier une histoire comparée des paysages culturels industriels sélectionnés pour l'étude
- Produire une ontologie pour faire de l'histoire comparée d'un grand nombre de ports qui puisse être réutilisable

Pour répondre à ces objectifs, une méthodologie spécifique a été mise en place. D'un point de vue HST, le méta-modèle ANY-ARTEFACT et ses deux composantes, le modèle d'activité et le modèle HST-PORT permettant d'étudier les cycles de vie a été utilisé (Voir chapitre 5). En HN, des travaux impliquant l'ingénierie des connaissances ont été développés notamment en ce qui concerne le développement de l'ontologie PHO (*Port Ontology History)* qui est construite à partir du CIDOC-CRM.

Pour procéder à une étude comparative des ports de l'étude permettant le développement de l'ontologie PHO, des indicateurs spécifiques sont sélectionnés. Ceux-ci sont de trois types, et sont représentatifs des paysages culturels portuaires : des engins de levage, des quais, et des unités de stockage. Un certain nombre de caractéristiques de ces indicateurs sont étudiées d'un point de vue HST afin d'«alimenter» l'ontologie. L'étude des engins de levage permet de mettre en évidence un certain nombre de critères comme les types d'énergie ou encore les puissances de charge, pour les quais la longueur, la profondeur, ainsi que le type de construction impliqué, et enfin, les unités de stockage la

	Bruno Rohou	MM. Abiven
Titre de la thèse	Modélisation des ports de Brest (France), Rosario et Mar del Plata (Argentine) en tant que macro systèmes technologiques complexes. Application à la modélisation des connaissances pour le web sémantique pour l'histoire des sciences et des techniques	Humanités numériques et méthodes de conservation et de valorisation des patrimoines maritimes. L'exemple des arsenaux de Brest et Venise
Problématique de la thèse	Comment bâtir une histoire comparée sur un grand nombre de ports, impliquant de construire et de valider de nouvelles méthodes de travail en humanités numériques.	Comment modéliser l'activité des paysages culturels industriels pour la médiation dans le champ de l'histoire comparée et des Humanités Numériques?
Domaines de recherche	Histoire des Sciences et des Techniques, Humanités Numériques (Ingénierie des connaissances)	Histoire des Sciences et des Techniques, Humanités Numériques (Ingénierie des connaissances, Réalité Virtuelle) et Médiation
Types de paysages culturels étudiés	Ports de commerce	Ports militaires (arsenaux)
Objectifs de la thèse	Bâtir une histoire comparée des paysages culturels industriels Produire une ontologie pour faire de l'histoire comparée d'un grand nombre de ports	Bâtir une histoire comparée des paysages culturels industriels Développer une méthode impliquant les humanités numériques pour le développement d'un outil dédié à la médiation centré sur l'activité.
Indicateurs sélectionnés pour l'étude	Engins de levage, quais, unités de stockage	Indicateurs liés à la mobilité (engins de levage, pont tournant) et unités de production industrielle (forges et corderies)
Caractéristiques étudiées des indicateurs	**Engin de levage :** type d'énergie, puissance de charge **Quai :** longueur, profondeur, type de construction **Unités de stockage** (ex du silo à céréales) : Capacité maximale de stockage	**Engins de levage :** Epoque d'utilisation, matériaux utilisés, type d'énergie, mécanisme, puissance de charge, type de mission, main d'œuvre nécessaire, procédures et savoirs concernés, projets de patrimonialisation de l'artefact **Unités de production industrielle :** Vocation de l'unité de production industrielle, période d'activité, type de production, usages de la production, types de machines utilisées, métiers, procédures et savoirs concernés, projets de patrimonialisation de l'unité
Méthodologies employées	**Histoire des Sciences et des Techniques :** Métamodèle HST ANY-ARTEFACT (Modèle d'activité + Modèle HST-PORT) **Informatique :** Ontologie PHO à partir du CIDOC-CRM	**Histoire des sciences et des Techniques :** Métamodèle HST ANY-ARTEFACT (Modèle d'activité + Modèle HST-ARSENAL) **Informatique** : Métamodèle MASCARET et plateforme ARCHES

FIGURE 2.5 – Tableau de comparaison des thèses de Bruno Rohou et M.M Abiven

capacité maximale de stockage.

Cette thèse présente un certain nombre d'analogies avec la thèse de Bruno Rohou. En effet, celle-ci est consacrée aux paysages culturels industriels que sont les ports et se situe également dans les domaines de l'HST et des HN. Toutefois, malgré ces points-communs, la seconde thèse s'intéresse à un autre type de port, les arsenaux militaires. De plus, le domaine des HN est consacré à l'ingénierie des connaissances, certes, mais également à la RV.

La problématique de la thèse est de modéliser l'activité des paysages culturels industriels pour la médiation dans le champ de l'histoire comparée et des HN. Un troisième domaine de recherche est donc impliqué : la médiation. Pour répondre à cette problématique, la thèse possède également deux objectifs :

- Construire une histoire comparée des paysages culturels industriels
- Développer une méthode impliquant les HN pour le développement d'un outil dédié à la médiation centré sur l'activité.

Le premier objectif est identique à celui de la thèse de Bruno Rohou. le second implique quant à lui des méthodologies impliquant l'ingénierie des connaissances, la RV et la médiation.

Au même titre que la précédente, cette thèse base son étude comparée sur des indicateurs pertinents de deux types : Des indicateurs liés à la mobilité comme des engins de levage et un pont tournant, et des unités de production industrielle représentatives des arsenaux, des forges et des corderies. Les engins de levage sont également étudiés dans le cadre de la thèse de Bruno Rohou.

D'un point de vue méthodologique, le modèle ANY-ARTEFACT est de nouveau employé. Cependant, le modèle HST-PORT est enrichi d'une étape de cycle de vie, l'étape de «patrimonialisation» [9]. Du point du vue informatique, des ontologies ont été développées à partir du CIDOC-CRM, l'ontologie générique ANY-ARTEFACT-O, et l'ontologie spécialisée Forge-o. Cependant, l'objectif de la seconde thèse étant de développer un EVI pour la conservation et la valorisation du patrimoine, ces travaux ont été complétés par l'utilisation du méta-modèle MASCARET qui est dédié aux Environnement Virtuels et la plateforme ARCHES permettant d'instancier les informations sur les indicateurs sélectionnés.

Les deux projets de recherche présentés dans le tableau de la figure 2.5 affichent donc un certain nombre d'analogies :

1. Elles impliquent des travaux en HST et en HN
2. Elles sont consacrées à des paysages culturels portuaires et industriels en tant que macrosystèmes technologiques complexes
3. Elles ont pour objectif de bâtir une histoire comparée en s'appuyant sur des indicateurs pertinents
4. Elles utilisent le méta-modèle ANY-ARTEFACT
5. Elles impliquent le développement d'ontologies

Malgré les nombreux points communs, ce projet de recherche se distingue sur un certain nombre de points :

1. Le domaine des HN comprend des travaux en ingénierie des connaissances couplés avec des travaux en RV pour le développement d'un outil consacré à la médiation. Cela implique des travaux sur les usages de ce type de technologies.

9. Une partie du chapitre 5 détaillera l'étape d'enrichissement du modèle HST-PORT en HST-ARSENAL.

2. La question de la valorisation et de la conservation du patrimoine maritime se trouve au coeur de ce projet ce qui a conduit à un enrichissement du modèle HST-PORT.
3. L'histoire comparée à travers l'étude des indicateurs, ainsi que le développement de l'EVI place la question de l'activité au coeur des réflexions ce qui n'était pas le cas dans la thèse de Bruno Rohou.

La thèse de Bruno Rohou, soutenue en 2018, a ouvert la voie à des travaux mêlant à la fois l'HST et les HN. Celle-ci a également permis de tester la pertinence du méta-modèle ANY-ARTEFACT développé par le Centre François Viète. La thèse *«Humanités Numériques et méthodes de conservation et de valorisation des patrimoines maritimes. L'exemple des arsenaux de Brest et de Venise»* se place donc dans la continuité des travaux amorcés précédemment tout en développant de nouvelles méthodologies consacrées aux notions de conservation et de valorisation, à l'étude de l'activité et à la construction de nouveaux outils impliquant plusieurs domaines de recherche.

La question de l'activité est véritablement au coeur de ce projet de recherche. L'étude des notions d'artefact, d'acteur et de savoirs représente alors une part très importante des recherches en HST. En 1998 (EDGERTON 1998) propose de faire un état des lieux des dix thèses traitant de l'innovation et des usages en HST, notions également abordées dans cette thèse.

Les objectifs de cet article, sont de préciser les règles tacites essentielles à l'HST, mais également d'expliciter le plus finement possible des notions et des concepts clefs de la discipline. Ces thèses sont interdépendantes et forment une argumentation d'ensemble et permettent, selon l'auteur, de donner une image de l'histoire des techniques très différente de celle que l'on trouve dans la plupart des travaux actuels. Dans les thèses proposées, Edgerton met le doigt sur des orientations essentielles à prendre en considération pour faire de l'HST abordant la question des usages.

Ce projet de recherche traite des systèmes techniques et par conséquent, des usages. Il semble alors pertinent d'étudier son positionnement par rapport à certaines de ces thèses notamment en ce qui concerne trois sujets particuliers : La prise en compte des techniques anciennes et l'étude sur le long terme, la prise en compte de l'histoire générale et des faits historiques dans l'étude des techniques, et enfin, l'étude des choix techniques.

Dans la thèse 1, Edgerton avance que la plupart des écrits en HST abordant les relations entre techniques et société traitent de l'innovation et de l'émergence de nouvelles techniques. Selon lui, ces travaux ne distinguent pas ces sujets de l'étude des techniques plus anciennes. En effet, selon lui, ces techniques sont considérées comme *«démodées obsolètes ou résiduelles»* et n'ont donc que peu d'intérêts. Dans le cas de ce projet de recherche,toutes les techniques sont prises en compte, afin d'établir une périodisation pertinente des paysages culturels industriels que sont les arsenaux de Brest et Venise.

Dans la thèse 4, l'auteur met le doigt sur le fait que certaines études portant sur les techniques ne prenaient pas suffisamment en compte les problèmes posés par l'histoire générale. L'étude historique générale du lieu de l'étude, impliquant les évènements historiques, politiques, sociaux ou économiques est pourtant essentielle à l'étude des techniques et des usages. Dans le cas de l'étude des indicateurs des arsenaux de Brest et Venise, aucune frontière n'a été posée entre l'histoire des techniques et l'histoire «générale», car les deux sont fortement liées et indissociables.

Dans la thèse 7 il est question de la pénétration d'une technique et de l'évaluation de l'impact ou de l'importance historique de cette technique vis-à-vis d'une étude technique-société. Selon l'auteur, il est nécessaire de prendre en compte des *«alternatives et des coûts opportunité»*. En reprenant les travaux de (NOBLE 1985) et de (SCHATZBERG 1994) il pré-

cise que les études de choix techniques montrent que des alternatives existent souvent et que le fait qu'une technique l'emporte sur une autre ne prouve pas forcément qu'elle est supérieure aux autres. Il est alors nécessaire d'expliciter ces choix et alternatives, et l'analyse de ces techniques en usage est possible *«lorsqu'on les compare à d'autres»*. Ce projet de recherche est fortement lié à cette thèse 7 avancée par (EDGERTON 1998), car les recherches en HST (Voir chapitre 6) cherchent à évaluer les besoins et les attentes en matière de technologies et de techniques et tentent de comprendre ces choix et d'évaluer les conséquences de ces choix sur l'activité elle-même.

Ces différentes thèses proposées par l'auteur ne traitent essentiellement que des techniques récentes et laissent de grands champs chronologiques inexplorés ce qui n'est pas le cas de ce projet de recherche qui explore une longue période (XIIe siècle à aujourd'hui). La thèse centrale de cet article consacré à l'innovation et aux usages en HST, est la suivante :

> *« Nous ne devrions pas télescoper histoire des inventions et de l'innovation et l'histoire des techniques. Il ne s'agit pas, j'y insiste, d'une position originale. J'ai montré qu'elle a souvent été prise dans le passé. Mais elle a toutefois été ignorée encore et toujours avec des conséquences infiniment regrettables pour notre compréhension des relations entre techniques et sociétés. L'histoire des techniques est en fait trop importante pour être laissée aux seuls historiens de l'invention» (*EDGERTON *1998)*

L'étude des systèmes techniques et de leurs usages doit donc, pour être pertinente, être mise en relation avec d'autres notions en prenant en compte l'histoire. En effet, cette prise en compte permettrait de contribuer au cumul des savoirs issus de traditions diverses et d'être conscients des formes alternatives de compréhension et d'interprétation sur le domaine.

2.7 Conclusion

Ce travail d'état de l'art en HST permet de mettre en exergue plusieurs choses. Tout d'abord, un arsenal est un paysage culturel industriel qui est considéré comme un macro-système complexe. En effet, celui-ci est constitué de plusieurs artefacts qui constituent un système qui génère différents types de flux. Les ports de notre étude, les arsenaux de Brest et de Venise, sont donc des macro-systèmes complexes.

Afin d'étudier ces deux macro-systèmes complexes, nous allons bâtir une histoire comparée dans le but d'étudier leurs évolutions respectives. Pour cela nous allons nous nous appuyons sur les travaux de géographes comme Bird et Hoyle pour proposer nos propres modèles d'évolution, HST-PORT et HST-ARSENAL combinant le modèle ANY-PORT et le méta-modèle ANY-ARTEFACT afin d'intégrer à notre étude le concept d'activité humaine (Voir chapitre 5).

Ces arsenaux sont étudiés dans le champ de l'HST en se focalisant sur l'activité humaine qui implique d'étudier les notions d'acteurs (concepteurs, ingénieurs, ouvriers), d'artefacts (systèmes techniques) et de savoirs.

Références chapitre 2

BALFET Hélène (1991), *Observer l'action technique: des chaınes opératoires, pour quoi faire?*, Editions du Centre national de la recherche scientifique.

BAREL Yves (1977), « La ville avant la planification », *Prendre la ville, Anthropos*.

BEAUNE Sophie A de (2013), « De la beauté du geste technique en préhistoire », *Gradhiva. Revue d'anthropologie et d'histoire des arts*, n° 17, p. 26–49.

BECKMANN Johann (1806), *Entwurf der algemeinen Technologie: aus dem Vorrathe kleiner Anmerkungen über mancherle gelehrte Gegenstände*, JF Röwer.

BIRD James Harold (1963), *The major seaports of the United Kingdom*, Hutchinson.

BLONDEAU Etienne-Nicolas et DU CLAIRBOIS Honoré-Sébastien Vial (1783), *Encyclopédie méthodique, marine*, t. 160, Chez Panckoucke.

BOUILLON Didier, GUILLERME André, MILLE Martine et PIERNAS Gersende (2017), *Gestes techniques, techniques du geste*.

BRACCO Jean-Pierre, DUTOUR Olivier, CHENORKIAN Robert et DEFLEUR Alban (1992), « Gestes techniques et débitage expérimental. Elements de réflexion et potentialités de recherches dans l'étude du geste en préhistoire », *Treballs d'Arqueologia*, n° 1, p. 163–172.

BRAY Francesca (2016), « Liliane Hilaire-Pérez, La pièce et le geste. Artisans, marchands et savoir technique à Londres au xviiie siècle. Paris, Éditions Albin Michel,«L'Évolution de l'humanité», 2013 », *Artefact. Techniques, histoire et sciences humaines*, t. 4, n° 4, p. 403–406.

BRIL Blandine (2019), « Comment aborder la question du geste technique pour en comprendre l'expertise et l'apprentissage? », *Techniques & Culture. Revue semestrielle d'anthropologie des techniques*, n° 71, p. 78–91.

CARON François (2010), « La Dynamique de l'innovation », *Changement technique et changement social (XVIe-XXesiècle). Paris: Gallimard*.

CHAMOUX Marie Noëlle (1978), « La transmission des savoir-faire: un objet pour l'ethnologie des techniques? »

CROUZET François (1997), « Naissance du paysage industriel », *Histoire, économie et société*, p. 419–438.

DAVIES Andrew (1996), « Innovation in large technical systems: the case of telecommunications », *Industrial and Corporate Change*, t. 5, n° 4, p. 1143–1180.

DELBOS Geneviève et JORION Paul (1984), « La transmission des savoirs. 1984 », *Paris: éditions de la maison des Sciences de l'homme, chapitre*, t. 1.

DUCRUET César (2005), « Structures et dynamiques spatiales des villes portuaires: du local au mondial », *M@ ppemonde*, t. 77, n° 1.

EDGERTON David (1998), « De l'innovation aux usages. Dix thèses éclectiques sur l'histoire des techniques », in *Annales. Histoire, sciences sociales*, t. 53, 4-5, Cambridge University Press, p. 815–837.

ELLUL J (1977), *Le système technicien*, éditions Calmann-Lévy, Paris.

ENGESTRÖM Yrjö (2014), *Learning by expanding*, Cambridge University Press.

FEBVRE Lucien (1935), « Réflexions sur l'histoire des techniques », in *Annales d'histoire économique et sociale*, t. 7, 36, Cambridge University Press, p. 531–535.

FISCHER Lewis R et JARVIS Adrian (2017), *Harbours and havens: essays in port history in honour of Gordon Jackson*, Oxford University Press.

FOOT Kirsten A (2014), « Cultural-historical activity theory: Exploring a theory to inform practice and research », *Journal of Human Behavior in the Social Environment*, t. 24, n° 3, p. 329–347.

FOURNIER Patrick (2005), « Une histoire des techniques pour quoi faire? Quelques orientations pour la période moderne. », *Siècles. Cahiers du Centre d'histoire, Espaces et Cultures*, n° 22, p. 95–107.

GARÇON Anne-Françoise (2006), « Les techniques et l'imaginaire », *Hypothèses*, t. 9, n° 1, p. 221–228.

— (2015), « Des modes d'existence du geste technique », *e-Phaıstos. Revue d'histoire des techniques/Journal of the history of technology*, t. 4, n° IV-2, p. 84–92.

GILLE Bertrand (1980), *Les mécaniciens grecs: la naissance de la technologie*.

HILAIRE-PÉREZ Liliane (2013), *La pièce et le geste: artisans, marchands et savoir technique à Londres au XVIIIe siècle*, Albin Michel.

HOYLE Brian S (1968), « East African Seaports: An application of the concept of'anyport' », *Transactions of the Institute of British Geographers*, p. 163–183.

HOYLE Brian Stewart (1989), « The port-City interface: Trends, problems and examples », *Geoforum*, t. 20, n° 4, p. 429–435.

HUGHES Thomas Parke (1993), *Networks of power: electrification in Western society, 1880-1930*, JHU Press.

JACKSON Gordon (2007), « Early Modern European Seaports Studies: Highlights and Guidelines », *European Seaport Systems in the Early Modern Age*, p. 8.

JACOMY Bruno (2015), *Une histoire des techniques*, Le Seuil.

JAL Augustin (1848), *Glossaire nautique: répertoire polyglotte de termes de marine anciens et modernes*, t. 2, Firmin Didot.

JOCKEY Philippe (1998), « Les représentations d'artisans de la pierre dans le monde gréco-romain et leur éventuelle exploitation par l'historien », *Topoi. Orient-Occident*, t. 8, n° 2, p. 625–652.

KOBILJSKI Aleksandra, HILAIRE-PÉREZ Liliane et CARNINO Guillaume (2016), *Histoire des techniques: Mondes, sociétés, cultures (XVIe-XVIIIe siècle)*, Presses Universitaires de France.

LEE Sung-Woo, SONG Dong-Wook et DUCRUET César (2008), « A tale of Asia's world ports: the spatial evolution in global hub port cities », *Geoforum*, t. 39, n° 1, p. 372–385.

MARNOT Bruno (2011), *Les grands ports de commerce français et la mondialisation du XIXe siècle:(1815-1914)*, Presses de l'Université Paris-Sorbonne.

MAUSS Marcel (2004), « Les techniques et la technologie », *Revue du MAUSS*, n° 1, p. 434–450.

MILLE Martine et PETIT Joëlle (2014), « La vie du geste technique. Approche pluridisciplinaire », *e-Phaıstos. Revue d'histoire des techniques/Journal of the history of technology*, t. 3, n° III-1, p. 43–58.

MORGAN Frederick Wallace (1952), *Ports and harbours*, Hutchinson's University Library.

NOBLE David (1985), *Forces of production: A social history of industrial automation*, Oxford University Press, New-York.

NOTTEBOOM Theo E et RODRIGUE Jean-Paul (2005), « Port regionalization: towards a new phase in port development », *Maritime Policy and Management*, t. 32, n° 3, p. 297–313.

PICON Antoine (1992), « Gestes ouvriers, opérations et processus techniques. La vision du travail des encyclopédistes », *Recherches sur Diderot et sur l'Encyclopédie*, t. 13, n° 1, p. 131–147.

POLÓNIA Amélia (2018), « Les petits ports dans le système portuaire européen a l'âge moderne (XVIe.-XVIIIe. siècles) », *História: revista da Faculdade de Letras da Universidade do Porto*, t. 9.

RABARDEL Pierre (1995), *Les hommes et les technologies; approche cognitive des instruments contemporains*, Armand Colin.

RIMMER Peter J et al. (2007), « Port dynamics since 1965: Past patterns, current conditions and future directions », *Journal of International Logistics and Trade*, t. 5, n° 1, p. 75–97.

ROBINSON Ross (2002), « Ports as elements in value-driven chain systems: the new paradigm », *Maritime Policy & Management*, t. 29, n° 3, p. 241–255.

RODRIGUE Jean-Paul, COMTOIS Claude et SLACK Brian (2009), *The geography of transport systems*, Routledge.

ROHOU Bruno (2018), « Modélisation des ports de Brest (France), Rosario et Mar del Plata (Argentine) en tant que macro systèmes technologiques complexes: application à la modélisation des connaissances pour l'histoire des sciences et des techniques », thèse de doct.

ROZENBLAT Céline et al. (2004), « Les villes portuaires en Europe analyse comparative, Rapport final septembre 2004 ».

RUSSO François (1986), *Introduction à l'histoire des techniques*. Librairie scientifique et technique Albert Blanchard.

SAUPIN Guy (2016), « Mondialisation et modification des hiérarchies des grands ports de commerce, mi XVIIE–mi xixe siècle: une comparaison entre l'Espagne, la France et la Grande Bretagne », *Nuevo Mundo Mundos Nuevos. Nouveaux mondes mondes nouveaux-Novo Mundo Mundos Novos-New world New worlds*.

SCHATZBERG Eric (1994), « Ideology and technical choice: the decline of the wooden airplane in the United States, 1920-1945 », *Technology and Culture*, t. 35, n° 1, p. 34–69.

SIGAUT François (1991), « Un couteau ne sert pas à couper mais en coupant. Structure, fonctionnement et fonction dans l'analyse des objets », *25 ans d'études technologiques en préhistoire: Bilan et perspectives*, p. 21–34.

— (2012), *Comment Homo devint faber: comment l'outil fit l'homme*, CNRS éd.

TAN Tai-Yong (2007), « Port cities and hinterlands: A comparative study of Singapore and Calcutta », *Political Geography*, t. 26, n° 7, p. 851–865.

VÉRIN Hélène (1993), *La gloire des ingénieurs*, Albin Michel.

VIGARIÉ André (1984), « Les ports de commerce français de 1965 à 1983 », *Norois*, t. 121, n° 1, p. 15–29.

WOO Su-Han, PETTIT Stephen J, KWAK Dong-Wook et BERESFORD Anthony KC (2011), « Seaport research: A structured literature review on methodological issues since the 1980s », *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, t. 45, n° 7, p. 667–685.

Chapitre 3

État de l’art : Ingénierie des connaissances pour la représentation de l’activité et l’histoire

3.1 Introduction

Dans le cadre de ce projet de recherche et du développement du Lab in Virtuo, un certain nombre de travaux en ingénierie des connaissances sont effectués (Voir chapitres 9, 10 et 11).

L'ingénierie des connaissances associée à la RV permet, dans le cadre de ce projet, de travailler en Histoire sur la représentation de l'activité. En ingénierie des connaissances nous avons recours à la modélisation des connaissances au moyen du Web Sémantique et des ontologies qui vont permettre d'organiser les données sur le domaine étudié. Cet état de l'art consacré à la représentation de l'activité en HN a donc pour objectif de s'intéresser particulièrement au domaine de l'ingénierie des connaissances appliquée à l'étude de l'activité et à l'histoire. Pour cela, nous allons nous intéresser aux travaux dans le domaine et présenter des ontologies de références ainsi que des projets favorisant l'interopérabilité des données.

3.2 L'ingénierie des connaissances

La création de nouveaux systèmes de connaissances a été amorcée dans les années 60 en raison de l'évolution des domaines de l'informatique et de l'intelligence artificielle. Nous avons recours aux schémas, aux modèles de flux d'informations, aux diagrammes en arbres, aux modèles orientés objet ou encore aux cartes conceptuelles. Certaines de ces représentations sont fréquemment utilisées dans le domaine de l'éducation ou de la formation car ils permettent de formaliser les données (PAQUETTE 2002).

Ce projet de recherche fait clairement appel au domaine de l'ingénierie des connaissances. Il voit le jour outre-Atlantique dans la première moitié des années 1990 dans le cadre de projets d'ingénierie collaborative. L'ingénierie des Connaissances appartient au domaine de l'intelligence artificielle (IA) et se focalise sur la connaissance. Les principaux intérêts de ce domaine sont la modélisation, le stockage, le dépouillement de connaissances, et le raisonnement automatique. Elle emprunte des méthodologies de la linguistique et du traitement automatique des langues afin de faciliter la compréhension des données :

> *«Une manière de la caractériser est de la définir comme la modélisation formelle de problèmes pour lesquels les seules connaissances dont on dispose sont de nature linguistiques ou cognitives. L'objectif est de spécifier le comportement calculatoire d'une machine à partir de la donnée de tels problèmes. La modélisation formelle consiste dans la représentation à l'aide d'un langage formel des connaissances du domaine»* (BACHIMONT 2000)

Il existe différents types d'application de l'ingénierie des connaissances : les systèmes experts et la résolution automatique de problèmes, l'interprétation des textes, la RV ou encore la compréhension du langage naturel. L'usage de l'ingénierie des connaissances permet de résoudre un certain nombre de problèmes comme l'aide à la conception et à la décision, ou encore la simulation.

Afin de permettre la structuration et l'exploitation des données, il est nécessaire d'avoir recours au Web Sémantique.

3.3 Le Web Sémantique

Le terme «Web Sémantique» est dû à Tim Berners-Lee informaticien britannique et l'un des principaux fondateur du «*World, Wide, Web*» en 1994. Le Web Sémantique est une évolution du Web qui a pour spécificité de rendre les données interprétables par des logiciels. Les données sont ainsi structurées et interopérables comme l'exprime un de ses créateurs : *«The Semantic Web is not a separate Web but an extension of the current one, in which information is given well-defined meaning, better enabling computers and people to work in cooperation.»* (BERNERS-LEE, HENDLER et LASSILA 2001)

> *«Le Web Sémantique, concrètement, est d'abord une infrastructure pour permettre l'utilisation de connaissances formalisées en plus du contenu informel actuel du Web, même si aucun consensus n'existe sur jusqu'où cette formalisation doit aller. Cette infrastructure doit permettre d'abord de localiser, d'identifier et de transformer des ressources de manière robuste et saine tout en renforçant l'esprit d'ouverture du Web avec sa diversité d'utilisateurs. [...] Elle doit contribuer à assurer, le plus automatiquement possible, l'interopérabilité et les transformations entre les différents formalismes et les différentes ontologies. Elle doit faciliter la mise en œuvre de calculs et de raisonnements complexes tout en offrant des garanties supérieures sur leur validité. Elle doit offrir des mécanismes de protection (droits d'accès, d'utilisation et de reproduction), ainsi que des mécanismes permettant de qualifier les connaissances afin d'augmenter le niveau de confiance des utilisateurs».* [1]

Selon (BACH THANH LE et al. 2006), le Web Sémantique permet de rendre compréhensible et disponible les informations contenues dans des ressources telles que des pages web ou des bases des données non seulement pour les hommes mais aussi pour les machines, les agents informatiques ou encore les programmes. Les ressources disponibles sur Internet comme des images ou des textes ainsi que les ressources qui ne sont pas exploitables sur Internet ont tout de même des références qui peuvent être consultables, il s'agit d'une sémantique associée. Grâce à elle, la recherche d'information, le classement ou la recherche d'information sont rendus possibles de façon automatique par des logiciels.

Cette technologie qu'est le Web Sémantique résulte de nombreuses disciplines comme le traitement automatique des langues, l'ingénierie des connaissances ou encore les systèmes multi-agents (LÉGER et CHARLET 2019).

Pour fonctionner le Web Sémantique nécessite l'utilisation de plusieurs langages qui ont tous leur spécificité. La figure 3.1 représente l'architecture du Web Sémantique et les différents langages qui le compose.

1. www.lalic.paris4.sorbonne.fr/stic/

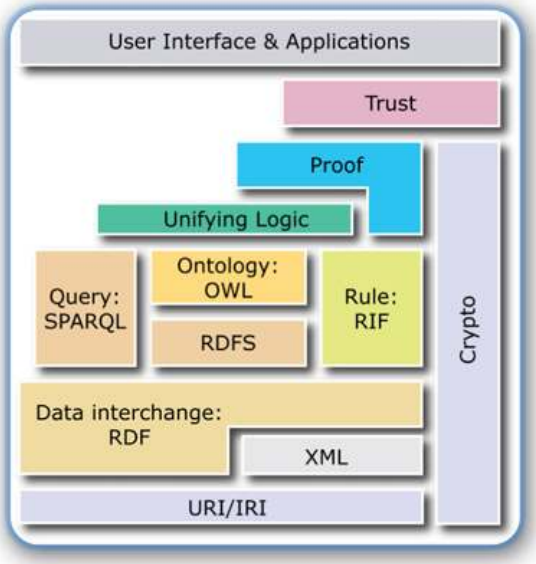


FIGURE 3.1 – Les différents langages du Web Sémantique [2]

Voici les principaux langages utilisés par le Web Sémantique :

- **Le XML :** (Extensible Markup Language) se consacre à la description de la structure des données sous la forme d'un arbre syntaxique.
- **Le langage OWL :** (Ontology Web Langage). Il s'agit d'un langage de représentation des connaissances qui permet une description des données.
- **RDF :** (Ressource Description Framework) Il s'agit d'un modèle de graphe dont la principale vocation est la description formelle des données. Les données en RDF sont organisées en triplets (Sujet, prédicat,objet).
- **Le langage RDFS :** (Ressource Description Framework Schéma) est également un langage de représentation des connaissances. La spécificité du RDFS est la description de la signification des données. Il s'agit, en clair, d'un vocabulaire permettant de décrire les classes et les propriétés
- **Query SPARQL :** Il s'agit d'un langage de requête. Il donne la possibilité de faire des recherches, de supprimer ou de modifier des informations.
- **URI/IRI :** (Uniform ressource Identifier) Permet de coder les données et d'identifier des ressources.

Ces différents langages utilisés dans le Web Sémantique ont pour objectif de manipuler les différentes ressources du web. Ils permettent d'exprimer les différentes données et métadonnées, de décrire les services et leur fonctionnement et de permettre la construction d'un modèle abstrait de ce qui est intégré dans les ontologies. Les trois principales fonctions de ces langages dans le Web Sémantique sont :

- Extraire les données et les métadonnées
- Extraire les ontologies
- Décrire les services

Le Web Sémantique organise les données grâce à la représentation des connaissances que nous appelons réseau sémantique.

2. www-igm.univ-mlv.fr

3.3.1 Le réseau sémantique

Le recours aux graphes pour représenter des informations et des liens entre des concepts n'est pas récent comme en témoigne l'arbre de Porphyre (Voir figure 3.2) que l'on doit à Porphyre de Tyr, un philosophe néoplatonicien né en 234 ap. J.-C. Cet arbre est extrêmement proche des réseaux hiérarchiques actuels.

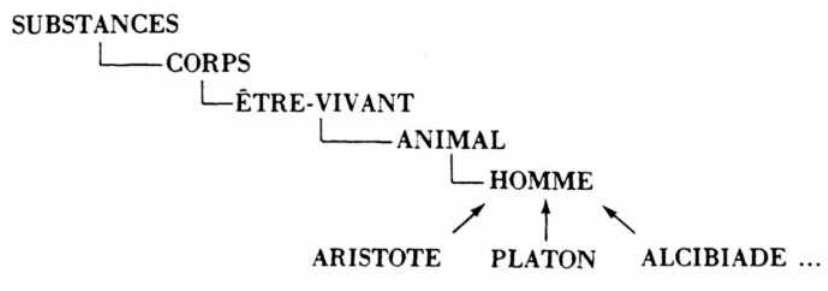


FIGURE 3.2 – L'arbre de Porphyre (DESCLÉS 1987)

L'arbre de Porphyre permet une visualisation de la hiérarchie de terme et une compréhension des relations et des liens entre différents termes en fonction de leur nature.

Un réseau sémantique est également un graphe permettant la représentation de concepts (Voir figure 3.3). Il est composé de :

- **Des noeuds** qui concernent les concepts et les objets
- **Des arcs** qui représentent les liens qui connectent les noeuds entre eux

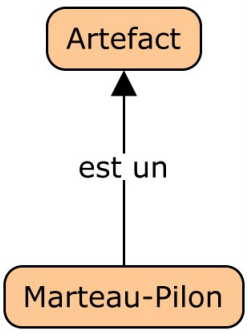


FIGURE 3.3 – Représentation d'un réseau sémantique

Les graphes d'héritage permettent quant à eux d'établir ce que l'on appelle une relation «généralisation-spécialisation» qui permet à des classes d'hériter d'autres classes. Dans ce type de graphes les classes héritent de toutes les classes précédentes (Voir figure 3.4).

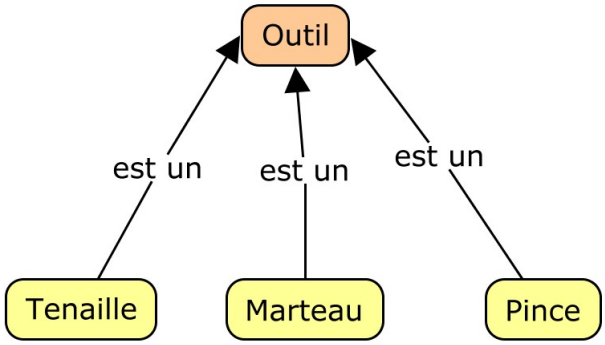


FIGURE 3.4 – Représentation d'un graphe d'héritage

Pour comprendre le principe des graphes d'héritage, il faut pouvoir remplacer le «est un» par «sorte de». Avec l'exemple du graphe précédent cela donne « La tenaille est une sorte d'outil», «le marteau est une sorte d'outil» etc...

L'intérêt de ces réseaux sémantiques est d'organiser des données entre elles et d'établir des liens afin de permettre une bonne compréhension pour l'exécution d'une ontologie.

3.3.2 Les Ontologies

«La conceptualisation du monde et sa représentation nous amènent directement à la notion d'ontologie» (ROCHE 2005).

Les ontologies sont un des concepts centraux du Web Sémantique. On assiste à leur émergence au début des années 90 dans le domaine de l'ingénierie des connaissances. A l'origine, le terme «ontologie» vient du domaine de la philosophie. Il s'agit d'une partie de la philosophie qui traite de l'étude de l'être et de sa nature réelle : *«l'être en tant* qu'être[3]» (TRICOT 1933).

> *«Définie pour un objectif donné et un domaine particulier, une ontologie est pour l'ingénierie des connaissances une représentation d'une modélisation d'un domaine partagée par une communauté d'acteurs. Objet informatique défini à l'aide d'un formalisme de représentation, elle se compose principalement d'un ensemble de concepts définis en compréhension, de relations et de propriétés logiques»* (ROCHE 2005)

Les ontologies utilisent le langage OWL[4] pour «Ontologies Web Language». Le principe est de représenter le monde et le sens des mots afin de les rendre compréhensibles et partageables, soit par des humains, soit pas des machines (ROCHE 2005). Leur intérêt est également la modélisation pour la résolution de problèmes (BACHIMONT 2000).

L'ontologie va permettre la formalisation des connaissances, la représentation des concepts fondamentaux des données étudiées ainsi que les relations qui les unissent.

Un grand nombre d'outils sont développés afin de construire des ontologies. Parmi ces éditeurs nous pouvons citer entre autres, Apollo[5], OntoEdit[6] et Protégé[7] . Dans le cadre

3. La Métaphysique d'Aristote
4. Le langage OWL est un langage de représentation des connaissances basé sur le modèle de graphe RDF (Sujet, prédicat, objet).
5. http://apollo.open.ac.uk
6. http://www.semafora-systems.com
7. https://protege.stanford.edu

de ce projet de recherche nous avons eu recours à Protégé développé par l'université de Standford, simple d'utilisation et qui permet de travailler sur des ontologies de grandes dimensions (Voir chapitres 10 et 11).

La spécificité de l'ontologie c'est sa structuration d'ensemble que l'on pourrait qualifier d'«arbre ontologique» (BACHIMONT 2000) qui permet d'organiser les données et de visualiser leur hiérarchie. Selon (CHARLET, BACHIMONT et TRONCY 2004), *«construire une ontologie c'est aussi décider de la manière d'être et d'exister des objets.»*

Le principe originel d'une ontologie est de construire une base de connaissances dans le but de décrire un domaine. La construction d'ontologies peut-être soumise à des méthodologies spécifiques visant à élaborer des modèles qualitatifs permettant leur réutilisation ou leur adaptation. Pour cela il est fortement conseillé de s'interroger sur le contenu de cette ontologie et sur la qualité des données, mais également d'avoir recours à des ontologies existantes afin de s'assurer de la fiabilité du modèle produit (MARQUIS, PAPINI et PRADE 2014).

3.3.3 Les Bases de connaissances

Selon (PRADEL 2013), voici la définition d'une base de connaissances :

> *«La spécification d'un domaine au travers d'une ontologie et d'un ensemble de données relatives à cette ontologie constitue ce que l'on appelle une base de connaissances dirigée par une ontologie. Une base de connaissances cible généralement un domaine donné»*

L'organisation des connaissances englobe la gestion informatisée des documents ou des données. La base de connaissances constitue le corpus d'informations. Le travail de modélisation des connaissances s'effectue à partir de données qui peuvent être rassemblées à partir de différents types de documents comme des articles, des ouvrages généraux, des documents techniques ou encore des retranscriptions d'entretiens. Dans ce corpus de documents on sélectionne les données qui sont pertinentes pour la construction d'une ontologie.

L'usage des ontologies concerne de nombreux domaines de recherche. On observe depuis quelques années un recours conséquent de cet outil du Web Sémantique dans le domaine de l'histoire.

3.3.4 L'utilisation des ontologies pour l'histoire

Les musées, archives et bibliothèques sont de plus en plus présents sur internet. Ces institutions culturelles ont donc davantage recourt aux ontologies afin de traiter leurs données dans le but de les rendre interopérables. L'autre intérêt des ontologies pour l'histoire est également de permettre la description de faits historiques et de la chronologie d'une période. La modélisation des connaissances pour les historiens est rendue possible depuis quelques années avec un certain nombre d'ontologies véritablement consacrées au domaine de l'histoire.

- **Le CIDOC-CRM :** Le CIDOC-CRM est un modèle sémantique de référence consacré à l'information relative au patrimoine culturel. Le modèle du CIDOC-CRM permet d'établir un langage universel dans ce domaine ce qui facilite grandement la recherche et l'échange de données. Une partie de cet état de l'art est consacrée à ce modèle (3.4)

- **Le projet SyMoGIH.org :** (Système modulaire de gestion de l'information historique). Cette ontologie est développée par le LARHRA (Laboratoire de recherche historique du Rhône-Alpes). Le projet a pour ambition de favoriser l'interopérabilité des données entre historiens suivant la spécialité des disciplines qu'il s'agisse d'histoire sociale, religieuse ou encore économique. SyMoGIH offre aussi l'accès à une plateforme collaborative de stockage des données. Cette plateforme peut accueillir des données primaires, des textes en XML, des images ou encore des métadonnées.
  La modélisation des connaissances historiques sur SyMoGIH concerne les objets, acteurs, institutions, concepts, lieux etc.. et facilite leur mise en relation.

  > *«Cette approche de la modélisation inspirée du langage naturel amène à choisir un modèle de données générique car ce type de modèles offre un niveau d'abstraction suffisant pour permettre de traiter tout type de connaissance avec une structure relativement simple et concise»* (BERETTA 2016)

  Le principe même de cette ontologie est qu'elle se base sur le concept d'objet qui peut jouer un rôle et qui peut collaborer avec une unité de connaissances. Voici l'organisation de cette ontologie (Figure 3.5) :

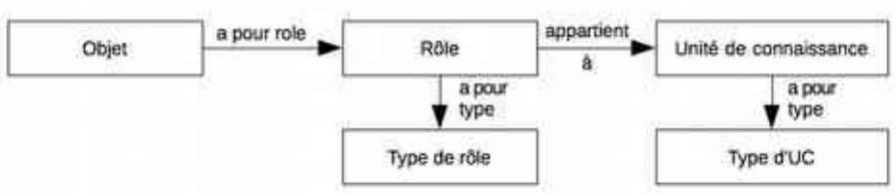


FIGURE 3.5 – L'organisation de l'ontologie SyMoGIH (BERETTA 2016)

Dans le cadre de l'ontologie SyMoGIH, un objet a un rôle qui est lui-même défini par un type de rôle. Ce rôle appartient à une unité de connaissance qui est également caractérisée par un type. Ce qui fait la particularité de SyMoGIH en plus de la dimension collaborative, c'est l'importance accordée au sourçage des données. En effet, la plateforme permet une indication précise des sources historiques de chaque donnée et il est possible de spécifier le degré de fiabilité de la source grâce aux instances de la classe «sourçage».

Nous allons à présent nous pencher plus précisément sur les ontologies de références et notamment le modèle de représentation des données CIDOC-CRM qui est consacrée au patrimoine culturel. Cette ontologie est une référence dans le domaine c'est pourquoi elle est employée dans le cadre de cette thèse.

3.4 Des Ontologies de référence

Une ontologie de référence doit répondre à des caractéristiques spécifiques, et englober des concepts centraux, communs et pertinents concernant un domaine de connaissances et posséder une large couverture d'un domaine dans le but de répondre aux besoins de n'importe quelle application spécifique concrète relative à ce domaine. Nous allons alors nous intéresser à deux types d'ontologies de référence, le CIDOC-CRM et DOLCE.

3.4.1 Le CIDOC-CRM

L'ontologie de référence CIDOC-CRM est un modèle de représentation de connaissances développé par «le Comité International pour la DOCumentation du Conseil International des Musées». Cette ontologie à pour objectif de rendre possible l'interopérabilité de l'indexation des objets de musée, et de tout objet appartenant au patrimoine culturel selon la définition définie par l'UNESCO. L'intérêt d'utiliser le CIDOC est de fournir un langage universel dans le domaine c'est pourquoi il est devenu un standard dans le domaine des musée, des archives, des bibliothèques mais également de la recherche. Il permet d'obtenir un cadre et une hétérogénéité dans les données. Cette cohérence est d'ailleurs présentée comme étant l'un des rôles principaux du CIDOC :

> *«The primary role of the CIDOC CRM is to serve as a basis for mediation of cultural heritage information and thereby provide the semantic 'glue' needed to transform today's disparate, localised information sources into a coherent and valuable global resource*[8]*.»*

La construction du CIDOC-CRM

Le CIDOC-CRM est doté d'une construction spécifique (Voir figure 3.6) :

1. Des entités que l'on appelle «Classes»
2. Des «propriétés» qui sont les liens entre les classes
3. Des «instances» qui sont des informations relatives à la classe

FIGURE 3.6 – Représentation de l'instance, la propriété et la classe

Il existe des normes d'écriture dans le CIDOC-CRM afin de distinguer les entités des propriétés. Les entités commencent par la lettre E et les propriétés par un P. (Exemple : E39 «Acteur» et P1 «Est identifié par»). Il existe environ 100 entités (ou classes) différentes et 150 propriétés.

Voici un exemple d'information que nous souhaiterions intégrer dans une ontologie« *Le marteau-pilon est en fonte*» :

CLASSE : **E24 : Physical Made Made Thing** = Le marteau-pilon

PROPRIETE : **P45 : Consists of** = Est en

CLASSE : **E57 : Material** = Fonte

Il existe une hiérarchie au sein des classes du CIDOC-CRM (Voir figure 3.7) . Il y a dans la structure de l'ontologie une classe «mère» dont dépendent toutes les autres : «E1 CRM Entity». A partir de cette entité, toutes les autres vont s'organiser en classe et sous-classe.

8. http://www.cidoc-crm.org

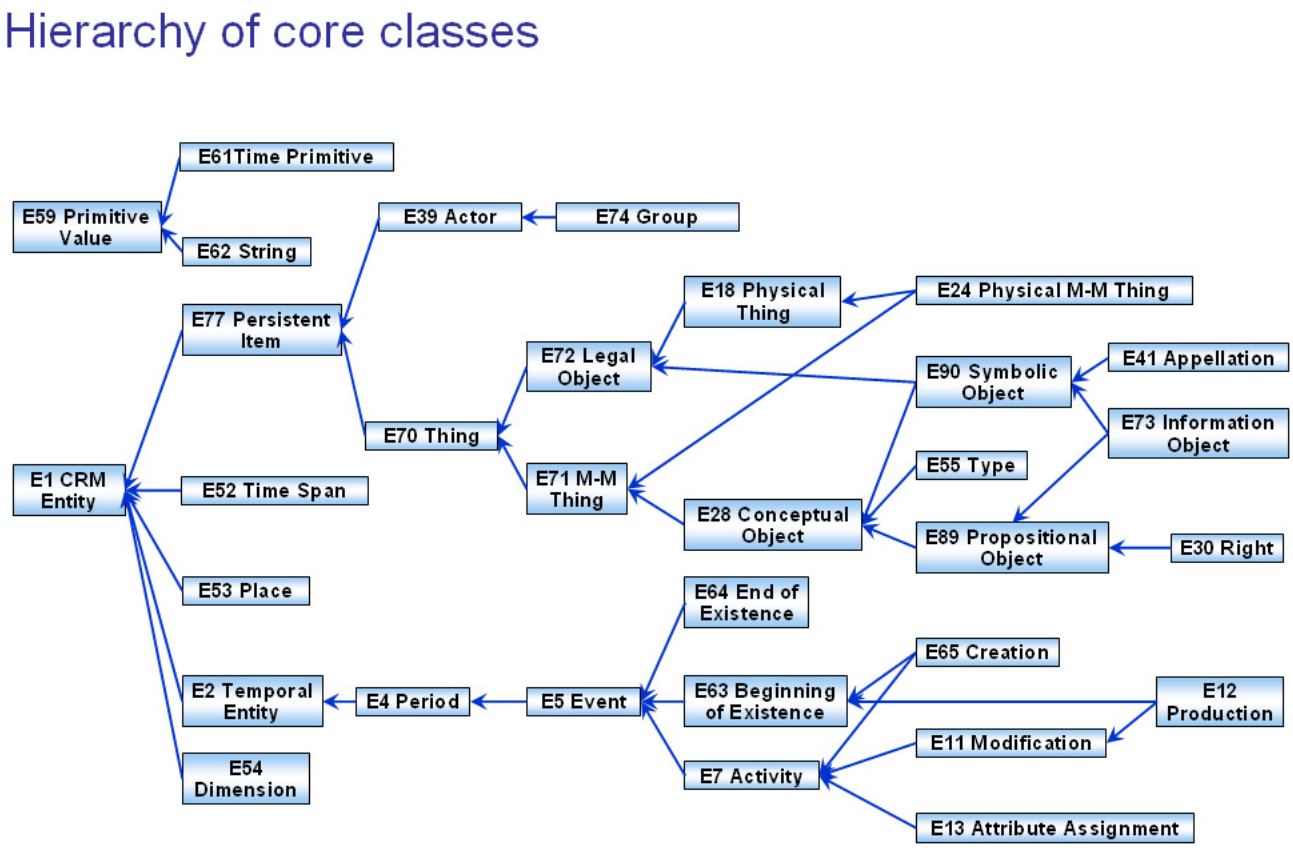


FIGURE 3.7 – La hiérarchie des classes au sein du CIDOC-CRM [9]

Prenons un exemple avec la classe Artefact («E24 Physical Man-Made Thing» ou Chose matérielle fabriquée) qui va beaucoup nous intéresser dans cette thèse. Cette classe est constituée de sous classes «E22 Man-Made Object», «E25 Man-Made Feature» et «E78 Collection». Pour l'entité Acteur («E39 Actor») c'est le même principe, il possède des sous classes : «E21 Personne» et «E74 Groupe». Mais ces entités «E24 Artefact» et «E39 acteur» sont également les sous-classes d'entités comme par exemple «E71 Man-Made Thing» pour l'artefact et «E77 Persistant item» (entité persistante)pour l'acteur.

Depuis sa création le CIDOC-CRM a développé des extensions spécifiques à certains domaines afin de permettre une spécialisation plus précise des ontologies.

Les extensions du CIDOC-CRM

Le CIDOC-CRM a mis au point un certain nombre d'extensions du modèle de représentations. Aujourd'hui il y a sept extensions disponibles :

1. **CRMinf** : Cette extension est utilisée pour intégrer les métadonnées sur l'argumentation dans les sciences descriptives et empiriques telles que la biodiversité, la géologie, la géographie, l'archéologie, le patrimoine culturel, ou encore les environnements informatiques.
2. **CRMarcheo** : Il s'agit ici d'une extension consacrée à l'archéologie, aux fouilles et aux activités associées. CRM archeo fournit des solutions pour gérer et intégrer la documentation existante et les connaissances spécifiques.

9. http://old.cidoc-crm.org

3. **CRMsci** : Ce modèle concerne l'intégration de métadonnées en rapport avec l'observation scientifique, les mesures et les informations relatives aux sciences descriptives et empiriques comme la géologie, la géographie, ou encore l'archéologie
4. **CRMgeo** est une ontologie formelle pour intégrer des propriétés spatio-temporelles et des entités temporelles. Pour cela, le CIDOC CRM est relié à GeoSPARQL [10]
5. **CRMdig** : Il s'agit ici encoder des métadonnées concernant des produits de numérisations et de représentations numériques comme les modèles 2D, ou 3D.
6. **CRMba** : Cette ontologie permet de coder les métadonnées sur la documentation des bâtiments archéologiques. CRMba permet de comprendre la structure du bâtiment et son évolution dans le temps, d'identifier les différentes phases du bâtiment comme la construction, la ou les transformations, la ou les modifications et la réutilisation.
7. **CRMtex** : Cette extension est consacrée à l'étude de documents anciens comme des manuscrits. Le principe est de repérer les principales entités dans des textes. Cela permet d'introduire de nouvelles classes et propriétés mieux adaptées aux besoins particuliers des différentes disciplines concernées, comme la paléographie ou l'épigraphie.

L'intérêt de ces extensions est de spécialiser les ontologies en fonction des sujets traités. DOLCE est une ontologie qui possède une construction différente de celle proposée par le CIDOC-CRM notamment en ce qui concerne l'organisation des données.

3.4.2 L'ontologie DOLCE

DOLCE (Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering) est une ontologie qui se veut liée à la linguistique et au cognitif. L'ontologie DOLCE s'organise autour de principes philosophiques d'organisation des données : Les endurants et les perdurants (Claudio MASOLO et al. 2002).

- **Les endurants** : Les endurants sont des entités «endurants dans le temps». De fait, ils concernent les «Physical objects» et les «Non physical objects».
- **Les perdurants** : Les perdurants sont des entités «se déroulant dans le temps» et concernent par exemple les «Events».

Mais comme le précise Gilles (KASSEL 2009), *«Les notions d'artefact, d'auteur et de fonction sont absentes de DOLCE»*. Cette subdivision entre les endurants et les perdurants repose clairement sur la notion de temps : «*A concept which can be defined independent of time is endurant; and a concept which must be defined dependent of time is perdurant* (HUANG 2016). Ainsi nous pouvons donc nous rendre compte que dans le cas de l'ontologie DOLCE, c'est la durabilité de l'existence de l'entité dans le temps qui a un rôle primordial dans la classification conceptuelle du système de connaissances. Il convient alors d'associer les classes «acteur», «artefact» et «savoirs» aux endurants et la classe «activité» aux perdurants.

Dans le cadre de la modélisation des connaissances, de nombreux outils permettent la publication de données en ligne.

10. GeoSARQL est un langage de requêtes géographiques pour les données RDF.

3.5 La publication des données en ligne

Dans le cadre de projets en histoire, il peut-être parfois nécessaire de publier en ligne des données. Le consortium DATA FOR HISTORY ainsi que le Arches project permettent ces publications.

3.5.1 Le consortium DATA FOR HISTORY

Un consortium international a été mis en place en 2017 dans le but de travailler sur l'interopérabilité des données en histoire pour le Web Sémantique. Ce groupe de recherche composé à la fois d'historiens et d'informaticiens travaille avec un but commun : développer une méthode commune pour la modélisation, la gestion des données, et la conservation dans le domaine de l'histoire.

La communauté DATA FOR HISTORY[11] travaille sur le développement d'un modèle d'ontologie commun qui faciliterait une intégration et une interopérabilité des données relatives à un domaine. Le consortium vise travaille sur un modèle en s'appuyant sur le CIDOC-CRM qui reste la référence dans le domaine du patrimoine et de l'histoire. Son utilisation favorise une intégration plus importante en ce qui concerne la modélisation des données. Ce projet intègre également le projet SyMoGIH.org qui complète parfaitement le CIDOC. Une plateforme est en cours de développement. L'équipe de recherche du Pam 3D Lab fait partie de ce consortium en ce qui concerne l'élaboration du métamodèle consacré à l'étude des paysages culturels.

3.5.2 Le «ARCHES PROJECT»

Le «Arches Project»[12] a été développé par le Getty Conservation Institute et le World Monuments Fund. Il s'agit d'une plateforme logicielle open-source géospatiale consacrée à l'inventaire du patrimoine culturel.Les objectifs d'ARCHES sont clairement identifiés :

«Arches helps organizations achieve a number of objectives that promote the understanding, appreciation, and management of heritage places. These include[13] *:*

- *Identification and inventory*
- *Research and analysis*
- *Monitoring and risk mapping*
- *Determining needs and priorities for investigation, research, conservation and management*
- *Planning for investigation, conservation, and management activities*
- *Raising awareness and promoting understanding among the public, as well as governmental authorities and decision makers»*

Le logiciel ARCHES permet de travailler sur différents types de ressources concernant plusieurs types de patrimoines culturels : Les ressources patrimoniales (monuments), l'activité (enquêtes, rapports d'intervention), des évènements (batailles, guerres, destructions), les acteurs, et les ressources d'informations (vidéos d'archives, enregistrements, modèles 3D).

11. http://dataforhistory.org/
12. https://www.archesproject.org
13. https://www.archesproject.org/

Cet outil [14] permettent la création et la gestion des données concernant le patrimoine et simplifie le partage de données et la pérennité de celles-ci.

ARCHES est doté de principes et de normes permettant la consultation et l'intégration de données. Tout cela a permis la mise en place d'un système générique d'inventaire du patrimoine qui facilite le partage et la longévité des données.

Le modèle conceptuel de référence CIDOC-CRM que nous avons présenté précédemment est utilisable via la plateforme ARCHES. En effet, Arches permet d'utiliser un certain nombre de données comme les classes et les propriétés du CIDOC-CRM. L'usage du CIDOC au sein de ARCHES permet ainsi l'intégration et le partage des données relatives au patrimoine culturel. Ce qui fait la particularité de cette plateforme c'est la possibilité de personnaliser et d'étendre ses données dans le but de pouvoir les partager avec d'autres utilisateurs.

La création du web par Tim Bernes-Lee avait pour objectif principal de permettre l'interopérabilité de données structurées. Depuis son invention, et grâce au développement du Web Sémantique, de nouveaux outils voient le jour afin de proposer des modèles génériques et exploitables par tous.

Le développement de l'informatique et des HN permettent également de développer de nouvelles méthodes de travail dans le domaine des Sciences Historiques.

3.6 Les Humanités Numériques pour faire de l'histoire

La particularité de ce projet en HST est qu'il a recours aux HN qui sont un domaine de recherche à la croisée de l'informatique et des sciences sociales. On pensait autrefois que les ordinateurs et les technologies numériques étaient destinés uniquement aux sciences dures comme les mathématiques. Cette idée est aujourd'hui erronée, car le numérique a su intégrer de nombreux domaines de recherche.

Le terme « Humanités Numériques » ou « digital humanities » en anglais, est un terme récent qui peut paraître étrange. Cet oxymore désigne un domaine de recherche au croisement des Sciences Humaines et sociales, des arts, des lettres, avec les sciences de l'informatique [15]. Ce terme est popularisé par John Unsworth, Ray Siemens et Susan Schreibman auteurs de l'ouvrage «*A Companion to Digital Humanities*» dans lequel ils déclarent :

> «*Especially since the 1990s, with the advent of the World Wide Web, digital humanities has broadened its reach, yet it has remained in touch with the goals that have animated it from the outset : using information technology to illuminate the human record, and bringing an understanding of the human record to bear on the development and use of information technology*» (SCHREIBMAN, SIEMENS et UNSWORTH 2008)

L'informatique au travers des HN devient alors une science qui s'intéresse à l'homme. Les HN évoluent en fonction des besoins et surtout des évolutions technologiques comme cela est souligné dans l'extrait ci-dessus. L'apparition des HN est due entre autres, au développement des innovations technologiques au service de l'homme en ce qui concerne la production ou la transmission des savoirs. La particularité des HN c'est qu'elles regroupent des communautés et des réseaux structurés qui s'approprient des outils numé-

14. Les travaux effectués au moyen d' ARCHES seront détaillés dans les chapitres 10, 11 et A)

15. Un oxymore désigne une figure de style impliquant deux mots de sens contradictoire. Le terme «Humanités» désigne un champ de recherche ancien et «Numériques» un champ bien plus contemporain. Le terme «Humanités Numériques» désigne à lui seul la nouveauté d'une approche méthodologique portant sur les sciences humaines et sociales outillées par les technologies numériques et inversement.

riques transdisciplinaires. Elles permettent également de renforcer les capacités d'analyse et de partage, à des fins plus collectives et collaboratives.

Les Sciences Humaines et sociales ont beaucoup évolué depuis qu'elles ont emprunté ce « virage numérique », c'est le cas notamment des sciences historiques, sciences qui nous intéressent particulièrement dans cette étude. Le souci de l'historien est qu'il est souvent confronté à des masses de données qui sont parfois extrêmement longues et compliquées à traiter. Marc Bloch le souligne d'ailleurs dans un de ses ouvrages :

> *«L'historien n'a rien d'un homme libre. Du passé, il sait seulement ce que ce passé même veut bien lui confier. En outre, lorsque la matière qu'il s'efforce d'embrasser est trop vaste pour lui permettre le dépouillement personnel de tous les témoignages, il se sent incessamment limité, dans son enquête, par l'état des recherches* » (BLOCH et FOSSIER 1968).

Pour faciliter le traitement des données, les historiens ont donc développé de nouvelles méthodologies permettant une exploitation plus simple et rapide. C'est le cas avec l'élaboration des bases de données documentaires ou heuristiques, le traitement des données textuelles ou encore l'exploitation statistique des séries chronologiques. La démographie et l'archéologie ont également accès à de nouvelles méthodes statistiques comme les processus de simulation et de modélisation. Cette ouverture de l'histoire vers l'informatique a provoqué une césure dans le métier d'historien qui possède à présent de nouvelles méthodes de travail.

> *« L'histoire [...] connaît pourtant aujourd'hui une dilatation inouïe, et de sa confrontation avec les sciences sœurs, sort presque toujours retrouvée grâce à la solidité de ses méthodes éprouvées, à son ancrage dans la chronologie, à sa réalité* » (NORA et LE GOFF 1976).

Comme le soulignent les historiens Jacques Le Goff et Pierre Nora, les sciences historiques évoluent avec leur époque, le développement et l'utilisation des HN en sont un parfait exemple. Les HN sont le résultat de recherches en Sciences Humaines et Sociales et en Informatique et permettent un enrichissement bilatéral des disciplines.

Nous assistons depuis quelques années au développement de thèses pluridisciplinaires soutenues en HN sur le patrimoine digital. Nous pouvons entre autres citer les travaux de (MESSAOUDI 2017) en 2017 qui aborde des questions de conservation du patrimoine culturel bâti et qui propose le développement d'une ontologie de domaine dédiée à l'annotation d'images spatialisées et ceux de (KHUNDAM 2019) en 2019 qui présentent une nouvelle méthode pour développer une application de *Virtual Museum* (VM) qui offre un modèle de narration numérique permettant la création d'un contenu interactif et un système d'interaction adaptatif. Que ce soit au moyen du web sémantique, ou des technologies 3D, les HN offrent de nouvelles perspectives dans les domaines des sciences historiques, et particulièrement pour l'étude du patrimoine.

Dans le cadre de ce projet de thèse, nous allons utiliser les HN pour faire de l'HST. En effet, nous allons avoir recours au Web Sémantique, à l'ingénierie des connaissances ainsi qu'à la RV. Ces technologies ont pour objectif de permettre la création d'un outil de travail et de partage des connaissances. A ce titre, les HN sont de plus en plus utilisées dans le domaine de la médiation culturelle afin de proposer de nouvelles formes de transmission de connaissances.

3.7 Conclusion

Dans ce chapitre ont été présentées les spécificités de la modélisation des connaissances appliquées à l'Histoire en se penchant sur les intérêts et les concepts du Web Sémantique ainsi que de deux types d'ontologies, le CIDOC-CRM et DOLCE . Ce chapitre évoque également l'interopérabilité des données en présentant deux types d'outils mis au point pour les historiens.

Ce projet de recherche en HST et en HN s'inscrit concrètement dans le domaine de la modélisation des connaissances. En effet, le développement du Lab in Virtuo recourt au Web Sémantique et notamment à l'ontologie CIDOC-CRM qui participe à la production d'un méta-modèle générique consacré aux les paysages culturels industriels (Voir chapitre 10). Ces travaux accordent également une grande importance à l'interopérabilité des données, c'est pour cette raison que le projet est intégré dans le consortium DATA FOR HISTORY et que la plateforme ARCHES est utilisée.

La modélisation des connaissances et l'usage plus global des HN, participent à la construction de nouvelles connaissances et de nouveaux outils dans le domaine de l'histoire.

Références chapitre 3

BACH THANH LE Briand Président Henri et al. (2006), « Construction d'un Web sémantique multi-points de vue », thèse de doct., INRIA Sophia Antipolis.

BACHIMONT Bruno (2000), « Engagement sémantique et engagement ontologique: conception et réalisation d'ontologies en ingénierie des connaissances », *Ingénierie des connaissances: évolutions récentes et nouveaux défis*, p. 305–323.

BERETTA Francesco (2016), *L'interopérabilité des données historiques et la question du modèle: l'ontologie du projet SyMoGIH*.

BERNERS-LEE Tim, HENDLER James et LASSILA Ora (2001), « The semantic web », *Scientific american*, t. 284, n° 5, p. 34–43.

BLOCH Marc et FOSSIER Robert (1968), *La société féodale*, t. 7, Albin Michel Paris.

CHARLET Jean, BACHIMONT Bruno et TRONCY Raphaël (2004), « Ontologies pour le Web sémantique », *Revue I3, numéro Hors Série, Web sémantique*, p. 43–63.

DESCLÉS Jean-Pierre (1987), « Réseaux sémantiques: la nature logique et linguistique des relateurs », *Langages*, n° 87, p. 55–78.

HUANG Chu-Ren (2016), « Endurant vs Perdurant: Ontological Motivation for Language Variations », in *Proceedings of the 30th Pacific Asia Conference on Language, Information and Computation: Keynote Speeches and Invited Talks*, p. 15–25.

KASSEL Gilles (2009), « Vers une ontologie formelle des artefacts », in *20es Journées Francophones en Ingénierie des Connaissances*, 12–pages.

KHUNDAM Chaowanan (2019), « Evaluation of the virtual reality usage for the promotion of historical heritage », thèse de doct.

LÉGER Alain et CHARLET Jean (2019), « Applications du Web sémantique ».

MARQUIS Pierre, PAPINI Odile et PRADE Henri (2014), « Panorama de l'intelligence artificielle », *Ses Bases Méthodologiques, ses Développements*, t. 1.

MASOLO Claudio et al. (2002), *The wonderweb library of foundational ontologies*, Citeseer.

MESSAOUDI Tommy (2017), « Proposition d'une ontologie de domaine dédiée à l'annotation d'images spatialisées pour le suivi de la conservation du patrimoine culturel bâti », thèse de doct.

NORA Pierre et LE GOFF Jacques (1976), *Faire de l'histoire: Nouvelles approches*, Gallimard.

PAQUETTE Gilbert (2002), *Modélisation des connaissances et des compétences: un langage graphique pour concevoir et apprendre*, PUQ.

PRADEL Camille (2013), « D'un langage de haut niveau à des requêtes graphes permettant d'interroger le web sémantique », thèse de doct., Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier.

QUERREC Ronan (2010), « Apprentissage de procédures en environnements virtuels », thèse de doct., Université Européenne de Bretagne.

ROCHE Christophe (2005), « Terminologie et ontologie », *Langages*, n° 1, p. 48–62.

SCHREIBMAN Susan, SIEMENS Ray et UNSWORTH John (2008), *A companion to digital humanities*, John Wiley & Sons.

TISSEAU Jacques (2001), « Réalité virtuelle: autonomie in virtuo », *Habilitation à diriger des recherches, Université de Rennes*, t. 1.

TRICOT Jean (1933), « Aristote. La Métaphysique », *Bibliothèque des textes philosophiques)*, t. 1966, p. 23.

Chapitre 4

État de l’art : Les technologies 3D et de la réalité virtuelle pour le patrimoine, la médiation et l’apprentissage des connaissances

4.1 Introduction

Dans le cadre de ce projet, il est question de trois domaines de recherche : l'HST, les HN et la médiation. L'objectif de ce projet est de proposer et de valider des méthodologies pour le développement d'un outil consacré au patrimoine industriel et à l'activité associée dédié à la médiation. Cet outil qui implique l'usage de l'ingénierie des connaissances et de la RV, est consacré à la valorisation du patrimoine mais également à la transmission des connaissances.

Afin de positionner nos travaux vis-à-vis des trois domaines concernés, nous allons nous pencher sur les technologies de la 3D et de la RV afin de comprendre leurs spécificités ainsi que leurs apports selon les domaines concernés. Pour cela, nous allons nous intéresser à l'usage des technologies 3D et de la RV pour le patrimoine, la médiation culturelle ainsi que pour l'apprentissage des connaissances.

4.2 Les technologies de la 3D et de la réalité virtuelle

La modélisation 3D ou modélisation tridimensionnelle est une technique infographique destinée à recréer en trois dimensions des objets réels ou non sur ordinateur. Modélisation 3D et RV sont très souvent confondus, pourtant il s'agit de deux choses bien différentes. En effet, la RV embarque la technologie de la modélisation 3D afin de permettre une immersion de l'utilisateur dans le modèle.

La technologie de la RV implique plusieurs domaines de recherches : l'informatique, la robotique ou encore la mécanique (en sciences pour l'ingénieur) ainsi que la psychologie ou l'ergonomie. Le terme réalité virtuelle, de l'anglais *«virtual reality»* est utilisé pour la première fois en 1989 par Jaron Lanier [1]. Avant Lanier, Ivan Sutherland [2] l'appelle *«Virtual Worlds»* (mondes virtuels) et Myron Krueger [3] nomme cette technologie *«Artificial Reality»* (réalité artificielle). Il est nécessaire de préciser que le terme «réalité virtuelle» se situe au carrefour de trois concepts : l'interaction, l'immersion, et le temps réel. Philippe (FUCHS 1996), expert en RV, nous en donne une définition :

> *« La finalité de la réalité virtuelle est de permettre à une personne (ou à plusieurs) une activité sensori-motrice et cognitive dans un monde artificiel, créé numériquement, qui peut être imaginaire, symbolique ou une simulation de certains aspects du monde réel.»*

L'interaction permet au sujet de se déplacer dans un univers 3D, de faire des mouvements ou de manipuler des objets, l'immersion lui donne la sensation d'être dans un univers qui n'existe pas, mais qui a été recréé virtuellement. Par ailleurs, Jacques (TISSEAU 2001) utilise quant à lui, ce que l'on appelle *«la métaphore de Pinocchio»* où le créateur de la marionnette, Geppetto, a créé un personnage qui finit par devenir complètement autonome, comme cela peut l'être en RV. Sur la figure 4.1 l'illustration *a* correspond à l'immersion en RV, la *b* à l'interaction, et enfin la *c* à l'autonomie.

Dans le cas de la RV, l'homme est donc actif. Il peut dans un environnement virtuel réaliser des actions (afficher de la documentation, se déplacer, faire fonctionner un objet), au moyen de manettes ou de bras haptiques. Plus l'homme est actif au sein de l'environ-

1. Chercheur en informatique né en 1960. http://www.jaronlanier.com/general.html
2. Ingénieur en informatique né en 1938 et inventeur du Sketchpad, l'ancêtre des logiciels de Conception Assistée par Ordinateur https://www.britannica.com/biography/Ivan-Edward-Sutherland
3. Artiste né en 1942, considéré comme un précurseur dans le domaine de la RV pour faire de l'art https://www.britannica.com/biography/Myron-Krueger

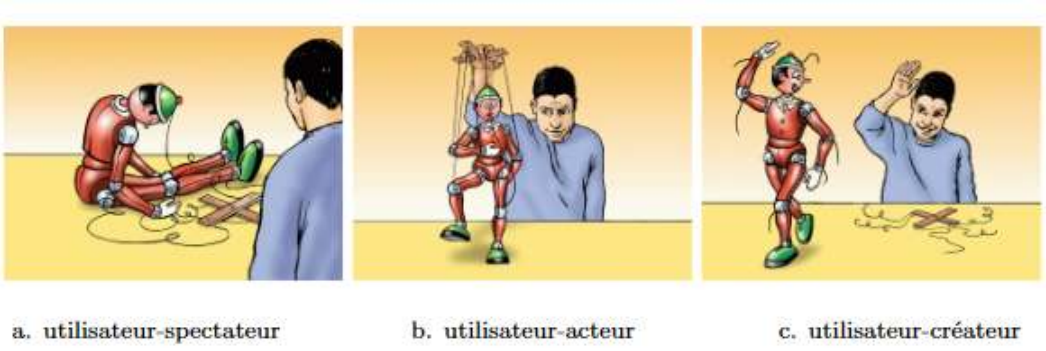


FIGURE 4.1 – La métaphore de Pinocchio (TISSEAU 2001)

nement virtuel, plus l'expérience devient proche de la réalité. Il est donc, selon Jacques Tisseau, à la fois :

- Spectateur : L'homme est en capacité de découvrir l'environnement
- Acteur : l'homme peut réaliser des actions, communiquer, se déplacer
- Créateur : l'homme peut modifier, améliorer l'EV

«*Un univers virtuel est un ensemble de modèles numériques autonomes en interaction, auquel l'homme participe en tant qu'« avatar ».[...]l'homme, modèle parmi les modèles, est à la fois spectateur, acteur et créateur de l'univers virtuel auquel il appartient*[4].»

(RHEINGOLD 1993) précise la nature du rapport entre l'homme et l'ordinateur en RV :

> «*Les interfaces homme-machine sont des outils permettant à l'intelligence humaine et aux machines de travailler plus efficacement ensemble, et ne se limitent par conséquent pas à des problèmes d'octets et de bits, de matériel ou de logiciel, de la même manière que l'architecture n'est pas au premier chef simplement une histoire de briques et de poutres.* ***Un monde virtuel, c'est un ordinateur que l'on commande non pas en écrivant des programmes mais par des gestes naturels, en le parcourant, en l'explorant du regard, et en utilisant les mains pour manipuler les objets qu'il contient****. Pour certaines tâches, la RV est l'interface homme-machine idéale* ».

Le rapport homme-machine reflète particulièrement la notion d'activité qui est centrale dans ce projet de recherche. L'usage de la RV, comme il est précisé dans cette citation de Rheingold, permet à l'utilisateur d'être «acteur» et donc de mieux appréhender les informations dans l'EV.

Selon Jacques (TISSEAU 2001) les prémices de la RV remonteraient à Platon avec ce que l'on appelle «*l'allégorie de la caverne*» qui a pour ambition de démontrer la théorie de la connaissance, ainsi que la théorie de l'être et du réel (DESTRÉE 2002). Le principe est de questionner la réalité par rapport à ce que l'on perçoit : deux prisonniers se trouvent au fond d'une caverne, un feu provoquant de la lumière est allumé à l'entrée de cette caverne. On place des objets entre la lumière et les prisonniers. Seules les ombres portées des objets au fond de la caverne sont perçues par les prisonniers qui les interprètent comme des objets réels. Cette allégorie nous permet de comprendre les prémices de cette technologie qui permet de vivre une expérience de «réalité virtuelle».

4. Voir Jacques Tisseau, «*In Virtuo*» https://www.enib.fr/~tisseau/pdf/paper/jt-vulgarisation-2.pdf

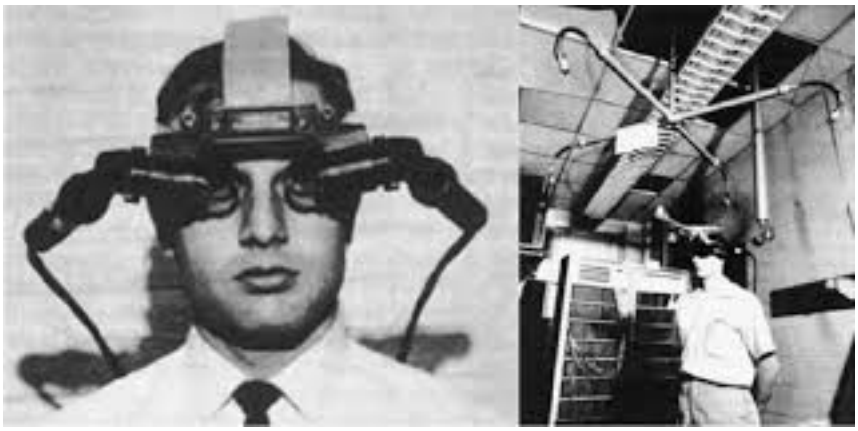


FIGURE 4.2 – Le *«Head Mounted Display»*, premier visiocasque de l'histoire (CANOPÉ 2017)

Un des premiers outils de RV mis au point est le Sensorama en 1962 (HEILIG 1962). Cet outil permet de plonger un spectateur dans un univers recréé artificiellement, il s'agit en quelque sorte d'un cinéma immersif. Ce dispositif permet de visionner cinq courts métrages en exploitant les sens du spectateur à l'aide de ventilateurs et de sièges vibrants.

Le *« Head Mounted Display»* également appelé *«l'épée de Damoclès»* créé en 1966, est sans conteste le tout premier visiocasque de l'histoire (Voir figure 4.2). Il s'agit d'un système de visualisation lié aux mouvements du visage. Les capteurs de mouvements intégrés au casque mesurent la position de la tête et modifient l'image en fonction des mouvements de l'utilisateur. Son inventeur, (SUTHERLAND 1968), propose une explication de son système :

> *"The fundamental idea behind the three-dimensional display is to present the user with the perspective image which changes as he moves. The retinal image of the real objects which we see is, after all, only two-dimensional. Thus if we can place suitable two dimensional images on the observer's retinas, we can create the illusion that he is seeing a three-dimensional object».*

Après cela, les visiocasques ne vont cesser de s'améliorer. En 1992, un nouveau type d'outil en RV fait son apparition : le CAVE ou *«Cave Automatic Virtual Environnement»* présenté par l'Université de l'Illinois lors du séminaire américain spécialisé dans l'infographie SIGGRAPH [5]. Le principe du CAVE est d'immerger une personne dans un monde virtuel à l'aide d'écrans. Semblable à un cube immersif 3D, le CAVE est équipé de capteurs de mouvements et de caméras infrarouges afin de suivre les mouvements de l'utilisateur. L'avantage est qu'il permet à l'utilisateur d'avoir pleinement conscience de son corps qu'il peut voir durant l'expérience, chose impossible avec les casques immersifs. Ce type de dispositif présente tout de même des inconvénients vis-à-vis des casques de RV. En effet, son coût est très élevé et la complexité du dispositif en fait un outil bien moins maniable.

Nous allons à présent nous intéresser à l'usage de la 3D et de la RV dans le domaine du patrimoine.

5. https://www.siggraph.org/

4.3 Les technologies de la 3D et de la réalité virtuelle appliquées au patrimoine

Le patrimoine est une trace matérielle ou immatérielle, d'un épisode historique passé. Il est représentatif des sociétés humaines et de leur identité (OLIVIER 2011) :

> *«De tout temps, les sociétés humaines ont été confrontées à la permanence des manifestations de leur passé, lesquelles ont toujours constitué – de quelque côté qu'on les prenne – la trame matérielle de leur propre présent. Depuis toujours, ce sont des monuments, des objets, mais aussi des paysages et des lieux qui ont constitué le matériau à partir duquel les sociétés ont construit leur identité.»*

Le patrimoine est donc un objet d'étude à considérer dans son contexte historique et qui implique des méthodes d'analyse liées à l'histoire, comme l'analyse des sources sous toutes ses formes, mais également celle des traces matérielles. Selon (BONNECHERE 2011), ces méthodes d'analyse requièrent *«un esprit critique aiguisé pour analyser les documents disparates du passé et pour replacer tous les faits dans une perspective dynamique.»*

Il existe deux types de patrimoines : le patrimoine matériel qui concerne la culture matérielle comme les objets et les oeuvres, et le patrimoine immatériel qui correspond, par exemple, aux savoir-faire aux gestes et aux coutumes (Voir chapitre 1). Pour (MERLEAU-PONTY 2010) cette liste est à compléter avec le patrimoine scientifique qui implique les connaissances. Cependant, selon (ANDRIEUX 1997) il existe davantage de catégories de patrimoine :

> *« [. . .] 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. »*

Au début des années 2000, on assiste à l'émergence d'un nouveau type de patrimoine, le «patrimoine numérique». En 2003, est adoptée la « *charte sur la conservation du patrimoine numérique* » lors de la 32e session de la Conférence générale de l'UNESCO. L'article 9 de la charte précise les particularités de ce type de patrimoine :

> *«Le patrimoine numérique n'a, par essence, aucune limite temporelle, géographique, culturelle ou formelle. Il est propre à une culture, mais virtuellement accessible à tout un chacun dans le monde. Les minorités peuvent s'adresser aux majorités, les particuliers à un auditoire mondial. Le patrimoine numérique de tous les pays, régions et communautés doit être conservé et rendu accessible pour donner au fil du temps une image équilibrée et équitable de tous les peuples, nations, cultures et langues.»* [6]

Il est question des bases de données, des documents audios ou vidéos ou encore des modélisations 3D. Le patrimoine numérique est donc celui des supports technologiques, et non des objets ou des édifices.

6. http://portal.unesco.org

En effet, même si la technologie de la 3D est souvent vue comme l'apanage de l'archéologie, on constate un véritable intérêt pour ces nouveaux outils dans d'autres domaines des sciences historiques comme le patrimoine, on parle même de *«Virtual Heritage»* (M. ROCHELEAU 2011).

Nous allons à présent nous intéresser aux différents modes de conception des modèles 3D pour le patrimoine.

4.3.1 Patrimoine et modèles 3D : deux typologies de mode de conception

L'utilisation de la RV pour le patrimoine a été amorcée en France en 1993 par le CNRS avec «Archéovision [7]» afin d'expérimenter les technologies 3D dans les domaines de l'archéologie et du patrimoine. En plus d'accompagner les chercheurs, Archéovision a mis en place un conservatoire de données 3D, et valorise les savoirs et savoir-faire des chercheurs et fournit aux collectivités territoriales et aux entreprises un ensemble de prestations faisant appel aux dernières technologies en matière de 3D appliquées au patrimoine archéologique et culturel.

La RV propose de nouvelles perspectives dans le domaine du patrimoine. Il existe deux cas de figure pour la modélisation 3D du patrimoine. Dans un premier cas, la modélisation concerne un patrimoine disparu dont il ne reste pas ou peu de traces. Le second cas, concerne la modélisation 3D d'un patrimoine existant. Dans les deux cas de figure, la méthodologie employée s'avère particulièrement différente. Dans le cadre d'un patrimoine disparu, le recours aux archives est essentiel. En effet, ce sont les plans, les photographies, ainsi que les ressources textuelles qui vont permettre de reconstruire ce patrimoine. Il s'agit d'une «acquisition indirecte» (VERGNIEUX et al. 2017). Cette technique est celle qui a été utilisée pour la reconstitution virtuelle du pont tournant de Brest (Voir figure 4.3) .

FIGURE 4.3 – Modélisation 3D du pont tournant de Brest [8]

Dans le cadre d'un patrimoine existant (Voir figure 4.4), le recours à des technologies informatiques est de mise, comme la prise de données LIDAR, la photogrammétrie, ou

7. http://archeovision.cnrs.fr/

8. Figure extraite de la modélisation 3D du pont tournant de Brest développée par le CERV et le CFV : https://www.youtube.com/watch?v=TARmz7_QBRM&t=102s

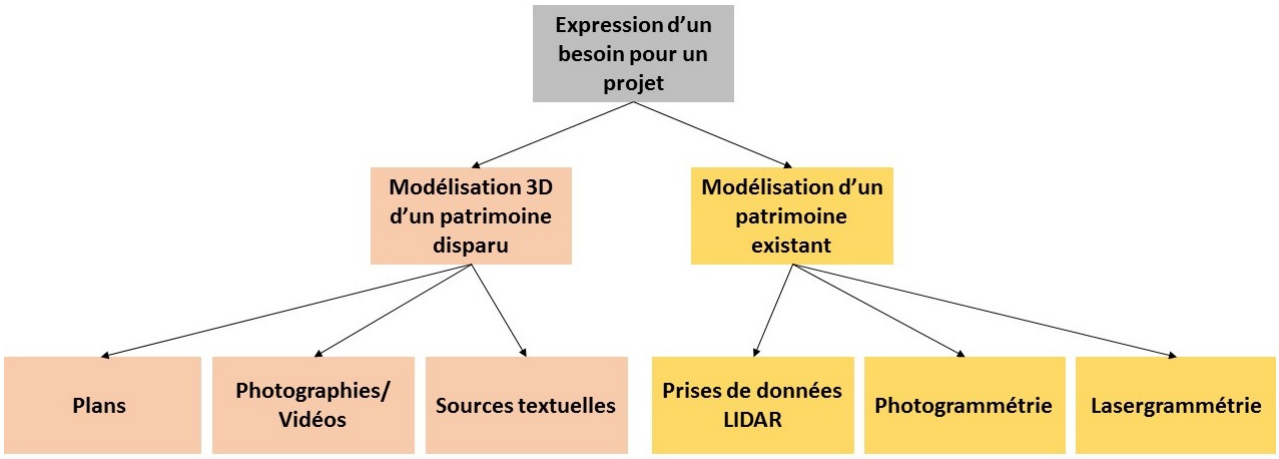


FIGURE 4.4 – Deux cas de figure pour la conception de modèles 3D pour le patrimoine

encore la lasergrammétrie. Il s'agit de ce que l'on appelle «l'acquisition directe instrumentale» (VERGNIEUX et al. 2017). Ces technologies permettent aux chercheurs de récolter les données nécessaires pour la reconstitution de l'environnement.

La modélisation 3D du patrimoine a pour ambition de reconstruire numériquement un environnement à des fins de recherche et/ou de valorisation. Il peut y avoir différentes utilisations pour les chercheurs comme reconstituer un environnement patrimonial en péril dans le but de le sauvegarder, reconstituer entièrement un patrimoine disparu, ou encore rendre un patrimoine accessible numériquement afin de transmettre des informations. Dans un cas général, les restitutions 3D de structures ou d'environnements permettent de mieux comprendre leur fonctionnement et donc les sociétés qui les ont occupés.

Nous allons à présent examiner les différentes applications des technologies 3D pour le patrimoine : la documentation et la valorisation notamment en ce qui concerne, entre autres, l'analyse et la recherche scientifique et l'étude du patrimoine industriel et de l'activité associée. Enfin, nous nous intéresserons aux outils développés pour la conservation et la transmission des données 3D.

4.3.2 Application pour documenter et valoriser

On constate une multiplication de projets cherchant à documenter et valoriser des traces de patrimoine qui peuvent parfois s'avérer en péril.

C'est le cas par exemple du patrimoine de Palmyre et de la vieille ville d'Alep menacé depuis de nombreuses années par la guerre. La cité antique de Palmyre a été détruite en grande partie, la vieille ville d'Alep a également beaucoup souffert des bombardements, qui ont détruit ou gravement détérioré les églises, les mosquées, les citadelles et les palais. Des projets sont alors mis en place avec pour objectif la création d'une documentation extrêmement précise des sites altérés et permettre ainsi un diagnostic pour d'éventuels travaux de restauration. Une start-up française travaille actuellement sur la construction d'environnement 3D du patrimoine menacé de la Syrie. Cette start-up, Iconem [9], a pour ambition de préserver la connaissance du patrimoine menacé en employant des technologies innovantes, comme la prise de vue aérienne à l'aide de drones ainsi que la modélisation 3D. Ces travaux ont pour vocation de garder des «traces» de ces sites et de permettre

9. http://iconem.com/fr/

une mise à disposition au public, comme c'est le cas pour les projets « *Virtual Palmyra* » (Ahmet DENKER 2016) et « *New Palmyra* » qui reconstruisent numériquement ces environnements dans le but de les sauvegarder et de les conserver.

Le projet « *New Palmyra* » propose en plus de la création de modèles 3D, de partager les données et les modèles pour le domaine public. Les modèles 3D de « Virtual Palmyra » produits par la faculté d'Ingénierie et de Sciences Naturelles d'Istanbul (DENKER 2017) ont nécessité plusieurs technologies, notamment des mesures tachymétriques comme le LIDAR ou l'IFSAR, la photogrammétrie, les données aériennes et terrestres, ainsi que l'étude des cartes topographiques. Toutes ces données ont permis entre autres, d'obtenir un modèle numérique de surface (*Digital Surface Model* (DSM) en anglais) qui est une représentation topographique d'une zone terrestre.

Les sites archéologiques menacés par les dégradations causées par le temps, ou par les éléments, ont également recours aux technologies de la 3D afin de sauvegarder ce patrimoine. Une modélisation 3D de l'ensemble du forum romain de Pompéi, en Italie a été développée par une équipe de recherche (GUIDI et al. 2008) . La zone archéologique modélisée est importante environ 150 x 80 m et contient plus de 350 objets répartis sur le forum. Les modélisations 3D sont construites au moyen de technologies adaptées aux caractéristiques de la zone à modéliser : capteurs radar et infrarouge, ou scanner laser. Ces données sont complétées par les technologies GPS, les données topographiques ainsi que des photographies aériennes afin que la modélisation soit la plus proche possible de la réalité. Toutes ces données permettent de couvrir une grande zone archéologique avec des détails allant du niveau géographique aux petits détails d'un bas-relief. L'ensemble du modèle 3D est géo-référencé, il peut donc facilement être lié aux bases de données archéologiques existantes, en utilisant une coordonnée spatiale en tant que requête. Cet outil participe à l'activité de conservation numérique de Pompéi, pour l'étude archéologique générale de la région et pour transmettre des informations au public.

Les technologies 3D sont des outils efficaces d'analyse et de recherche pour les scientifiques. Les recherches à partir de sources archivistiques comme des données textuelles, des plans ou encore des photographies sont des données permettant aux chercheurs de reconstruire des environnements qui n'existent plus dans le but de les documenter et de les valoriser.

Une équipe pluridisciplinaire composée de chercheurs en histoire et en informatique (BARREAU et al. 2015) a travaillé sur la reconstitution numérique du Boullongne, un navire marchand de la Compagnie des Indes Orientales du XVIIIe siècle. L'objectif de cette modélisation est de fournir une simulation navale interactive et une découverte du navire dédiée aux recherches menées par les historiens.

Cette modélisation construite au moyen de sources archivistiques comme des journaux de bord, des plans, et des schémas. L'environnement 3D du navire est complété par des sons afin de rendre l'expérience d'immersion aussi fidèle que possible. Trois entités virtuelles [10] sont présentes sur le navire : le capitaine ainsi que deux marins. Ces personnages réagissent en fonction de la position de l'utilisateur dans l'environnement virtuel. L'utilisateur peut se déplacer, prendre la barre et tirer les canons. Cette reconstitution virtuelle représente un outil supplémentaire pour la compréhension de la navigation au XVIIIe siècle et permet de mettre en valeur des sources archivistiques. Cette reconstitution historique du Navire Le Boullongne permet de comprendre l'architecture d'un navire marchand et d'apprécier les dimensions et les volumes des différents espaces. Ce projet permet à l'utilisateur de réaliser un certain nombre d'actions dans l'EV, seulement, le mo-

10. Une entité virtuelle est un personnage virtuel présent dans l'environnement.

dèle d'activité employé n'est pas un modèle en histoire, mais un modèle informatique *ad hoc*, c'est à dire codé en dur comme précisé dans le chapitre 1.

Une équipe de recherche a également développé un environnement de travail impliquant la RV dans le but de faciliter le travail des archéologues. Il s'agit d'un système immersif à grande échelle utilisable dans un CAVE [11] appelé «Immersia». La reconstitution numérique concerne la chambre centrale d'un Cairn en Bretagne, qui est un site archéologique existant.

Ce projet de recherche présente plusieurs objectifs : reconstruire les sites archéologiques en tant que modèles 3D dans des systèmes totalement immersifs, proposer aux archéologues des outils pour permettre des reconstitutions immersives, et développer l'accès de ces systèmes aux archéologues et aux chercheurs. La plateforme « immersia » [12] (GAUGNE et al. 2014), permet à l'archéologue une vision périphérique complète et rapide de l'intérieur de la chambre. Il peut se déplacer facilement dans l'environnement et zoomer sur des espaces ou des pièces intéressantes. Cette plateforme facilite grandement le travail des chercheurs, car le site archéologique est difficilement accessible et l'étude des parois de la chambre nécessite un dispositif logistique considérable comme la mise en place d'un grand échafaudage. En plus de permettre l'accès à des zones difficiles, « Immersia » propose des outils comme une lampe virtuelle afin d'observer les effets de reliefs ou des options de zooms pour certains détails. Ce projet fournit des solutions pour travailler dans des reconstitutions immersives et réalistes à grande échelle de sites archéologiques ou de monument. Cette plateforme devrait prochainement être complétée par d'autres outils, tels que des outils de mesure, d'annotations du modèle ainsi qu'un éclairage dynamique. Ce projet propose de nouvelles méthodologies de travail pour les chercheurs. D'autres travaux en histoire ayant pour vocation de devenir des outils de travail, ont nécessité des méthodologies différentes. L'équipe du CIREVE [13] (FLEURY et MADELEINE 2007) à Caen, a produit une modélisation 3D d'un espace aujourd'hui disparu, une partie de la ville de Rome au début du IVe siècle après J.-C. Cette modélisation a été produite à partir d'un plan relief en plâtre, au 1 /400 réalisé au début du XXe siècle par Paul Bigot [14], ainsi que de ressources textuelles, iconographiques et archéologiques. Ce modèle 3D a deux rôles. Il est un espace d'expérimentation pour les chercheurs afin d'analyser les sources, et de travailler sur la compréhension de l'environnement. En plus de devenir un espace d'expérimentation, il s'agit également d'un outil de démonstration à destination du public.

Dans le cas de la restitution scientifique d'édifices en péril, les technologies de la 3D et de la RV présentent de nombreux avantages. Tout d'abord, elles permettent l'étude d'édifices qui se dégradent et qui nécessitent une étude minutieuse pour leur valorisation. Elles permettent également de prolonger l'étude de sites qui se trouvent parfois dans des zones de conflits et qui sont donc difficilement accessibles, et de garder des « traces » de ce patrimoine à la fois pour la recherche mais également pour la documentation et la valorisation du patrimoine culturel en général.

La modélisation 3D et l'utilisation de la RV présentent donc des atouts pour le travail

11. Le CAVE (automatic virtual environnement), également appelé «cube immersif 3D» est un dispositif d'immersion en RV constitué d'écrans où sont projetés des vidéos 3D.

12. http://www.irisa.fr/immersia/

13. Le Centre Interdisciplinaire de Réalité Virtuelle (CIREVE) travaille sur l'utilisation de la RV dans le domaine de la recherche pour les Sciences Humaines et sociales ainsi que pour les sciences exactes et expérimentales.

14. Paul Bigot (1870-1942) est un architecte français membre de l'académie des Beaux-arts. Il produit le plan de Rome entre 1908 et 1942.

des scientifiques. En effet, ces technologies offrent des fonctionnalités innovantes afin de faciliter l'étude de ces sites qui est complétée par des méthodes scientifiques dites « classiques ». Ces travaux axent donc leurs problématiques sur l'analyse et le développement d'outils dédiés à leur étude et à leur valorisation.

4.3.3 Application pour l'étude du patrimoine industriel et de l'activité associée

Le patrimoine industriel se rapporte à la mémoire et aux traces d'un passé industriel révolu. Comme le précise Florence (HACHEZ-LEROY 2017), le patrimoine industriel est un objet d'étude complexe :

> *«Le patrimoine industriel n'a pas pour objet les seuls sites et leur matériel de production : il s'applique aussi à toutes les infrastructures sociales, économiques, culturelles, cultuelles ou sportives érigées dans le cadre d'une activité productive pour assurer les conditions de vie des salariés, aux collections d'objets scientifiques et techniques qui sont constituées et aux paysages.»* (HACHEZ-LEROY 2017)

En effet, l'étude du patrimoine historique lié à l'industrie implique des traces de son fonctionnement, son insertion dans une société ou un paysage, mais également l'étude des objets techniques, des infrastructures, et des savoirs des patrons ou des ouvriers. Selon (LAMY 1987), l'étude du patrimoine industriel implique aussi bien les vestiges matériels que les cycles technologiques ou le système de travail.

Cette étude implique des champs de recherches comme l'histoire, la géographie, l'ethnographie ou encore la sociologie. Consciente de l'importance du patrimoine industriel, une cellule dédiée à son étude et à sa protection est créée dans les années 80 en France, au sein de la direction de l'Architecture et du Patrimoine (GASNIER 2011). L'UNESCO référence également des sites industriels comme faisant partie intégrante du patrimoine mondial [15]. Des institutions voient le jour comme par exemple le TICCIH (*The International Committee for the Conservation of the Industrial Heritage*) [16] qui est l'organisation mondiale du patrimoine industriel. Ses objectifs sont la promotion, la coopération internationale en matière de préservation, de conservation, de documentation, de recherche, d'interprétation et de promotion de l'éducation du patrimoine industriel. En France, le représentant du TICCIH est le CILAC (*Comité d'information et de liaison pour l'archéologie, l'étude et la mise en valeur du patrimoine industriel*) qui est créé en 1978. Cette association a pour mission de *«Promouvoir la réflexion et la protection du patrimoine français de l'industrie sous toutes ses formes et dans tous ses aspects* [17]*»*. Le CILAC propose également une revue, *«Patrimoine industriel»*.

L'étude du patrimoine industriel fait parfois appel aux technologies numériques. Certains travaux se sont focalisés sur l'objet technique à proprement parler comme témoin d'un savoir-faire industriel. Des étudiants de l'Université de Technologie de Belfort - Montbéliard ont mené au début des années 2000, une étude de la machine à vapeur Piguet de l'Écomusée du Creusot [18]. L'étude a pour objectif de cibler les usages du numérique pour la valorisation d'un objet en fonction du type de projet (projet patrimonial ou muséal) . Ils ont pour cela produit une matrice de projet impliquant diverses techniques numériques

15. Voir la liste du patrimoine mondial par l'UNESCO : http://whc.unesco.org/fr/list/)
16. http://ticcih.org/
17. https://www.cilac.com/
18. http://www.ecomusee-creusot-montceau.fr/

où figure l'objet étudié ainsi que les différents outils numériques (comme les procédés de numérisation, les bases de données, la conception assistée par ordinateur (CAO)). Ces travaux, qui récapitulent les possibles utilisations du numérique, permettent d'évaluer leurs apports en termes de valorisation de l'objet (COTTE 2009).

D'autres projets s'intéressent également à l'objet technique représentatif de l'activité. C'est le cas des travaux menés sur une machine à laver le sel construite en 1914 et mise hors service en 1960 (LAROCHE, A. BERNARD et COTTE 2009). En état de dégradation avancée, l'objet se devait d'être «immortalisé» afin d'être conservé et ainsi valorisé. Pour ce faire, une campagne de clichés photographiques a tout d'abord été menée par les conservateurs du musée où est conservée la machine. Pour modéliser en 3D cet objet technique, la première étape fut de compiler toutes les ressources archivistiques possibles. Une digitalisation par laser de la machine est également menée afin d'obtenir une représentation 3D de l'objet. L'objet modélisé a pour principal objectif, en plus de sa sauvegarde, de comprendre le fonctionnement mécanique ainsi que la fonction de chaque composant. La modélisation est cinématique afin de pouvoir constater le mouvement de chaque composant technique. Un méta-modèle conceptuel de données est utilisé pour analyser les données numérisées dans le but d'élaborer la maquette numérique. L'usage des méta-modèles impliquant l'ingénierie des connaissances en complément de travaux en 3D est de plus en plus fréquent dans le domaine du patrimoine. Le méta-modèle « *Digital Heritage Reference Model* (DHRM)» (LAROCHE 2017), un modèle d'information dédié à la capitalisation du patrimoine est un parfait exemple. Le modèle DHRM définit l'objet technique à caractère patrimonial dans ses fonctionnalités et dans son histoire, et à différentes échelles, de sa construction jusqu'au musée.

Au-delà de la vision patrimoniale associée aux ateliers et aux machines, de nombreux travaux se focalisent davantage sur le travail de l'ouvrier. C'est le cas du projet usine 3D (BENOIT, KILOUCHI, MICHEL et POUYLLAU 2009) qui concerne deux espaces industriels : le site des forges de Marcenay-le-Lac, en Bourgogne du Nord et l'atelier C5 de Billancourt dans lequel se trouve l'entreprise automobile Renault. Le corpus documentaire utilisé pour ces modélisations, vise à informer l'histoire sociale et technique d'une partie relativement mal connue du travail ouvrier. Les sources utilisées, qu'elles soient iconographiques ou textuelles, sont interconnectées au sein d'un corpus de documents informatisés et indexés. L'intérêt de ces travaux est double : la valorisation patrimoniale du site et une meilleure compréhension des activités comme le précisent (BENOIT, KILOUCHI, MICHEL et POUYLLAU 2009) :

> *«L'utilisation de la restitution en 3D, appuyée sur l'analyse systématique de corpus documentaires complexes, vise surtout à informer l'histoire sociale et technique d'une partie relativement mal connue du travail ouvrier».*

Dans le cas du patrimoine industriel, l'utilisation des technologies 3D n'est donc pas uniquement de comprendre l'objet modélisé ou d'en garder la trace. Dans ce cas particulier, il est question de comprendre le fonctionnement de l'objet technique mais également l'activité associée comme les savoirs qui sont liés ou encore la gestuelle technique.

4.3.4 Application pour le développement d'outils consacrés à la conservation et à la transmission des données 3D

A travers la charte du «patrimoine numérique» que nous avons évoqué plus tôt, nous pouvons rend compte d'une véritable prise de conscience de l'importance de ce type de patrimoine qui correspond aux supports comme les données 3D, les bases de données

ou encore les vidéos. Nous observons depuis quelques années maintenant, le développement de plateformes et de consortiums consacrés à ce type de patrimoine notamment en ce qui concerne les données 3D comme celui du conservatoire national des données 3D SHS [19] qui est géré par Archéovision [20], soutenu et hébergé par Huma-Num [21] et en coordination avec le consortium 3D SHS [22]. Cette base de données pour l'archéologie permet la conservation des fichiers 3D et l'accessibilité des données aux chercheurs. L'archivage des données géré par l'interface Archéogrid a également pour objectif d'assurer la pérennité des fichiers numériques 3D. Ce conservatoire est une solution pour sauvegarder les données 3D produites dans le cadre de projets de l'enseignement supérieur et de la recherche en HN et en Sciences Humaines et sociales. Sur le même principe, la *London Chapter*[23], qui est *« the computer-base visualisation of cultural heritage »* propose d'établir des principes d'utilisation de la 3D et des résultats de la recherche et de la communication sur le patrimoine culturel. Le but est ainsi d'assurer leur durabilité.

Ces nouveaux outils permettent la conservation des données 3D et se traduisent par la constitution de consortiums de recherche favorisant l'échange entre les chercheurs travaillant avec ce type de technologies.

L'utilisation des technologies de la modélisation 3D et de la RV pour le patrimoine repose sur les notions de sauvegarde et transmission de ce patrimoine. Certains de ces travaux impliquant les technologies de la 3D et impliquant l'utilisation de sources historiques ou LIDAR, permettent également la création de nouvelles archives qui deviennent alors des objets de recherche et de valorisation comme le soulignent (ALLIEZ et al. 2017) : *« 3D models should be considered as research instruments for Cultural Heritage scholars, and professionals as well as end of the line digital mediation products served to a larger public»*.

Sur la figure 4.5, nous pouvons distinguer les différents types d'enjeux de l'utilisation des modèles 3D :

- **Comprendre :** En complément d'une analyse au moyen de sources classiques le modèle 3D permet de répondre à des problématiques et de visualiser des théories.
- **Communiquer :** Le développement d'un modèle 3D permet de diffuser la connaissance et de rendre explicites des informations historiques.
- **Conserver :** Le modèle 3D véhicule des connaissances scientifiques il est donc normal de vouloir le transmettre et donc de l'archiver et de le conserver au même titre que les autres supports tels que les archives ou encore les photographies. Le développement et la conservation de ces modèles 3D permettent de garder des «traces» de ce patrimoine.

Les technologies de la 3D et de la RV permettent d'aborder des phénomènes historiques difficilement saisissables par une simple analyse des archives. En effet, ces technologies offrent de nouvelles perspectives car elles donnent la possibilité de mettre en mouvement des objets techniques, de restituer des gestes, et de visualiser des évènements. Il s'agit aussi d'outils efficaces pour étudier l'activité humaine car les EV permettent à l'utilisateur de réaliser des actions et donc, de comprendre la gestuelle et le savoir-faire lié

19. https://www.archeogrid.fr/home_conservatoire3d
20. http://archeovision.cnrs.fr/
21. https://www.huma-num.fr/
22. http://portail3d.huma-num.fr/
23. http://www.londoncharter.org/

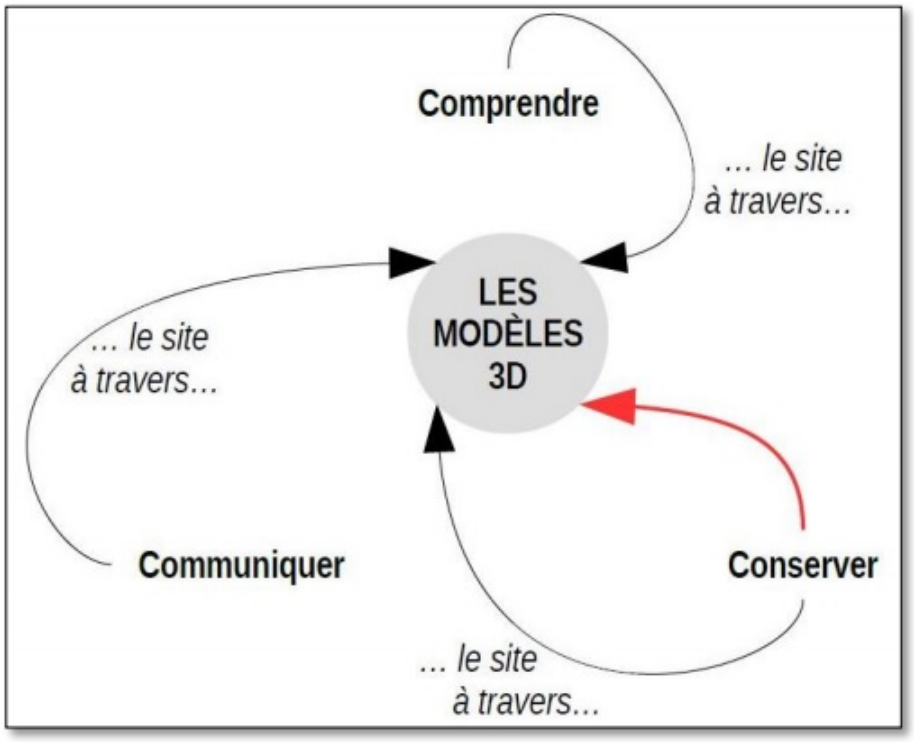


FIGURE 4.5 – L'utilisation des modèles 3D (VERGNIEUX et al. 2017)

à l'objet technique. Les sciences historiques, et notamment l'archéologie, le patrimoine et l'HST, se sont particulièrement intéressées à ces technologies qui offrent de nouveaux supports pour travailler ou pour transmettre des connaissances. Les outils numériques de la 3D ont enrichi et complété les travaux d'analyses classiques. L'élaboration de modèle 3D implique des pratiques diverses, tant dans le processus de production que dans les usages. Objets de recherche, ils sont aussi construits à des fins de valorisation dans des contextes muséaux ou de médiations à destination de différents types de publics.

Après s'être intéressés aux travaux en patrimoine et en histoire, nous allons à présent nous pencher sur l'usage des technologies de la 3D et de la RV pour faire de la médiation.

4.4 Les technologies 3D et la réalité virtuelle comme outil de médiation dans un musée

Quand on s'appuie sur la définition du dictionnaire, la médiation consiste à servir d'intermédiaire entre une ou plusieurs choses, il s'agit alors d'établir un dialogue, de créer des liens. La notion de médiation culturelle apparaît dans les années 1960[24] et a pour objectif de permettre au public d'appréhender des éléments qui ne sont pas immédiatement explicites à propos d'œuvres, d'objets, ou de concepts exposés. Selon la Charte déontologique de la médiation culturelle, l'activité de médiation renvoie aux techniques de communication culturelle, de vulgarisation, d'action et d'animation.

Depuis les années 70-80 nous assistons à une véritable révolution culturelle dans les musées. Leur nombre augmente considérablement, de nombreux aménagements sont effectués, les modalités d'exposition sont repensées et la place du public est davantage

24. Voir la charte déontologique de la médiation culturelle : https://www.enssib.fr/bibliotheque-numerique/notices/64255-charte-deontologique-de-la-mediation-culturelle

mise en avant afin de susciter l'intérêt des visiteurs. Le musée est un élément indissociable du paysage culturel occidental. Une loi de programme sur les musées basée sur quatre domaines est signée en juillet 1978 : *«Une responsabilité à l'égard des collections, une définition de la filière culturelle, une politique d'équipement, et une action réaffirmée en faveur des publics.»* (POIRIER 2004).

La place du public étant centrale, les institutions mettent alors l'accent sur des dispositifs de médiation pour valoriser les collections, susciter l'intérêt et transmettre du savoir. On assiste à l'apparition de nouvelles formes de médiation impliquant des dispositifs technologiques dans les musées : les audioguides inventés en 1962. Willem Sandberg, directeur du Stedelijk Museum [25] à Amsterdam, est le premier à proposer des visites audio au musée. Selon (MERLEAU-PONTY 2010), ce qu'elle appelle la *«révolution numérique»* a :

> *«démultiplié les possibilités de transmission des informations et de la mise en valeur des collections. Il est possible, désormais, dans le cadre d'une exposition de développer des outils de médiation adaptés ou adaptables à différents types d'objets exposés et à différents types de publics. Ces outils de médiation (travail de la lumière, audiovisuels, audio guides, site Internet avec téléchargements, compagnons de visite multimédias…) permettent de fournir aux visiteurs experts ou novices, jeunes ou plus âgés, des entrées diverses pour la découverte du patrimoine culturel.»*

L'apparition de ces outils bouleverse considérablement le rapport qu'entretiennent les musées avec leurs publics. On observe alors rapidement l'apparition de bornes multimédia, d'applications pour smartphone, de collections numérisées ainsi que de la RV qui fait également son entrée dans les dédales des musées. Les exemples d'intégration de RV dans les musées ne manquent pas. Fin 2017, le muséum d'histoire naturelle de Paris [26] a installé dans la Grande Galerie de l'évolution un cabinet de RV où les visiteurs peuvent découvrir des expositions comme « *Voyage au cœur de l'évolution*».

Cet espace offre aux visiteurs une expérience unique et pédagogique. Ce dispositif est présenté comme étant un complément de visite de la grande galerie. Les autres pays ne sont pas en reste puisque que la galerie Tate Modern de Londres [27] propose une expérience en VR à ses visiteurs pour découvrir la rétrospective de l'artiste Modigliani, à travers une exposition virtuelle, «*The Ochre Atelier*» . Le British Museum [28] propose quant à lui de se plonger à l'époque de l'âge de bronze à l'aide d'un casque de VR.

Le Musée des Arts et Métiers à Paris [29], utilise la technologie 3D pour recréer numériquement des machines de leurs collections comme ce fut le cas par exemple pour une machine à débiter le bois (CARRÉ et LUCCHETTA 2010). L'intérêt de ces modélisations est de mettre en mouvement les différents éléments de la machine et de permettre d'aborder et de comprendre plus précisément le fonctionnement de la machine. Ce fac-similé virtuel permet d'accentuer la dimension didactique et pédagogique pour l'utilisateur, qui peut se déplacer où il le désire autour de la machine, de zoomer sur un détail et de gérer les paramètres de vitesses et d'angle de vue. Cette modélisation 3D, visible sur un écran d'ordinateur pourrait éventuellement être placée dans des environnements virtuels pour permettre à des utilisateurs d'actionner les machines et ainsi comprendre l'activité associée à ces objets techniques et la gestuelle technique de l'ouvrier. L'autre intérêt de cette

25. https://www.stedelijk.nl/nl
26. https://www.mnhn.fr/
27. https://www.tate.org.uk/
28. https://www.britishmuseum.org/
29. https://www.arts-et-metiers.net/

FIGURE 4.6 – Les médiatrices virtuelles Ada et Grace au musée des sciences de Boston [34]

modélisation est bien entendu de valoriser les objets des collections du musée mais également de rendre visibles au public les objets en réserve.

Le développement des technologies 3D offre de nombreuses possibilités pour l'étude du passé et de nouveaux moyens de médiation. On observe alors l'apparition de musées virtuels qui permettent aux utilisateurs une expérience muséale entièrement virtuelle. « *The Grand Museum VR*[30] » par exemple, propose de découvrir des pièces d'art grec, romain et égyptien présent dans les plus grands musées du monde, ainsi que des archives postérieures à l'ère postclassique. Les utilisateurs peuvent le visiter au moyen d'un casque de RV ou directement sur ordinateur. Certains musées virtuels proposent également des musées d'un nouveau genre, composé d'objets qui n'existent plus. C'est le cas par exemple de « *RecoVR Mosul : a Collective Reconstruction* » qui permet de visiter le musée de Mossoul détruit en 2014. Cet environnement virtuel a été créé en réponse à cette destruction, afin de faire découvrir ces pièces du patrimoine mondial. Cette reconstruction numérique est rendue possible grâce à des photographies et permet de redonner vie à une collection historique, et de mettre en lumière les dommages de la guerre contre le patrimoine culturel. Cette initiative n'est pas sans rappeler le « *Museum of Stolen Art*[31] », un musée accessible par la RV qui recense des œuvres d'art volées ou disparues.

La RV offre également de nouvelles perspectives en ce qui concerne le guidage des visiteurs au sein d'un structure muséale. La fonction de guide à proprement parler est d'accompagner, informer et éduquer. On observe dans certains travaux la transposition de ces trois fonctions dans le virtuel. En 2009, l'Institute for Creative Technologies[32] de l'Université de Californie du sud a conçu pour le musée des sciences de Boston deux médiatrices virtuelles (Voir figure 4.6), Ada et Grace[33], qui accompagnent les visiteurs dans l'exposition «*Science Behind Virtual Humans*» (SWARTOUT et al. 2010) .

Ada et Grace ont pour mission de sensibiliser le public à l'informatique et aux technologies d'apprentissage émergentes, elles enrichissent la visite en répondant aux questions des visiteurs, et parlent de la technologie qui les a créées. Ces agents autonomes do-

30. https://www.etr.fr/app/the-grand-museum-vr/
31. http://mosa.ziv.bz/
32. https://ict.usc.edu/
33. Les prénoms ont été choisis pour rendre hommage à Ada Lovelace (1815-1852) à qui l'on doit le tout premier programme informatique et Grace Hopper (1906-1992) qui a beaucoup oeuvré dans le développement de langages de programmation.
34. Image extraite de la vidéo *«USC ICT Virtual Humans Ada and Grace Debut at the Museum of Science, Boston»* sur la chaine Youtube de l'Université de Californie du Sud : https://www.youtube.com/watch?v=oG-2qr78GbE

tés d'intelligence artificielle peuvent, en plus de discuter du contenu scientifique d'une exposition, se montrer amusants, et sont dotés d'une gamme convaincante d'émotions humaines. Ada et Grace représentent un moyen innovant pour impliquer le public dans la science. Le principe de Cyber-guide n'est pas nouveau et concerne d'autres types de technologies :

- La robotique avec par exemple le projet MINERVA (THRUN et al. 1999) qui concerne un robot programmé pour renseigner les visiteurs du musée Smithsonian.
- La réalité augmentée qui peut parfois se substituer aux audioguides classiques (MIYASHITA et al. 2008) .
- Les applications mobiles avec par exemple des prototypes de guide touristique mobile (ABOWD et al. 1997), ou le projet «*PLUG : Ubiquitous Play and Play More*» (ASTIC, AUNIS, DAMALA et GRESSIER-SOUDAN 2011) au Musée des Arts et Métiers qui permet de compléter l'offre de visite traditionnelle.

Selon (VEYRET, E. MAISEL et TISSEAU 2009), il existe différentes catégories de visites possible au moyen de «guides virtuels» :

- «Une visite planifiée» dont le contenu est prévu à l'avance
- «Une visite réactive» où les informations sont délivrées aux visiteurs de façon automatique en fonction, par exemple, de sa localisation
- «Une visite interactive» où le contenu se fait à l'initiative de l'utilisateur. Ce type de visite a été expérimenté dans le projet «Antimoine» (*ANThropologie des territoires et lecture du patrIMOINE*). Ce projet propose une approche qui repose sur un principe de co-évolution entre un utilisateur et une interface intelligente. Le musée virtuel évolue de façon incrémentale au fil des interactions de l'utilisateur et de ses centres d'intérêt par exemple (RAJAONARIVO 2018).

Ces dispositifs de médiation permettent de susciter l'intérêt des visiteurs et de convertir les visiteurs passifs en participants actifs. Utiliser la RV dans les musées permet d'élargir son public et de s'adapter à lui, mais également de renforcer la relation des visiteurs avec les objets. Le musée possède un rôle d'éducation du public envers les objets exposés. Il doit matérialiser la relation entre le « voir » et le « savoir ». En effet, le musée doit donner à voir les œuvres du patrimoine, mais aussi en éclairer le sens. Par ces nouvelles approches, se créé une nouvelle relation entre la vision et le geste, le regard et la manipulation. Il y a donc une réelle interactivité du processus de médiation due à la participation de l'utilisateur qui a une action sur l'information comme le souligne (PAQUELIN 1999) : *«Dans les produits multimédias, l'image est vue comme une expression du savoir et comme modalité d'accès à ce savoir ; c'est en agissant sur des formes imagées que le sujet accède à l'information, et parfois la transforme»*

Les nouveaux médias comme la RV, sont des moyens d'améliorer les buts institutionnels des musées en permettant aux visiteurs de s'engager de façon proactive dans leur apprentissage tout en élargissant la visibilité des collections. Comme le précise Mathieu (M. ROCHELEAU 2011), les modélisations 3D sont devenues de véritables «*catalyseurs de connaissances*» qui permettent à la fois de rendre explicites les sources premières, mais également de délivrer des informations sur un sujet précis. Cela concerne les scientifiques dans leurs laboratoires, les personnes dans un processus d'apprentissage, ou encore les publics des musées.

Dans le cas de ce projet, les technologies de la 3D et de la RV sont utilisées pour faire de l'histoire et du patrimoine mais également pour la transmission de connaissances sur ces

domaines. C'est pourquoi, nous allons à présent nous intéresser à l'usage de ces technologies pour l'apprentissage des connaissances dans un contexte de formation ou scolaire.

4.5 La réalité virtuelle pour l'apprentissage des connaissances

L'incorporation de nouvelles méthodologies impliquant les technologies de la 3D permet d'enseigner et de former différemment. En effet, ces outils constituent de véritables catalyseurs de connaissances et de motivation qui sont parfaitement compatibles avec une formation dite «classique».

La RV représente un outil efficace pour l'apprentissage. Cela s'explique en partie par le fait que l'apprentissage est un processus cognitif nécessitant une participation active de l'individu. Ces outils proposent donc de nouvelles possibilités d'usage pour l'apprentissage dont les premières applications étaient les simulateurs de vol dans les années 70.

Nous allons nous intéresser à deux domaines qui sollicitent ce type de technologies : la formation professionnelle et l'éducation.

4.5.1 La réalité virtuelle pour l'acquisition de connaissances dans un contexte de formation

Nous assistons depuis plusieurs années au développement de dispositifs de formation impliquant la technologie de la RV. De nombreux domaines ont recours à ces méthodes comme le domaine médical, le management et la vente ainsi que le domaine industriel pour l'apprentissage de procédures.

Il existe différents types d'outils employant la RV pour l'apprentissage : les EIAH (*environnements informatiques pour l'apprentissage humain*) ou encore les EVAH (*environnements virtuels pour l'apprentissage humain*). Selon (TCHOUNIKINE 2004) :*« Ce type d'environnement mobilise des agents humains (élève, enseignant, tuteur) et artificiels (agents informatiques, qui peuvent eux aussi tenir différents rôles) et leur offre des situations d'interaction ».*

- Un EVAH propose de placer l'utilisateur dans un environnement 3D, face à des objets virtuels dans le but d'acquérir des connaissances sur un domaine en particulier. Cet apprentissage en l'occurrence, concerne par exemple des procédures, des gestes techniques ou encore des comportements. La RV permet à l'utilisateur d'agir différemment du monde «réel» et de réaliser des scénarios impossibles à reproduire dans la réalité.
- Un EVI (*Environnement Virtuels Informés*) est un type particulier d'environnement virtuel permettant la combinaison entre la RV, l'intelligence artificielle, et des agents autonomes. (DONIKIAN 2004) nous donne sa définition d'un EVI : *« Un EVI est un environnement virtuel dont les modèles 3D contiennent non seulement la géométrie de la scène mais aussi toutes les informations pertinentes pour les entités comportementales à simuler comme les éléments symboliques ou sémantiques qui peuvent permettre à ces entités de percevoir, décider et agir.»* Ces EVI ou IRVE pour *«Information-Rich Virtual Environment»* (BOWMAN et al. 2003), sont donc des environnements virtuels qui peuvent être complétés par l'ajout d'informations sur l'environnement comme la consultation de documents par exemple. Les EVI sont donc particulièrement utilisés dans le domaine de la formation. Pour fonctionner, ces EVI doivent

être dotés de base de connaissances permettant d'alimenter l'environnement virtuel, et donc les entités qui s'y trouvent.

Les environnements virtuels pour la formation permettent une immersion des utilisateurs proches des situations réelles de travail. Ils offrent ainsi de nouvelles perspectives. Ce type de dispositif présente de nombreux avantages vis-à-vis d'une formation de type «classique» car selon (LOURDEAUX 2001) il permet de :

- Réaliser des actions sans danger
- Réaliser des scénarios de formations impossibles à reproduire dans la réalité
- Simuler des scénarios et des conditions rares
- Changer les scénarios d'apprentissage en fonction de l'évolution de la personne formée
- Définir l'environnement selon les objectifs pédagogiques
- Conserver le suivi des formés en enregistrant certaines données du scénario

Les environnements virtuels d'apprentissage sont généralement dotés de tuteurs incarnés virtuels que l'on appelle également agents conversationnels. Ils sont dotés d'un comportement intégré dans un scénario pédagogique afin de réaliser des actions au sein de l'environnement (QUERREC, TAOUM, NAKHAL et BEVACQUA 2018). La présence de ces agents a des effets bénéfiques à la fois sur l'engagement de l'apprenant et sur l'efficacité de la formation. Le tuteur virtuel peut raisonner dans un contexte pédagogique sur les actions de l'apprenant afin de le guider et de l'aider comme l'explique (IERONUTTI et CHITTARO 2007) :

> *«Virtual humans can communicate with students in a natural way by exploiting both verbal and non-verbal communication. In particular, they can perform deictic gestures to focus the students attention towards a particular aspect, while facial expressions can be used to make the dialogue with learners more engaging and natural.»*

Dans un contexte de formation, les entités virtuelles ou tuteurs peuvent revêtir plusieurs rôles :

- Ils sont capables d'expliquer des tâches à réaliser ainsi que des procédures aux apprenants (RICKEL et JOHNSON 1999)
- Ils peuvent guider les apprenants au sein de l'environnement virtuel en leur désignant des objets ou en délivrant des informations supplémentaires (QUERREC, TAOUM, NAKHAL et BEVACQUA 2018)
- Ils peuvent également simuler des situations dangereuses nécessaires au processus de formation (TRAUM et RICKEL 2002)

Pour cela, il est nécessaire d'élaborer un scénario pédagogique ou scénario d'apprentissage dont voici une définition générique (PERNIN et LEJEUNE 2004) :

> *«Un scénario d'apprentissage représente la description,effectuée a priori ou a posteriori, du déroulement d'une situation d'apprentissage ou unité d'apprentissage visant l'appropriation d'un ensemble précis de connaissances, en précisant les rôles, les activités ainsi que les ressources de manipulation de connaissances, outils et services nécessaires à la mise en œuvre des activités».*

Les scénarios pédagogiques au sein d'environnements virtuels permettent d'acquérir des connaissances sur un domaine et de reproduire des procédures. Ainsi, plusieurs scénarios peuvent être mis au point comme par exemple un scénario de maintenance d'une machine ou d'évacuation d'urgence. L'élaboration de ces scénarios implique la collaboration d'experts du domaine mais également de pédagogues.

De nombreux groupes industriels ont recours à la RV pour la formation des professionnels comme Bouygues Construction [35]. Ce groupe a développé une formation dans le but de contribuer à réduire les accidents du travail et les maladies professionnelles dans le secteur du BTP. Grâce à la RV l'utilisateur se trouve dans un chantier virtuel avec une tâche à accomplir. Le but est de le pousser à commettre une erreur afin de l'inciter à être plus vigilant et à prendre conscience des dangers. Les sujets majeurs développés dans cette application sont le travail en hauteur et la chute d'objets. L'utilisation de ce dispositif permet de placer l'apprenant dans une situation qui est impossible à reproduire dans la réalité car trop dangereuse, et permet de compléter une formation de type classique.

La notion d'apprentissage se trouve au coeur de ces dispositifs qui permettent de mettre en place des procédures d'apprentissage selon un objectif pédagogique particulier. Cela implique la modélisation des connaissances ainsi que l'interaction entre le système et l'usager.

Des travaux ont permis d'accroître l'efficacité des Environnements virtuels de formation comme par exemple le développement du méta-modèle de représentation des connaissances, MASCARET(*Multi Agent System for Collaborative, Adaptive and Realistic Environments for Training*) (QUERREC 2010). L'approche de ce méta-modèle est basée sur la modélisation pour la conception d'environnements virtuels informés (EVI).

Cette plateforme représente un cadre générique permettant une modélisation des EVI. Pour cela, elle utilise le langage de modélisation standard UML (*Unified Modeling Language*) pour accéder au contenu sémantique de l'environnement. MASCARET est à l'origine consacré à la modélisation d'Environnements Virtuels pour l'Apprentissage Humain (EVAH), mais a depuis été utilisé pour d'autres domaines d'application.

Le principe de MASCARET est d'externaliser les connaissances spécifiques sur le domaine d'apprentissage ainsi que les scénarios pédagogiques. Ces connaissances sont considérées comme des données qui sont produites par les différents intervenants dans la conception de la situation pédagogique. Pour cela, MASCARET propose de définir un langage unifié qui permet de représenter deux aspects de la situation d'apprentissage :

- Sa forme à travers le scénario pédagogique
- Son contenu c'est à dire le geste ou la procédure métier

Un scénario pédagogique dans MASCARET est considéré comme une procédure métier particulière, résultante de l'expertise d'un métier particulier, celui de pédagogue. Les modèles peuvent partager le même langage de description et être considérés comme deux instances d'un même méta-modèle.

Le langage UML adopté pour produire ces données est formalisé pour pouvoir être interprété de manière automatique par l'ordinateur. Dans le cadre de la RV, MASCARET est un interpréteur UML et il est également graphique ce qui le rend utilisable aux non-informaticiens. De manière classique, un scénario est doté d'objectifs pédagogiques, de conditions préalables que l'on nomme prérequis, d'une organisation pédagogique (les rôles, l'activité pédagogique) et d'un environnement virtuel. MASCARET propose ainsi un modèle formel de scénario pédagogique comme une extension UML.

35. https://blog.bouygues-construction.com/fr/en-direct-des-chantiers/robotique-realite-virtuelle-service-sante-securite/

Une organisation pédagogique est composée de rôles et représente un ensemble de services. L'agent peut être soit virtuel soit humain et jouera un rôle et proposera sa propre implémentation. Dans le cadre de cette organisation pédagogique, le rôle participe au scénario pédagogique. Celui-ci est défini par une activité qui adapte les actions pédagogiques tout en modifiant l'environnement virtuel qui est composé du système et des ressources pédagogiques.

Le chapitre 10 est consacré au processus de conception du Lab in Virtuo. Une partie sera consacrée à l'usage de MASCARET, à l'apprentissage des connaissances et à la médiation culturelle.

La technologie de la RV représente de nouvelles perspectives dans le domaine de la formation et particulièrement dans le domaine de l'industrie. Des expérimentations sont régulièrement menées afin d'évaluer la pertinence de ce type de formations. C'est le cas par exemple avec le projet «SKILLS» (GAVISH et al. 2011) destiné à la formation de la maintenance industrielle. Le dispositif de formation comprend deux plateformes, l'une en RV, l'autre en réalité augmentée. Les évaluations menées ont démontré que ces dispositifs de formation ont permis de réduire considérablement le nombre d'erreurs de la part des apprenants.

Des travaux ont été menés afin d'évaluer leur efficacité comme ceux d'un environnement virtuel pour l'apprentissage d'une procédure complexe dans le domaine biomédical (HOAREAU, QUERREC, BUCHE et GANIER 2017). Ces environnements virtuels sont considérés comme efficaces, et les résultats de ces évaluations servent de base pour les développements futurs.

Particulièrement présente dans le domaine de la formation, la technologie de la RV se développe également pour l'apprentissage des connaissances dans un contexte scolaire.

4.5.2 La réalité virtuelle pour l'apprentissage des connaissances dans un contexte scolaire

Des études ont été menées pour comprendre le véritable apport de l'usage de la RV dans le contexte scolaire. Selon (STUART et THOMAS 1991), il existe sept intérêts principaux de l'usage de la RV en classe :

- Explorer des environnements dont les élèves n'ont pas accès.
- Explorer des choses réelles sans changements d'échelles dans la taille et le temps, afin d'être examinées plus efficacement
- Re-créer des lieux altérés ou disparus
- Interagir avec des personnes ayant un intérêt commun,qui se trouvent dans des régions éloignées afin de collaborer à des projets
- Interagir avec de vraies personnes de façon irréaliste dans un environnement virtuel
- Créer et manipuler des concepts abstraits, comme des structures de données ou des fonctions mathématiques
- Interagir avec des êtres virtuels, tels que des personnages historiques

En 2018 une expérience sur l'usage de la RV pour l'enseignement de l'histoire a eu lieu à l'université de Bayburt en Turquie (G. YILDIRIM, ELBAN et S. YILDIRIM 2018). Dans le cadre de cette étude, 12 hommes et 13 femmes étudiants de première année du cours « Histoire de la Civilisation ». L'intérêt de cette étude était de faire utiliser un dispositif de RV par les étudiants dans le but de récolter leurs ressentis et de voir si selon eux, ce dispositif

est efficace pour l'enseignement de l'histoire. Les casques VR ont été complétés par l'utilisation de chaises rotatives à 360 ° afin d'améliorer l'expérience des participants. Durant cette expérience, les étudiants ont pu, entre autres, découvrir Kaaba [36]. L'environnement était complété par des éléments audio et visuels. A la fin de l'expérience les étudiants ont jugé que les environnements de RV sont un facteur d'augmentation de la motivation, car il permet une opportunité d'apprentissage individuel. Dans le cadre de cette expérience il s'est avéré que l'utilisation de la RV pour l'histoire est considérée comme utile notamment pour montrer des événements historiques importants. Selon les étudiants cela permet de mieux observer et comprendre ces événements et d'avoir la sensation d'être présent. Dans le cas de cette expérimentation, les résultats démontrent que la RV est un réel apport pour l'enseignement de l'histoire. De plus, elle permet aux étudiants d'avoir une meilleure visualisation de certaines époques et/ou évènements :

> *"Many learning outcomes can be obtained with teaching materials, which are prepared based on VR technology, including students visualize abstract concepts, observe atomic or astronomic events, interact with events, make excursions and experience unsecure environments in a secure manner."* (G. YILDIRIM, ELBAN et S. YILDIRIM 2018)

Selon (TRAUB 1991),l'emploi de la RV pour l'apprentissage dans une salle de classe permet de «*mieux comprendre les complexités de l'expérience d'une personne ou d'un événement spécifique*» et favorise le développement de nouvelles perspectives sur la place de l'utilisateur dans le continuum historique.

L'histoire est une discipline scientifique qui possède les conditions adéquates pour bénéficier des technologies dans le processus d'éducation. En effet, la RV propose aux utilisateurs une réelle perception d'évènements historiques et de nouvelles possibilités d'apprentissage. La RV, combinée ou non à d'autres technologies, offre de nouvelles méthodes pour l'apprentissage des connaissances. Axés sur l'expérience de l'apprenant, des cours employant la RV permettent des apprentissages de savoir d'action et rendent plus tangibles des champs généralement présentés comme abstraits. L'environnement virtuel peut par exemple être enrichi par des séquences vidéo ou audio. Les technologies de RV présentent donc des atouts pour la pédagogie dans le domaine de la recherche car elles permettent une immersion réelle dans le «passé historique» d'une manière qui n'était pas possible auparavant. L'immersion dans un environnement virtuel permet le même type d'interaction naturelle avec les objets que celle qui est engagée dans le monde réel. L'apprentissage est véritablement lié à l'action, et c'est à travers l'interaction avec le monde virtuel que la connaissance est construite. A ce propos, Seymour Papert, mathématicien, informaticien et éducateur, développe la théorie du «constructionnisme» (HAREL et PAPERT 1991) pour décrire la construction de connaissances qui se développent grâce à l'interaction physique avec des objets dans le monde. L'usage de la RV pour l'apprentissage présente des atouts pour l'apprenant mais également pour le formateur. En effet, le recours à ce genre de technologie permet au formateur de re-visionner certaines actions qu'a menées l'apprenant afin d'étudier les erreurs commises et de visualiser les points forts et les points faibles. Il est également possible de faire intervenir un formateur virtuel simulé par un système «intelligent». Il peut s'agir d'une voix, d'un texte qui s'affiche ou d'un personnage virtuel. Il s'agit alors d'un tuteur intelligent (LOURDEAUX 2001).

Même si la formation au travers de la RV peut s'avérer particulièrement intéressante à la fois pour l'apprenant et pour formateur, il est nécessaire de préciser que la RV, dans

36. La Kaaba est une construction de forme cubique qui se trouve au milieu de la Mosquée Sacrée de la Mecque.

ce contexte, présente tout de même des limites. En effet, les déplacements et les manipulations d'objets peuvent s'avérer compliqués pour l'utilisateur et sont parfois soumis à des temps de latence ce qui peut perturber l'expérience. De plus, certaines personnes peuvent être atteintes de ce que l'on appelle «le mal du simulateur» qui touche particulièrement les personnes qui n'ont pas une grande expérience de ce genre de technologie.

4.6 Synthèse

Avoir recours aux reconstitutions en RV permet de conduire à un enrichissement des méthodologies. L'immersion, permet d'étudier le patrimoine différemment et d'ouvrir de nouvelles perspectives de recherche. En effet, être placé dans des situations virtuelles permet de valider des activités spécifiques, et être en interaction avec l'environnement pour évaluer et comprendre l'environnement reconstitué. Il s'agit de fournir un nouvel environnement de travail pour les scientifiques, mais également un nouvel outil pour la médiation et l'apprentissage des connaissances . Les technologies de la modélisation 3D permettent donc de solutionner des problèmes que les méthodes classiques ne peuvent résoudre.

Comme il est précisé dans l'introduction (Voir Chapitre 1), il existe des travaux de modélisations en HST, en ingénierie des connaissances et en RV, seulement, ces travaux ne se focalisent pas sur l'activité. L'outil numérique développé dans le cadre de cette thèse place l'activité au centre de toutes les réflexions car le but est de développer un modèle d'activité qui traverse ces différents champs de recherche. Dans le cadre du Lab in Virtuo, la technologie RV a pour ambition de générer un environnement virtuel représentant un système technique à partir de données historiques grâce à l'ingénierie des connaissances. Il existe des travaux sur l'utilisation des ontologies pour l'histoire et le patrimoine, mais l'utilisation des méta-modèles dans ces domaines est plus rare. Nous pouvons citer tout de même le « *Digital Heritage Reference Model* (DHRM)» qui s'intéresse particulièrement à l'objet technique et à ses fonctionnalités dans l'histoire. Notre approche est différente avec l'utilisation du méta-modèle ANY-ARTEFACT (Voir chapitre 5). Au même titre qu'avec le DHRM, l'objet technique est étudié, mais dans notre cas, le curseur est davantage placé sur l'activité. En effet, l'intérêt est d'étudier l'activité humaine en se basant sur l'objet technique, les savoirs associés ainsi que les acteurs. De nombreux projets en histoire ou en patrimoine utilisant la RV, proposent la reconstruction d'objets techniques comme ce fut le cas pour la machine à débiter le bois au musée des arts et métiers. Dans ce cas, la modélisation 3D met l'accent sur le fonctionnement de la machine, sur les caractéristiques techniques de l'objet sans forcément s'intéresser à la gestuelle associée ou aux connaissances nécessaires pour l'utiliser. Finalement l'objet est très souvent mis en avant au détriment de l'humain. Nous sommes ici dans des questionnements d'histoire immatérielle dans le domaine industriel.

En histoire et en patrimoine le rapport aux sources est un élément absolument essentiel. En effet, leur fiabilité a pour but d'assurer le caractère scientifique des modèles 3D. Afin de mettre au point une modélisation qui soit recevable par la communauté scientifique, plusieurs types de sources peuvent être utilisés, tels les dessins, les photographies, les recherches sur le terrain, ou encore les plans de constructions. Un modèle 3D qui n'est pas sourcé et qui se situe dans l'approximation ou dans l'interprétation n'a pas de valeur historique. L'historien se doit de retranscrire la réalité et non l'interpréter. Ce travail de modélisation 3D a également pour objectif de rendre compréhensibles des informations archivistiques qui ne le sont pas forcément, et de mettre en image des informations afin de faciliter leur compréhension. Ceci est particulièrement le cas pour ce qui est de

l'activité et du geste technique des ouvriers. Ainsi, le modèle permet de confronter les ressources documentaires compilées. L'importance du modèle 3D est avérée, mais dans le cadre de nos travaux sur le Lab in Virtuo, la méthodologie permettant de générer un environnement virtuel à partir de données historiques est privilégiée. En effet, ces méthodologies pourraient être mises à exécution à partir de modèles 3D consultables dans le conservatoire numérique du consortium 3D SHS.

Malgré de grandes similitudes avec certains des projets présentés dans cet état de l'art, tant par le domaine que par les méthodologies, le Lab in Virtuo développé dans le cadre de cette thèse présente tout de même des particularités qui lui sont propres :

- Une méthodologie d'analyse de sources en HST centrée sur l'activité
- Un modèle d'activité en HST et en HN
- Un environnement virtuel généré à partir de données historiques où il est possible de réaliser des actions et d'acquérir des connaissances sur l'activité

Le développement de cet outil consacré aux paysages culturels industriels, n'est pas limité à un lieu ou à un système technique en particulier. En effet, les méthodes du Lab in Virtuo peuvent-être employées pour différents cas d'études.

4.7 Synthèse des états de l'art

Dans le cadre de ce projet de thèse nous avons proposé trois états de l'art dans le but de positionner les travaux vis-à-vis des domaines concernés.

Le premier état de l'art intitulé *«Les paysages culturels industriels et l'activité en Histoire des Sciences et des Techniques»* est consacré aux recherches en HST et à l'étude des paysages culturels industriels et portuaires. Dans ce chapitre, il est question de l'étude des macro-systèmes technologiques complexes et de la modélisation des ports dans une optique d'histoire comparée. L'intérêt de ce chapitre est d'évaluer la place de l'étude de l'activité dans ces projets. Les travaux de modélisation des ports s'appuient particulièrement sur l'évolution de l'environnement et des infrastructures mais très peu sur l'activité à proprement parler. Toutefois, nous avons vu que dans le cadre des travaux en HST, la question de l'activité et des notions d'artefact, d'acteur et de savoirs est présente.

Le second état de l'art *«Ingénierie des connaissances pour la représentation de l'activité et l'histoire»* s'intéresse à la modélisation des connaissances et notamment aux ontologies de domaine comme le CIDOC-CRM qui est couramment utilisé dans le domaine du patrimoine. L'objectif est ici de mettre en avant des travaux en histoire et en patrimoine permettant d'aborder des questions historiques mais également d'activité humaine. Il s'avère qu'en ingénierie des connaissances il n'est pas possible de définir finement l'agencement d'actions représentant une activité ni de la restituer ce qui nécessite de mettre en place de nouvelles méthodologies.

Enfin, le dernier état de l'art *«Les technologies 3D et la RV pour le patrimoine, la médiation et l'apprentissage des connaissances»* permet d'évaluer les apports des technologies 3D et de la RV pour le patrimoine, la médiation et l'apprentissage des connaissances. Dans certains de ces projets, notamment en ce qui concerne l'apprentissage des connaissances, la notion d'activité est centrale car l'utilisateur peut effectuer des actions dans l'EV, et donc acquérir des connaissances sur des procédures par exemple. Mais cette notion d'activité n'est pas clairement représentée dans les projets en patrimoine qui se focalisent davantage sur la reconstruction d'édifices ou d'artefacts au détriment de l'étude des notions liées à l'activité, comme les acteurs ou les savoirs.

L'intérêt du projet Lab in Virtuo consacré aux paysages culturels industriels et à l'activité associée est de développer un modèle d'activité traversant ces domaines de recherche dans une démarche transdisciplinaire. Ces trois états de l'art permettent donc de positionner les travaux en HST, ingénierie des connaissances et RV afin d'évaluer la pertinence des méthodologies mais également les spécificités qui lui sont propres.

Références chapitre 4

ABOWD Gregory D et al. (1997), « Cyberguide: A mobile context-aware tour guide », *Wireless networks*, t. 3, n° 5, p. 421–433.

ALLIEZ Pierre et al. (2017), *Digital 3D Objects in Art and Humanities: challenges of creation, interoperability and preservation. White paper*.

ANDRIEUX Jean-Yves (1997), *Patrimoine et histoire*, Belin Paris.

ASTIC Isabelle, AUNIS Coline, DAMALA Areti et GRESSIER-SOUDAN Eric (2011), « A ubiquitous mobile edutainement application for learning science through play », in *Museum and the Web*.

BARREAU Jean-Baptiste et al. (2015), « An immersive virtual sailing on the 18th-century ship Le Boullongne », *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, t. 24, n° 3, p. 201–219.

BENOIT Serge, KILOUCHI Shadia, MICHEL Alain et POUYLLAU Stéphane (2009), « Usines 3D. La simulation pour questionner les sources et les vestiges de l'histoire industrielle », in *Virtual Retrospect 2009*, t. 4, Editions Ausonius, p. 31–40.

BONNECHERE Pierre (2011), *Profession historien*, Les Presses de l'Université de Montréal.

BOWMAN Doug A et al. (2003), « Information-rich virtual environments: theory, tools, and research agenda », in *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, ACM, p. 81–90.

CANOPÉ (2017), « apprentissage á travers la réalité virtuelle ».

CARRÉ Ann-Laure et LUCCHETTA Sylvain (2010), « Le fac-similé virtuel ou la remise en fonctionnement: deux choix distincts au sein des collections du Musée des Arts et Métiers. », *Utopia instrumentalis: fac-similés au musée*, p. 36.

COTTE Michel (2009), « Les techniques numériques et l'histoire des techniques. Le cas des maquettes virtuelles animées », *Documents pour l'histoire des techniques. Nouvelle série*, n° 18, p. 7–21.

DENKER A (2017), « PALMYRA AS IT ONCE WAS: 3D virtual reconstruction and visualization of an irreplacable lost treasure », *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, t. 42.

DENKER Ahmet (2016), « VIRTUAL PALMYRA: 3D reconstruction of the lost reality of "the bride of the desert" », in *8th International congress on archaeology, computer graphics, cultural heritage and innovation*, Editorial Universitat Politècnica de València, p. 318–320.

DESTRÉE Pierre (2002), « Platon, La République. Traduction, introduction et notes par Georges Leroux ».

DONIKIAN Stéphane (2004), « Modélisation, contrôle et animation d'agents virtuels autonomes évoluant dans des environnements informés et structurés », *Hdr, IRISA*.

FLEURY Philippe et MADELEINE Sophie (2007), « Réalité virtuelle et restitution de la Rome antique du IVe siècle après J.-C. », *Histoire urbaine*, n° 1, p. 157–165.

FUCHS Philippe (1996), *Les interfaces de la réalité virtuelle*, éditeur AJIIMD.

GASNIER Marina (2011), *Patrimoine industriel et technique. Perspectives et retour sur 30 ans de politiques publiques au service des territoires*, Lieux Dits.

GAUGNE Ronan et al. (2014), « Immersia, an open immersive infrastructure: doing archaeology in virtual reality ».

GAVISH Nirit et al. (2011), « Transfer of skills evaluation for assembly and maintenance training », in *BIO Web of Conferences*, t. 1, EDP Sciences, p. 00028.

GUIDI Gabriele et al. (2008), « 3D Modeling of Large and Complex Site Using Multi-sensor Integration and Multi-resolution Data. », in *VAST*, p. 85–92.

HACHEZ-LEROY Florence (2017), « Un défi d'avenir : le patrimoine industriel », *Entreprises et histoire*, n° n°87, p. 5–13.

HAREL Idit Ed et PAPERT Seymour Ed (1991), *Constructionism*. Ablex Publishing.

HEILIG Morton L (1962), *Sensorama simulator*.

HOAREAU Charlotte, QUERREC Ronan, BUCHE Cédric et GANIER Franck (2017), « Evaluation of internal and external validity of a virtual environment for learning a long procedure », *International Journal of Human–Computer Interaction*, t. 33, n° 10, p. 786–798.

IERONUTTI Lucio et CHITTARO Luca (2007), « Employing virtual humans for education and training in X3D/VRML worlds », *Computers & Education*, t. 49, n° 1, p. 93–109.

LAMY Yvon (1987), *Hommes de fer en Périgord au XIXe siècle*, La Manufacture.

LAROCHE Florent (2017), *KLM for Heritage*, Habilitation à diriger des recherches, Université de Nantes.

LAROCHE Florent, BERNARD Alain et COTTE Michel (2009), « Une vision produit-process et sa méthodologie dédiée à la sauvegarde du patrimoine technique et industriel sous une forme virtuelle », *Revue MICADO Ingénierie Numérique Collaborative*, 26–pages.

LOURDEAUX Domitile (2001), « Réalité virtuelle et formation: conception d'environnements virtuels pédagogiques », thèse de doct., École Nationale Supérieure des Mines de Paris.

MERLEAU-PONTY Claire (2010), *La transmission culturelle, nouveaux modes de médiation*.

MIYASHITA Tsutomu et al. (2008), « An augmented reality museum guide », in *Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, IEEE Computer Society, p. 103–106.

OLIVIER Laurent (2011), « Temps des vestiges et mémoire du passé: à propos des traces, empreintes et autres palimpsestes », *Le Genre humain*, n° 1, p. 309–326.

PAQUELIN Didier (1999), *De l'image au savoir*, Xoana.

PERNIN Jean-Philippe et LEJEUNE Anne (2004), « Dispositifs d'apprentissage instrumentés par les technologies: vers une ingénierie centrée sur les scénarios », in *Technologies de l'Information et de la Connaissance dans l'Enseignement Supérieur et de l'Industrie*, Université de Technologie de Compiègne, p. 407–414.

POIRIER Philippe (2004), « Musées et politiques culturelles en France », *La Lettre de l'OCIM*, t. 3, p. 13–18.

QUERREC Ronan (2010), « Apprentissage de procédures en environnements virtuels », thèse de doct., Université Européenne de Bretagne.

QUERREC Ronan, TAOUM Joanna, NAKHAL Bilal et BEVACQUA Elisabetta (2018), « Model for Verbal Interaction between an Embodied Tutor and a Learner in Virtual Environments », in *18th ACM International Conference on Intelligent Virtual Agents (IVA'18)*, p. 197–202.

RAJAONARIVO Hiary Landy (2018), « Approche co-évolutive humain-système pour l'exploration de bases de données », thèse de doct.

RHEINGOLD Howard (1993), *La réalité virtuelle: quand l'illusion a toutes les apparences de la réalité*, Dunod.

RICKEL Jeff et JOHNSON W Lewis (1999), « Animated agents for procedural training in virtual reality: Perception, cognition, and motor control », *Applied artificial intelligence*, t. 13, n° 4-5, p. 343–382.

ROCHELEAU Mathieu (2011), « La modélisation 3D comme méthode de recherche en sciences historiques », in *Actes du 10e colloque international d'ARTEFACT*, p. 245–265.

STUART Rory et THOMAS John C (1991), « The implications of education in cyberspace », *Multimedia Review*, t. 2, n° 2, p. 17–27.

SUTHERLAND Ivan E (1968), « A head-mounted three dimensional display », in *Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I*, ACM, p. 757–764.

SWARTOUT William et al. (2010), « Ada and Grace: Toward realistic and engaging virtual museum guides », in *International Conference on Intelligent Virtual Agents*, Springer, p. 286–300.

TCHOUNIKINE Pierre (2004), « Platon-1: quelques dimensions pour l'analyse des travaux de recherche en conception d'EIAH ».

THRUN Sebastian et al. (1999), « MINERVA: A second-generation museum tour-guide robot », in *Proceedings 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No. 99CH36288C)*, t. 3, IEEE.

TISSEAU Jacques (2001), « Réalité virtuelle: autonomie in virtuo », *Habilitation à diriger des recherches, Université de Rennes*, t. 1.

TRAUB David C (1991), « Simulated world as classroom: The potential for designed learning within virtual environments », *Virtual reality: Theory, practice, and promise*, p. 111–121.

TRAUM David et RICKEL Jeff (2002), « Embodied agents for multi-party dialogue in immersive virtual worlds », in *Proceedings of the first international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems: part 2*, ACM, p. 766–773.

VERGNIEUX Robert et al. (2017), *Livre blanc du Consortium 3D SHS*.

VEYRET Morgan, MAISEL Eric et TISSEAU Jacques (2009), « Guide virtuel autonome immergé dans un environnement réel dynamique », *Technique et Science Informatiques*, t. 28, n° 6-7, p. 831–856.

YILDIRIM Gürkan, ELBAN Mehmet et YILDIRIM Serkan (2018), « Analysis of Use of Virtual Reality Technologies in History Education: A Case Study. », *Asian Journal of Education and Training*, t. 4, n° 2, p. 62–69.

Deuxième partie

Paysages culturels et activité en Histoire des Sciences et des Techniques

La deuxième partie de cette thèse nommée *"Paysages culturels et activité en Histoire des Sciences et des techniques"* est composée de deux chapitres :

- **Chapitre 5 :** Approches méthodologiques pour l'étude des paysages culturels maritimes industriels en Histoire des Sciences et des Techniques
- **Chapitre 6 :** Application du modèle HST-ARSENAL à l'étude des arsenaux : les indicateurs liés à la mobilité
- **Chapitre 7 :** Application du modèle HST-ARSENAL à l'étude des arsenaux : Les unités de production industrielle
- **Chapitre 8 :** Synthèse d'histoire comparée entre les arsenaux de Brest et Venise

Ces chapitres ont pour objectif de présenter les travaux dans le domaine de l'Histoire des Sciences et des Techniques. L'étude se focalise ici sur les indicateurs pertinents des deux arsenaux de Venise dans le but d'étudier l'activité associée.

Le chapitre 5 s'intéressera aux méthodologies employées pour l'étude des ports et de l'activité associées et présentera les méthodes pratiquées pour le recueil de données.

Le chapitre 6 concerne l'application de ces méthodologies et propose l'étude des indicateurs liés à la mobilité pour l'étude des arsenaux de Brest et Venise.

Le chapitre 7, au même titre que le chapitre précédent applique les méthodologies en HST pour l'étude du second type d'indicateurs : les unités de production industrielle.

Le chapitre 8 représente une synthèse des recherches en HST sur les arsenaux de Brest et de Venise.

Chapitre 5

Approches méthodologiques pour l'étude des paysages culturels maritimes industriels en Histoire des Sciences et des Techniques

5.1 Introduction

Après les états des lieux, nous allons présenter les approches méthodologiques retenues pour l'étude des paysages culturels industriels et les activités humaines associées. Plusieurs travaux s'appuient sur une modélisation des connaissances historiques, le méta-modèle ANY-ARTEFACT développé au Centre François Viète. Il se présente en deux composantes : d'une part un modèle d'activité humaine et, d'autre part, un modèle de cycle de vie des artefacts qui a été enrichi pour les besoins de ces travaux. Dans cette approche, des indicateurs caractéristiques de l'évolution industrielle des deux paysages culturels industriels que sont les arsenaux ont été sélectionnés afin de produire une périodisation des arsenaux. Une méthodologie de recueil de données centrée sur l'activité a été mise en place.

5.2 Les méthodologies employées pour l'étude des ports et de l'activité associée

5.2.1 Le méta-modèle ANY-ARTEFACT

Le méta-modèle ANY-ARTEFACT est issu de travaux de recherches en collaboration entre le Centre François Viète et IMT-Atlantique dans les domaines de l'histoire des sciences et techniques et de la modélisation des connaissances. (S. LAUBÉ 2018),(LAUBE 2017),(LAUBE, GARLATTI et QUERREC 2017).

Ce méta-modèle générique en histoire permet de travailler sur deux échelles différentes :

1. **La grande échelle :** (A la fois spatiale et temporelle) concerne l'étude du paysage culturel industriel que représente un arsenal en se basant sur des indicateurs pertinents.
2. **La petite échelle :** concerne les cycles de vie des artefacts sélectionnés et les activités humaines associées.

ANY-ARTEFACT se présente sous deux composantes : un modèle d'activité humaine et un autre dédié à l'étude des cycles de vie des artefacts, modèles qui ont été spécialisés dans le cadre de la thèse de Bruno (ROHOU 2018) pour l'étude des ports de Brest, Mar del Plata et Rosario qui se traduit par un ECOSUD (2019-2021). Cette méthodologie est également retenue dans le cadre des travaux du LIA Mines D'Atacama, de l'ANR *«mécaniques amérindiennes»* [1] du GIS Histoire Maritime (Groupe de Travail INTERREG)

Le méta-modèle ANY-ARTEFACT, au même titre que le modèle ANY-PORT de (BIRD 1963) (Voir chapitre 2), permet de déterminer des étapes inscrites dans une chronologie et d'étudier de manière plus précise ces différentes étapes ainsi que les activités humaines en s'intéressant particulièrement aux notions d'acteurs, d'artefacts et de savoirs.

1- Le modèle d'activité

Le principe du méta-modèle ANY-ARTEFACT est d'étudier l'activité humaine grâce à son modèle d'activité (Voir figure 5.1) en se penchant sur trois concepts qui la définissent : Les artefacts, les acteurs et les savoirs.

1. https://anr.fr/Projet-ANR-16-CE27-0012

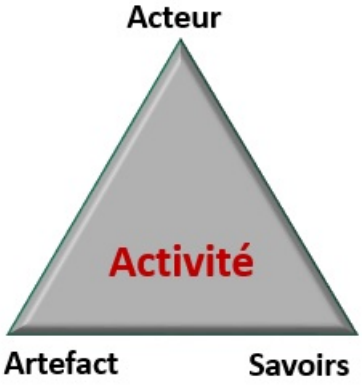


FIGURE 5.1 – Le modèle d'activité d'ANY-ARTEFACT

La notion d'artefact

Comme il a été précisé précédemment, notre définition d'artefact est basée sur les travaux de (RABARDEL 1995) :

> *«Nous lui donnerons un contenu plus précis que celui de "chose ayant subi une transformation d'origine humaine. En effet, ce qui nous intéresse, c'est la chose susceptible d'un usage, élaborée pour s'inscrire dans des activités finalisées. [...] L'artefact concrétise une solution à un problème ou à une classe de problèmes socialement posés.»*

Un artefact est donc une production humaine qui a une fonction précise et qui possède la «capacité» de réaliser cette fonction. En outre, l'artefact est associé à un usage qui correspond à l'activité pour lequel il a été créé. Dans le cas de notre étude, nous considérons un arsenal comme un artefact car celui-ci a une fonction et un usage [2].

La notion d'acteur

La notion d'acteur nous oblige à réfléchir aux différents statuts des êtres humains en tant qu'acteurs. Nous pouvons en distinguer trois types :

- L'homme ou être humain : il s'agit d'une personne ayant sa propre existence, son propre vécu, sa propre histoire. Sa vie, de sa naissance jusqu'à sa mort est composée d'évènements particuliers.
- Les groupes : un groupe est composé au minimum de deux personnes. Il s'agit d'un groupe social de personnes ayant des buts ou des intérêts communs (exemple : un club de lecture, un laboratoire de recherche)
- Les positions ou postes occupés : Il s'agit de la situation d'une personne dans la société ou dans un milieu hiérarchisé (exemple : un forgeron)

Du point de vue de nos recherches, nous considérons ces trois typologies : être humain, groupes et positions comme étant des acteurs participant à une activité donnée.

La notion de savoir

2. De manière générique un macro-système technologique répond à la définition retenue pour «artefact».

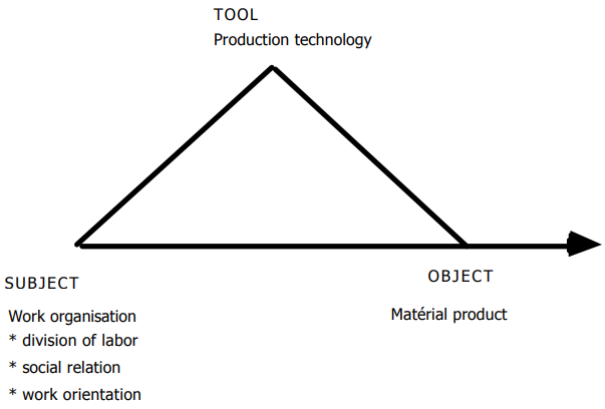


FIGURE 5.2 – Le modèle de Norros (1991) (RABARDEL 1995)

Les savoirs liés à l'activité humaine peuvent être de différents types, théoriques ou procéduraux. Dans le cadre de nos travaux, et comme ce fut le cas dans la thèse de Bruno (ROHOU 2018), pour parler du concept de savoir nous nous appuyons sur la définition de (JACOB 2011).

> *«Les savoirs forment un vaste ensemble de représentations, de discours et de pratiques au coeur de toute société humaine. S'il nous faut en proposer une définition englobante, nous dirions que* ***les savoirs sont constitués par l'ensemble des procédures permettant de donner sens au monde et d'agir sur lui dans la multitude de ses dimensions, qu'il s'agisse du monde matériel ou vivant****, du monde visible ou invisible, du temps ou de l'espace, du monde naturel ou vivant. Les savoirs ont ainsi pour fonction de rendre ces différentes composantes dicibles et pensables, de les rendre communicables et intelligibles dans une société donnée, ou plus exactement, dans différents milieux et groupes de cette société.* ***Les savoirs sont une variable historique, sociale et culturelle, non seulement dans leurs contenus, mais aussi dans leur morphologie, dans leurs modes de constitution et de circulation****.»*

Le méta-modèle ANY-ARTEFACT dédié à l'étude de l'activité prend en compte la notion de «savoir» ou de «connaissance». Comme nous pouvons le voir dans la définition de (JACOB 2011), la notion de savoir regroupe à la fois les procédures et une fonction. En ce qui concerne l'étude de l'activité, il est essentiel de se pencher sur la nature même du concept de savoirs :

- Le savoir issu d'une formation spécifique et d'un diplôme
- Le savoir-faire technologique inculqué par d'autres ou directement en travaillant.

En prenant comme exemple l'étude de la forge de Brest et les travaux menés avec les forgerons, le premier type de savoir est la formation de ferronnier d'art qu'a suivi un des forgerons, et la seconde est la formation reçue par les ouvriers directement dans les forges. Dans le cadre de recherches dans le domaine de l'histoire ou de l'HST les informations relatives au savoir-faire sont généralement recueillies grâce à des entretiens comme ce fut le cas pour cette thèse.

Que ce soit dans les modèles d'activité d'(ENGESTRÖM 2014) ou (NORROS 1991), la notion de savoir n'est jamais représentée (Voir figure 5.2).

Généralement l'activité est liée à un artefact et à un acteur sans prendre en compte les connaissances ou le savoir-faire directement lié à l'activité.

Le méta-modèle ANY-ARTEFACT se distingue de tous les modèles d'activités précédents.

La notion d'activité

La notion d'activité peut s'avérer compliquée à définir comme le souligne (SCHWARTZ 2007) :

> *«Le terme activité peut être un mot sans contenu conceptuel précis, séjournant à l'état flou, fonctionnant «à l'aveugle», dans notre langage quotidien ou dans divers champs scientifiques. Quel est le plus petit dénominateur commun qui pourrait expliquer cette fluidité du terme «activité» ? Cela pourrait être la consommation ou l'utilisation d'énergie. Cependant, cette définition est trop large et ne nous donne pas de limites fixes pour la remplir d'un contenu précis».*

Dans notre approche, nous proposons d'analyser l'activité en fonction de trois composantes : un ou des acteurs, un système d'artefacts, un système de savoirs spécifiques, une activité se déroulant dans le temps à un endroit donné. Quand il s'agit de recherches en histoire comme c'est le cas pour cette thèse, l'activité est divisée en deux types :

- Une activité unique : Il s'agit d'une activité qui a eu lieu à un moment donné, dans un lieu déterminé et qui n'a aucun caractère répétitif (exemple : le montage du marteau-pilon de Brest a eu lieu en 1867).

- Une activité récurrente : Il s'agit d'une activité (que l'on peut également qualifier de procédure) qui se répète dans le temps (Exemple : le forgeron allume le four des forges tous les matins).

Afin d'établir cette périodisation, nous allons nous focaliser sur la notion d'artefact et ses propriétés pertinentes : nom du concepteur, date de construction, matériaux utilisés, modifications apportées etc. Si nous nous focalisons sur la notion d'artefact, il est important de rappeler qu'il existe des liens entre les notions d'artefact, d'acteur et de savoir.

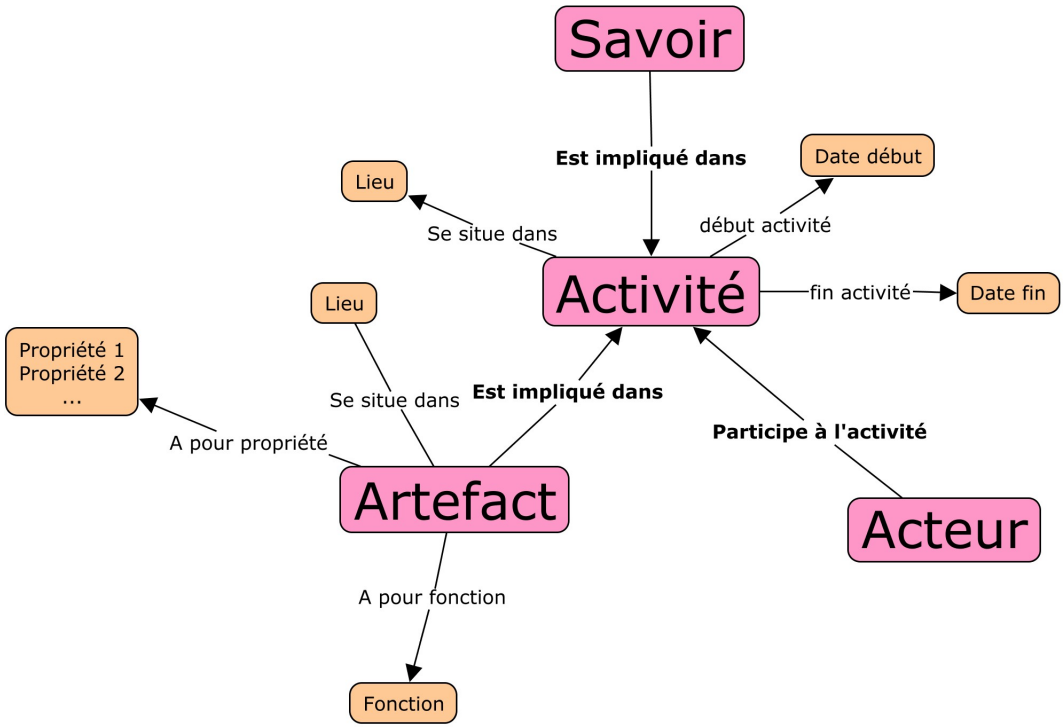


FIGURE 5.3 – ANY-ARTEFACT et les relations entre les notions (D'après (ROHOU 2018))

Comme nous pouvons le voir sur la carte conceptuelle de la figure 5.3, l'activité est centrale et implique à la fois l'artefact, l'acteur et les savoirs. Chacune de ces notions possède ses propres spécificités, comme une fonction et des propriétés pour l'artefact. Voici quelques précisions en prenant le cas des forges de Brest comme démonstrateur :

- Un artefact à des fonctions ainsi que des propriétés qui lui sont propres. Le marteau-pilon par exemple, sert à la fabrication et à la réparation des pièces. Ses propriétés sont multiples comme sa force de frappe de six tonnes ou encore son changement d'énergie dans les années 1920.
- Un acteur a un rôle défini pour participer à une activité . Le forgeron s'occupe des pièces métalliques et le pillonier actionne le marteau-pilon. Un acteur peut réaliser une action seul ou dans un groupe.
- Le savoir concerne dans ce cas précis les procédures d'utilisation du marteau-pilon ou le savoir-faire impliquant la fabrication des pièces de métal.
- L'activité est le résultat de l'implication des trois précédentes notions. Il s'agit d'une succession d'évènements qui se déroulent dans le temps.

En supposant que l'artefact est une solution à un problème posé, nous allons nous pencher davantage sur cette notion afin de mettre en exergue des «cycles de vie» ou «étapes» en prenant bien entendu en compte l'activité humaine associée.

2- Le cycle de vie des artefacts : HST-PORT

Le modèle, HST-PORT, appliqué aux ports, permet à travers l'étude d'indicateurs spécifiques, de relever des étapes significatives de leur évolution temporelle et donc de proposer une périodisation.

2. Les forges de Brest vont faire l'objet d'une étude approfondie dans un des chapitres de cette thèse.

Comme l'a précisé Bruno (ROHOU 2018) dans le cadre de sa thèse, le modèle générique de cycle de vie d'un artefact est composé de cinq étapes distinctes (Voir figure 5.4) :

- Étape 0 : L'émergence d'un besoin
- Étape 1 : Le choix d'une solution adaptée à un problème technologique
- Étape 2 : La construction du système technique
- Étape 3 : Usage et adaptation du système technique
- Étape 4 : Phase d'obsolescence , fin d'activité industrielle

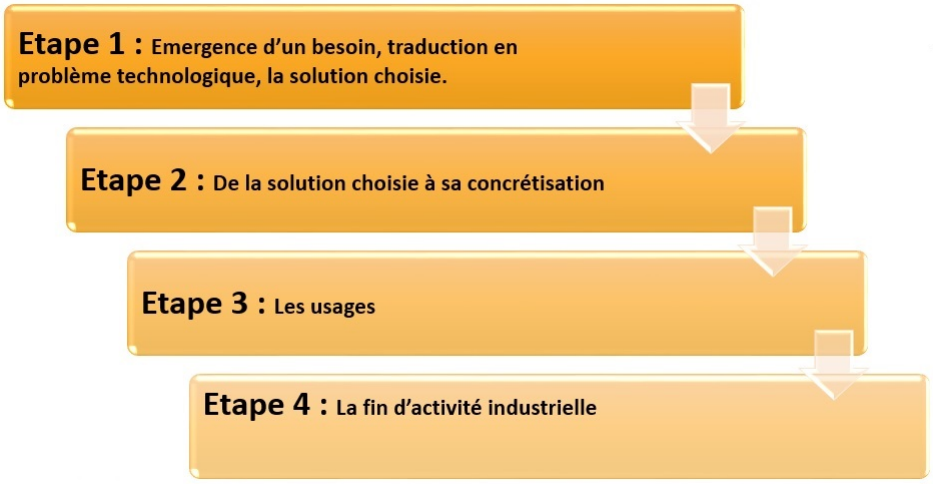


FIGURE 5.4 – Le cycle de vie générique d'un artefact (ROHOU 2018)

Ce projet étant consacré à la valorisation et à la conservation du patrimoine maritime (Voir chapitre 2), nous allons enrichir le modèle HST-PORT concernant l'étude des arsenaux de Brest et Venise.

5.2.2 HST-ARSENAL : application du modèle d'évolution pour l'étude des arsenaux

Le processus de construction d'HST-PORT conduit à une élicitation des connaissances concernant les indicateurs spécifiques retenus en nous appuyant sur le méta-modèle ANY-ARTEFACT afin de définir le cycle de vie des artefacts ainsi que les notions concernées (artefacts, activités, acteurs, savoirs).

Nous avons deux principaux objectifs :

- Faire une analyse historique des arsenaux avec des sources de différents types (archives, iconographies...) dans le but de recueillir des informations sur les indicateurs sélectionnés. Cette analyse se déroule dans une approche comparative en se focalisant sur des systèmes techniques comparables entre les deux arsenaux (une partie de ce chapitre est consacrée à la présentation des indicateurs) .
- Faire une périodisation des arsenaux en s'appuyant sur les indicateurs et sur leur cycle de vie.

Afin de bâtir une histoire comparée des arsenaux de Brest et de Venise, nous allons nous appuyer sur un modèle de périodisation des arsenaux, appelé HST-ARSENAL. Il

constitue un enrichissement du modèle HST-PORT utilisé dans la thèse de Bruno Rohou et présenté précédemment. L'étude des arsenaux de Brest et de Venise s'intéresse aux notions de «conservation» et de «valorisation» du patrimoine maritime. Aussi, le modèle HST-ARSENAL va donc prendre en compte une étape spécifique, la «Patrimonialisation».

Le modèle HST-ARSENAL se définit alors en 5 étapes distinctes (Voir figure 5.5) :

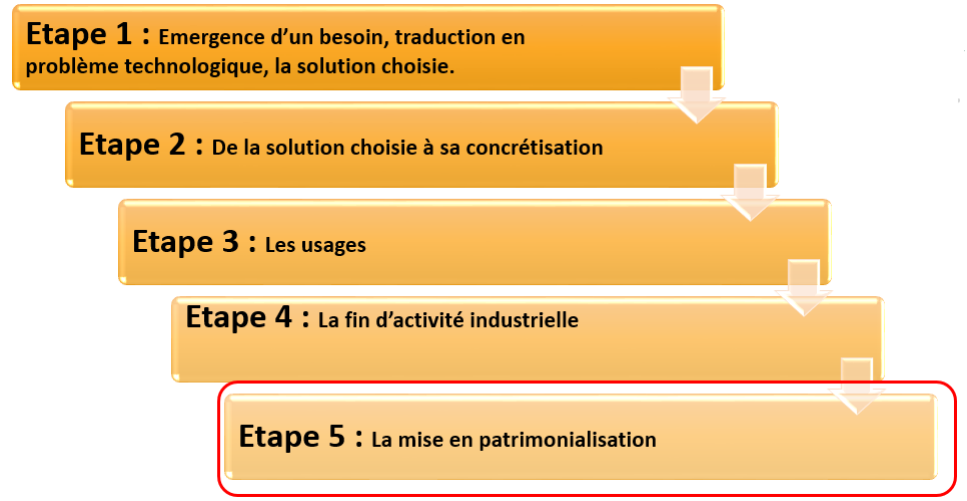


FIGURE 5.5 – Le cycle de vie des artefacts HST-ARSENAL

- **Étape 1 :** Cette étape correspond à l'émergence d'un besoin ou d'un problème socialement posé ainsi que le choix d'une solution.
- **Étape 2 :** Il s'agit là du choix d'une solution afin de pallier à l'étape 1. Un acteur propose donc des solutions technologiques pour faire face à un besoin et/ou à un problème. Cette étape correspond également à la concrétisation de ce choix, c'est-à-dire la construction de l'artefact.
- **Étape 3 :** Cette étape concerne les usages de l'artefact. Il est ici question de la phase d'utilisation de l'artefact, des modifications qui ont été effectuées comme des améliorations, des changements d'énergie ou la mise en place de systèmes de sécurité. Cette étape concerne également les acteurs concernés et les savoir-faire associés.
- **Étape 4 :** Cette phase du cycle de vie de l'artefact est celle de l'obsolescence. L'artefact ne répond plus aux besoins. Cette phase peut conduire à une destruction de l'artefact.
- **Étape 5 :** Cette dernière étape est celle de la «patrimonialisation». «*La patrimonialisation est un mode d'intervention qui a pour but d'assurer la création, la préservation et la diffusion du patrimoine*» (LAVOIE 2014).

Ces cinq étapes correspondent au cycle de vie d'un artefact qui va nous permettre de comprendre son cheminement dans une période donnée.

Pour la 5ème étape du modèle HST-ARSENAL, l'étape de patrimonialisation, seront pris en compte les projets de valorisation des indicateurs toujours existants, mais également les projets de conservation de la mémoire des ces systèmes techniques quand ceux-ci ont été détruits [3].

3. La plupart des indicateurs Brestois sélectionnés pour l'étude de l'arsenal n'existent plus aujourd'hui. Seront donc pris en compte dans l'étape de patrimonialisation tous les projets évoquant ces indicateurs.

5.3 Caractéristiques de l'étude en Histoire des Sciences et des Techniques

Notre analyse repose sur le choix pertinent d'indicateurs avec deux objectifs :

- L'étude des macro-systèmes complexes
- La construction et la validation d'une méthode

Comme il a été précisé précédemment, pour l'étude des macro-systèmes technologiques complexes que sont les arsenaux de Venise, nous avons sélectionné des indicateurs pertinents représentatifs de l'activité. Ces indicateurs, qui sont communs aux deux lieux de l'étude vont permettre une périodisation sur la longue durée. Comme le précise (SOLINAS 2004), les schémas chronologiques et la périodisation *«permettent de composer le cadre dans lequel le sujet analysé se meut»*.

La méthodologie impliquant l'utilisation d'ANY-ARTEFACT offre également un cadre à l'étude des indicateurs. En effet, une fois les étapes du modèle HST-ARSENAL mises en évidence, l'analyse des données historiques se fait en se concentrant sur les notions du modèle d'activité qui sont «artefact», «acteur» et «savoirs». Ainsi, chacune des étapes du modèle HST-ARSENAL focalise l'analyse sur l'activité humaine liée à l'indicateur étudié.

L'analyse des indicateurs sélectionnés n'a pas, dans cette thèse, pour vocation d'être exhaustive concernant les arsenaux de Brest et Venise. En effet, l'étude, à partir du méta-modèle ANY-ARTEFACT, a pour but principal de construire et de valider une méthode d'analyse en HST qui contribue aux travaux en HN et en médiation pour le développement du Lab in Virtuo. L'analyse des indicateurs, au moyen du modèle d'activité et du modèle HST-ARSENAL qui sera présentée dans les chapitres suivants, permet d'évaluer la pertinence de cette méthode pour périodiser des macro-systèmes technologiques complexes et pour l'étude de l'activité.

De plus, l'étude d'un des indicateurs, la forge de l'arsenal de Brest, a permis de mettre en évidence les informations pertinentes pour l'élaboration de l'ontologie «Forge-o» participant aux travaux de développement du Lab in Virtuo.

Nous allons à présent nous intéresser aux méthodes employées pour le recueil de données historiques nécessaires pour les travaux en HST.

5.4 Les méthodes employées pour le recueil de données historiques

Les données que nous constituons au travers du choix des sources et de leurs analyses, selon (BERETTA 2017), sont des «connaissances historiques». Il précise que *« Le fait historique est une connaissance concernant le passé que l'historien tire des sources»*. Les sources en question peuvent être des textes, des ressources iconographiques ou encore des témoignages et / ou traces. Le chercheur produit des données historiques quand il s'intéresse aux travaux d'autres chercheurs du domaine, quand il construit une problématique et formule des hypothèses.

Les informations nécessaires pour cette étude concernent des données structurées sur les artefacts choisis comme indicateurs ou démonstrateurs, les acteurs associés, et les savoirs dans le but d'étudier comparativement l'activité.

5.4.1 Le contexte de la recherche

Précisons ici le contexte de la recherche au début de ce projet de recherche. Avant le début de cette thèse, des travaux sur les paysages culturels et les macro-systèmes technologiques complexes sont menés au Centre François Viète depuis déjà plusieurs années.

L'hypothèse de recherche est de considérer un port comme un macro système technologique complexe dont l'évolution spatio-temporelle muti-échelle s'inscrit dans une Histoire des Sciences et des Techniques. Les travaux, en grande partie menés par Sylvain Laubé, ont permis le développement d'un modèle d'évolution des ports à partir de cas d'étude spécifiques comme les grues qui constituent de bons indices pour caractériser le cycle d'évolution spatio-temporelle d'un port-arsenal. Ces travaux sur les grues de l'arsenal ont permis le recueil d'un certain nombre de données sur plusieurs types d'engins de levage comme la grue à mâter ou la grue du viaduc. Des recherches ont également été menées sur le pont tournant de Brest (ou pont national), un système technique qui représente une véritable innovation scientifique (Voir chapitre 6). Les travaux sur cet édifice du paysage brestois aujourd'hui disparu, avaient pour ambition de mettre à jour un certain nombre d'archives mais également de valoriser la maquette du pont présente au musée de la Marine de Brest. De nombreux documents ont été mis à jour afin d'étudier l'artefact : des plans du pont et de ses mécanismes, des rapports sur les procédures d'ouverture et de fermeture, des vidéos, ainsi que de nombreuses représentations iconographiques. Afin de compléter ces recueils de données, des entretiens ont été menés par une étudiante du master EHST à l'EHPAD Louise Le Roux de Brest. L'intérêt était de travailler sur la collecte de mémoire auprès des résidents ayant connu le pont tournant. Ces entretiens ont permis de mettre en lumière des informations absentes des archives, notamment en ce qui concerne le paysage sonore. Grâce à ce travail de recueil de données, des travaux de modélisation 3D cinématiques ont pu voir le jour en collaboration avec le CERV. L'intérêt de ces travaux sont :

- De comprendre et de reconstituer un paysage industriel détruit,
- De reconstituer l'ensemble des gestes techniques permettant la manœuvre du pont,
- De développer des outils innovants de valorisation du pont tournant et de sa maquette du Musée national de la Marine grâce à la RV.

La modélisation 3D constitue un dispositif de capitalisation des connaissances, rassemblant des informations mécaniques concernant les différents mécanismes du pont et leur fonctionnement. Par ailleurs, ce genre de production facilite la compréhension de l'objet étudié à la fois dans son contexte historique mais également social, scientifique et technique. Tous ces travaux sur le pont tournant ont participé à la création d'une exposition en 2016 au musée des Beaux-Arts de Brest, « *Sa majesté le pont tournant*» où l'on pouvait découvrir un grand nombre d'archives ainsi que la modélisation 3D. Au début de la thèse en novembre 2016, un grand nombre d'archives concernant le pont avait déjà été recueilli et la modélisation était opérationnelle. La contribution de cette thèse dans l'étude de cet artefact a été de rassembler des informations sur le contexte de cette construction, notamment en ce qui concerne les conditions de traversée de la Penfeld avant la construction du pont mais également des informations concernant les modifications apportées à l'artefact au fil des années. Afin de compléter tous ces travaux, une collaboration avec une école primaire de Brest a également vu le jour. Le but de cette coopération était de générer et de tester des scénarios sur les usages de la 3D à l'école auprès d'un public de scolaire.

Des travaux concernant les forges de Brest ont également été entrepris au préalable de ce projet de recherche (Voir chapitre 12). En effet, en 2014 une prise de données LIDAR

effectuée dans le cadre d'une collaboration avec l'Institut Universitaire Européen de la Mer (IUEM), Brest Métropole Océane et l'Université de Bretagne Occidentale a permis de débuter la modélisation 3D des forges. Cette modélisation a ensuite été améliorée par des ingénieurs informaticiens qui ont complété les informations LIDAR par des photos prises sur place afin d'ajouter la texture au modèle et ainsi d'obtenir une modélisation aussi fidèle que possible à la réalité. Au-delà de cette modélisation de l'atelier, il n'y avait aucune archive connue sur ces forges ni sur les systèmes techniques qui s'y trouvaient. Cet indicateur qu'est la forge de Brest est essentiel dans cette thèse car il constitue le cas d'usage de notre outil numérique. Cette thèse a donc permis de recueillir des données d'archives sur l'unité de production industrielle notamment auprès de Naval Group, mais également de mettre en place des collaborations avec d'anciens utilisateurs du système pour recueillir des données sur l'activité dont les procédures et le savoir-faire.

A l'origine de ce projet de recherche, un certain nombre d'archives sur des grues et le pont tournant étaient donc accessibles. La modélisation 3D du pont était terminée et celle des forges était en cours d'élaboration. Il a donc été question de compléter ces recueils de données par d'autres types d'informations et de procéder à des recherches centrées sur la notion d'activité qui est centrale dans cette thèse. Des entretiens ont donc été menés auprès d'anciens ouvriers forgerons et conducteurs de grues afin de compléter les données et par la même occasion, de créer de nouvelles archives sur le patrimoine industriel de l'arsenal de Brest. Ces travaux ont bien entendu été complétés par ceux des indicateurs Vénitiens étudiés lors de deux séjours de recherche à Venise.

5.4.2 Le recueil de données auprès d'anciens utilisateurs des systèmes techniques

La méthode classique de recueil de données est celle qui est traditionnellement utilisée par les chercheurs de toute discipline confondue. Les données peuvent être réunies à travers plusieurs supports : archives, rapports, plans, iconographies. Cette technique est principalement celle utilisée pour la recherche concernant les artefacts afin de comprendre leur histoire (conception, modification, destruction....). Mais quand il s'agit d'étudier l'activité humaine comme ce fut le cas dans pour cette thèse, il est parfois très compliqué d'obtenir des informations sur les acteurs ou encore sur les procédures liées aux artefacts. Dans le cadre des recherches sur les indicateurs brestois, nous avons eu recours à des entretiens auprès d'anciens utilisateurs des systèmes techniques.

Trois des derniers forgerons en activité dans ces forges ont été contactés début 2017 pour les intégrer au projet comme experts et collaborateurs au même titre que les chercheurs. Nous avons donc rencontré M.Vourch[4] et M.Patry[5] forgerons, et M.Roué[6] chef d'équipe et mené des entretiens[7] pour collecter des informations sur les artefacts, mais également sur les gestes techniques et les conditions de travail. Le but de ces entretiens est avant tout de récolter des informations qu'il nous était impossible de trouver dans des archives. Pour mener à bien ces entretiens nous avons mis au point un scénario comprenant plusieurs parties :

- **La formation :** Le but est ici de connaître le parcours de la personne que l'on interroge, la formation qu'elle a suivie, si elle a été formée par un autre ouvrier...

4. Entretien mené le 20 Janvier 2017 (en collaboration avec M.Julien Hageaux étudiant en Master EHST).
5. Discussion informelle réalisée le 20 janvier 2017 (en collaboration avec M.Julien Hageaux étudiant en Master EHST.)
6. Entretien mené le 26 Janvier 2017 (en collaboration avec M.Julien Hageaux étudiant en Master EHST.)
7. La retranscription complète des entretiens se situe dans les annexes.

- **L'organisation du travail :** Nous cherchons ici à recueillir des informations sur la journée type de l'ouvrier, sur l'équipe, sur l'organisation de l'activité et sur les conditions de travail.

- **Les questions techniques sur l'artefact :** Ces questions permettent d'en savoir davantage sur l'artefact afin de compléter les sources «classiques» recueillies : le mode de fonctionnement, les caractéristiques techniques et l'histoire de l'artefact.

Pour mener ces entretiens nous nous sommes basés sur des archives vidéos de 1996 et de 2005 où nous pouvons voir les ouvriers en pleine préparation d'une pièce. Le film de 1996 [8] est réalisé par un ouvrier de l'arsenal, il s'agit d'un document interne à l'équipe des forges, un souvenir de leur travail. Le second film est un court métrage professionnel réalisé par Olivier Bourbeillon et financé par la Cinémathèque de Bretagne. Ce film, *«La dernière journée»* [9] nous montre les trois derniers ouvriers des forges en plein travail. Celui-ci a été commandé dans le but de valoriser le travail de la forge qui allait fermer ses portes quelques mois plus tard. Ces deux films sont de très bonnes bases de travail pour les entretiens avec les forgerons car ils nous montrent les ouvriers en plein travail. Nous avons donc pu les interroger tout en s'appuyant sur les images des films (Voir annexes).

L'intérêt d'utiliser des captures d'écran provenant de films est de mettre l'accent sur une procédure, un geste en particulier afin d'en discuter avec les forgerons.

En 2018 sont également menés des entretiens [10] auprès d'anciens utilisateurs de la grande grue électrique de Brest. Cette grue fait également partie de nos indicateurs. La particularité de cette grue est qu'il existe de très nombreuses photographies et tableaux la représentant mais très peu d'archives nous permettant de comprendre son fonctionnement. Les entretiens nous ont permis de mettre à jour des informations concernant son fonctionnement mais également l'activité associée à cet artefact. Nous avons alors rencontré M.Bodremon [11], M.Guidal [12] conducteurs de grues et M.Séité [13] responsable de la maintenance des grues de l'arsenal. Les entretiens se sont déroulés selon le même mode opératoire que ceux des forgerons et nous ont permis, une fois de plus, de combler les lacunes en ce qui concerne les artefacts étudiés. L'ensemble des retranscriptions des entretiens menés dans le cadre de cette thèse vont faire l'objet d'un dépôt au Service Historique de la Défense de Brest (SHD) pour permettre la consultation par d'autres chercheurs.

De nombreux résidents de l'EHPAD Louise Le Roux de Brest ont connu la ville avant que celle-ci ne soit bombardée pendant la seconde guerre mondiale, ils ont donc des informations précieuses à nous transmettre c'est pourquoi de nombreux entretiens y ont également été menés [14]. Ceux-ci nous on permit, entre autre, de recueillir des informations sur l'un de nos démonstrateurs : le pont tournant de Brest détruit en 1944.

Dans le cadre des recherches sur les indicateurs vénitiens nous avons également travaillé avec des acteurs locaux. Nous avons rencontré M.Alessandro Ervas, ferronnier d'art et forgeron qui travaille depuis de nombreuses années sur la réhabilitation des forges de Venise. Cette collaboration avec M.Ervas nous a permis d'obtenir des informations sur la patrimonialisation, l'une des étapes du cycle de vie des artefacts.

8. Film interne Naval Group, 1996, Brest.
9. Bourbeillon Olivier, *«La dernière journée»*, Cinémathèque de Bretagne, 2005, Brest.
10. La retranscription complète des entretiens se situe dans les annexes.
11. Entretien mené le 17 octobre 2018.
12. Entretien mené le 19 octobre 2018.
13. Entretien mené le 19 octobre 2018.
14. Les entretiens ont été menés par une étudiante du Master EHST en 2016.

5.5 Présentation des paysages culturels de l'étude et des indicateurs

Les arsenaux sont ce que l'on appelle des systèmes, c'est-à-dire qu'il sont constitués d'un certain nombre de composants, reliés pour former un système complexe. Les éléments étant en relation les uns avec les autres, toute évolution de l'un provoque une révolution de l'ensemble et que toute modification de l'ensemble réagit sur chacun des éléments. Un arsenal est donc composé de plus petits éléments en relation qui occupent tous une fonction bien précise et organisée dans l'arsenal. Ce système peut être appelé macro-système technologique (Voir chapitre 2). Ce qui fait la particularité du macro-système complexe est qu'il est composé d'entités complexes elles-mêmes composées d'artefacts, de savoirs ainsi que d'acteurs. Ces éléments du système sont parfaitement liés et interagissent entre eux. Pour cette étude, nous allons mettre à exécution nos méthodologies en HST afin d'étudier des indicateurs spécifiques pertinents pour l'étude des arsenaux.

Nous allons à présent nous intéresser aux deux arsenaux de Brest et de Venise qui sont des paysages culturels industriels.

5.5.1 L'arsenal de Brest

Richelieu décide en 1629, sous le règne de Louis XIII, de créer des ports militaires sur la façade atlantique afin de promettre au royaume une véritable puissance maritime. En 1631 l'arsenal de Brest devient un véritable centre d'opération maritime avec Le Havre et Brouage. Dès 1636, malgré des installations relativement sommaires, l'arsenal de Brest peut déjà fournir seize vaisseaux armés pour se battre contre l'Espagne (EYMIN 1865).

La situation de la ville, à la pointe occidentale du pays est idéale. Brest est traversée par la rivière Penfeld qui se jette dans la rade. Son embouchure va accueillir les aménagements du port qui vont être ensuite poursuivis par Colbert. Antoine Choquet de Lindu (1712-1790), ingénieur de la Marine et architecte français est connu pour être l'homme qui a façonné l'arsenal brestois par des édifices comme le bagne, l'hôpital militaire des formes de construction ou encore l'une des corderies. Ces infrastructures sont nécessaires à la construction navale et à l'entretien dans un arsenal de Marine. L'arsenal se développe au fur et à mesure que la flotte grandit et nécessite une main-d'oeuvre toujours plus importante. De nombreux artisans consacrent leur savoir-faire à la construction navale et les bagnards représentent une main-d'oeuvre nombreuse et servile absolument nécessaire pour certains travaux. Cette main-d'oeuvre est d'ailleurs évoquée par Cambry qui la salue dans un de ses ouvrages : *«J'ai vu des ports plus imposans, plus majestueux, mieux ordonnés que celui de Brest, des rades plus vastes, mais jamais d'aussi bien défendues, de mieux proportionnées. C'est le plus grand théâtre que je connaisse de la force et de la puissance humaine* (CAMBRY 1835).»

Vers 1840 , suite au développement des technologies liées à la vapeur, de nombreux arsenaux mutent et se modernisent afin de suivre l'activité de construction navale. A cette époque, le vice-amiral et ministre Roussin demande de mettre en chantier à Brest, trois frégates de 450 chevaux destinés à la marine Française. Le manque d'installations employant les machines à vapeur entraîne la décision de construire les ateliers du plateau des Capucins qui deviendront une unité de production industrielle particulièrement moderne. Cet atelier *«symbolise un « passage » majeur de la construction et de la réparation navale militaire, celle-ci est notamment provoquée par trois filières d'innovations : la propulsion à vapeur, l'artillerie et le cuirassement»* (ANGOT 2013). De nombreuses autres installations modernes voient le jour comme chantiers de charpenterie des travaux hydrau-

liques et l'atelier des gros marteaux et martinets. En 1885, suite à un arrêté préfectoral, le port de la Penfeld est exclusivement réservé à l'usage de la marine militaire.

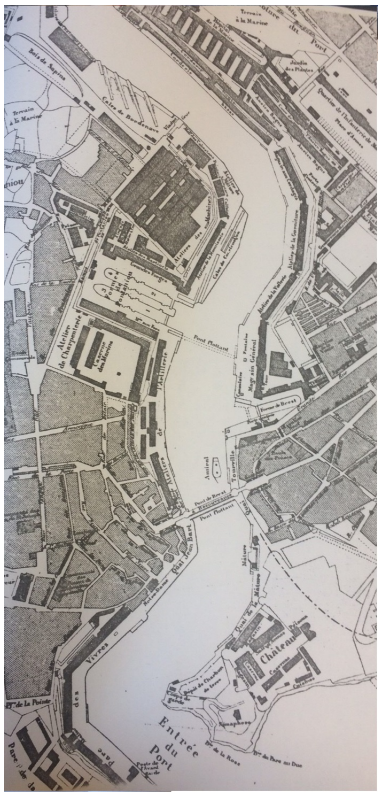


FIGURE 5.6 – Plan de l'arsenal en 1866 (CROS 1984)

A la fin du XVIIe siècle l'arsenal de Brest emploie environ 700 ouvriers et ce chiffre atteint les 10 000 durant l'âge d'or de la marine à voile. Véritable ville dans la ville (Voir figure 5.6) , Brest vit au rythme de l'activité de construction navale : *«Dès que sonne la cloche du matin, on voit affluer par ses portes une foule d'ouvriers qui se rendent au travail. Une demi-heure après, tout prend vie : les feux s'allument, les cheminées fument, le marteau des forgerons frappe le fer, le maillet des calfats enfonce l'étoupe dans les coutures des vaisseaux neufs ou en réparation; les cris des marins dressants des apparaux, le grincement des poulies, le mugissement des grues, le ron-ron des machines à vapeur, le bruit mordant des limes, le sifflement du vent à travers les cordages, tout se mèle et se confond* (DE PROXY 1857).»

5.5.2 L'arsenal de Venise

La construction de l'arsenal de Venise aurait commencé au 12e siècle vers l'année 1104. Relativement modeste au début, l'arsenal se développe rapidement quand celui-ci est sollicité pour transporter et escorter les croisés (4 500 chevaliers avec chevaux et armement, 9 000 écuyers et 20 000 combattants à pied). Pour répondre à ces besoins très importants en navires des chantiers navals privés appelés «squeri» sont construits (HOCQUET 2011).

L'arsenal se dote ensuite de grandes installations comme celui du bâtiment de la «tana» ou corderie ainsi que de nouveaux ateliers de construction. Cet espace clos a une capacité de construction de 80 galères. Au XVe siècle l'Arsenal de Venise qui est organisé pour

15. Source : Google Maps.

FIGURE 5.7 – Situation de l'arsenal de Venise [15]

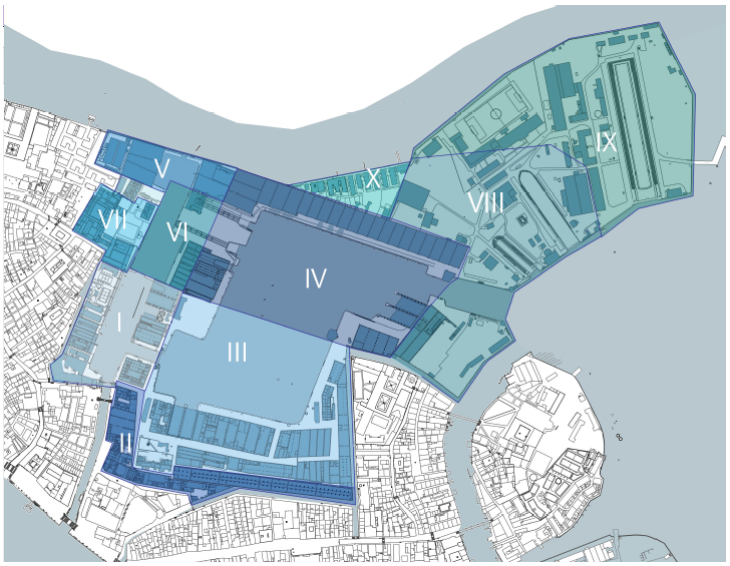


FIGURE 5.8 – Phases d'agrandissement de l'arsenal de Venise (BALLETTI et FERRIGHI 2013)

la construction et l'armement des galères, n'est encore qu'un bassin entouré de modestes bâtiments. Après la chute de Constantinople en 1453, qui est la première défaite navale de Venise contre les Turcs, la République souhaite s'équiper d'une nouvelle flotte de navires de guerre. L'espace de l'arsenal est alors agrandi avec «l'arsenale nuovissimo». La construction de ces nouveaux espaces commence en 1473, et dure un siècle pour une surface totale à 263 000 m² (HOCQUET 2011). Afin de suivre le rythme de construction navale, l'arsenal de Venise va connaître différentes étapes d'agrandissements et d'aménagements. Contrairement à l'arsenal de Brest qui se développe linéairement autour des rives de la Penfeld, l'arsenal de Venise se concentre autour de bassins permettant le déplacement des navires (Voir figure 5.8).

Dans la seconde moitié du XXe siècle, l'arsenal cesse graduellement son activité. La main-d'œuvre diminue de moitié en dix ans, de 5 000 travailleurs à 2 700 en 1951, puis à 2 244 en janvier 1957 (HOCQUET 2011).

L'Arsenal de Venise est considéré comme la première usine dans le monde, puisqu'il

représente l'exemple le plus probant d'un grand complexe de production avec une structure centralisée de l'économie pré-industrielle [16].

Les deux arsenaux de cette étude sont à première vue particulièrement différents l'un de l'autre. L'un est ancien et date du 12e siècle, l'autre plus récent, du 17e siècle. Leur organisation spatiale n'a également rien à voir. L'arsenal de Venise se trouve dans une zone parfaitement déterminée qui s'agrandit au fil des siècles, tandis que l'arsenal de Brest se concentre le long des rives de la Penfeld qui reste une zone parfaitement déterminée.

Nous allons à présent nous intéresser aux indicateurs spécifiques sélectionnés pour l'étude des arsenaux dans le but de bâtir une histoire comparée.

5.5.3 Les indicateurs sélectionnés

Dans le cadre de ce projet de recherche nous cherchons dans le champ de l'HST à établir et comparer les cycles d'évolution et l'activité des deux arsenaux du point de vue scientifique et technologique depuis leur création jusqu'à aujourd'hui. Pour cela, il est essentiel de sélectionner un certain nombre d'indicateurs ou démonstrateurs qui vont permettre cette étude. Nous avons sélectionné deux types d'indicateurs (Voir figure 5.9) :

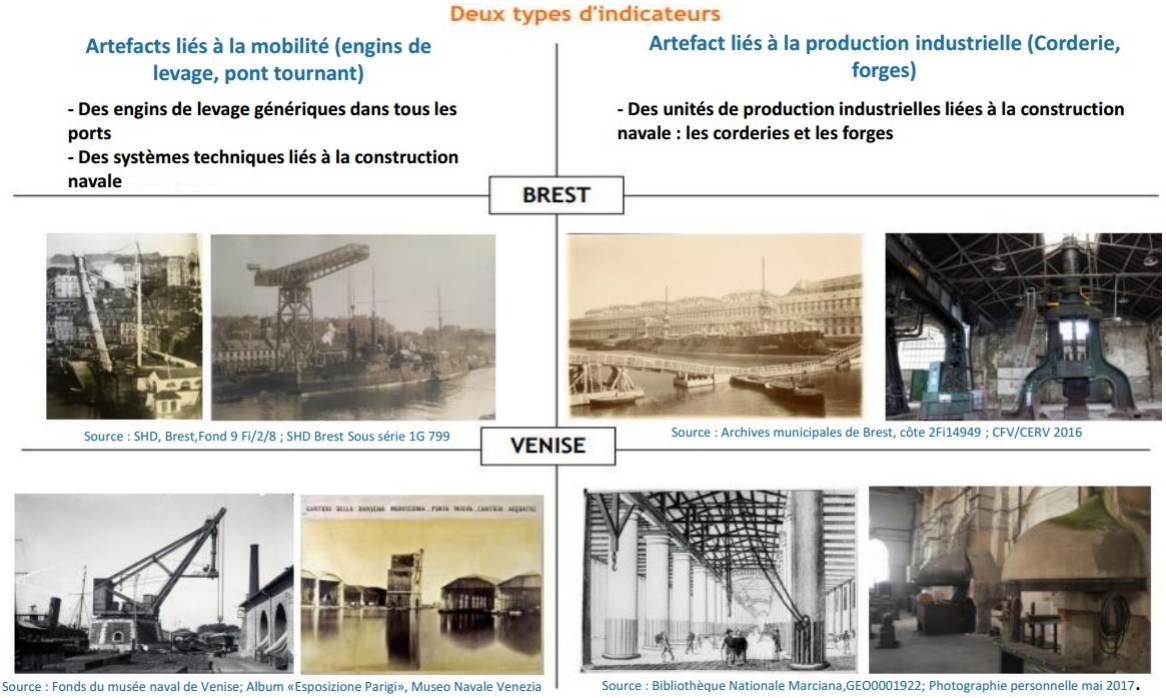


FIGURE 5.9 – Les types d'indicateurs sélectionnés

- **Les indicateurs spécifiques liés à la mobilité :** Ces indicateurs communs aux deux arsenaux concernent des systèmes techniques fortement liés à l'activité des arsenaux : les engins de levage. Ceux-ci sont essentiels à l'activité industrielle des arsenaux mais ils représentent également des indicateurs particulièrement pertinents. En effet, les engins de levage existent depuis l'antiquité. Ils sont le reflet même de l'évolution des techniques et évoluent avec elle. Parmi ces indicateurs liés à la mobilité nous allons également étudier le pont tournant de Brest qui est une véritable innovation technique pour l'époque.

16. http://www.atenanazionale.it

Arsenal de Brest	Arsenal de Venise
Indicateurs liés à la mobilité	**Indicateurs liés à la mobilité**
Les grues à mâter	La tour à mâter Porta Nuova
La grue Gervaise	
La grue hydraulique Bon et Lustremant	La grue hydraulique Armstrong Mitchell & Co
La grue électrique	
Le pont tournant	
Les unités de production industrielle	**Les unités de production industrielle**
La forge	Les forges
Les corderies	Les corderies

FIGURE 5.10 – Les indicateurs spécifiques

- **Les unités de production industrielle :** Les ateliers ont une véritable importance dans le fonctionnement des arsenaux. Ils permettent de faire vivre la construction navale. Nous avons sélectionné deux types d'indicateurs qui sont représentatifs de deux types de construction navale : les corderies pour la marine à voiles et les forges pour les cuirassés.

Afin de bâtir une histoire comparée, il est nécessaire de sélectionner des indicateurs de même type entre les deux lieux étudiés. Voici les différents indicateurs de cette étude (Voir figure 5.10) :

Les indicateurs sélectionnés pour l'étude des arsenaux de Brest et de Venise sont donc de même type et vont permettre de bâtir une histoire comparée.

L'étude de ces indicateurs au moyen d'un recueil de données historiques et de l'utilisation du modèle ANY-ARTEFACT va nous permettre de construire et de valider une méthode nécessaire pour les travaux en HN et en médiation.

5.6 Conclusion

Pour les besoins des recherches en HST nécessaires pour les travaux en HN et en médiation, une méthodologie spécifique a été mise en place. Afin de permettre une étude pertinente des macro-systèmes technologiques que sont les arsenaux, le méta-modèle ANY-ARTEFACT a été utilisé afin d'étudier l'activité humaine et de périodiser les arsenaux au moyen d'indicateurs pertinents.

Pour permettre cette étude, un important travail de recueil de données a été effectué, au moyen de méthodes classiques et d'entretiens auprès d'acteurs de l'arsenal. Ces démarches permettent d'augmenter significativement la quantité d'informations mais également leur qualité. Les méthodes de recueil de données que nous avons utilisées dans le cadre de cette thèse ont fait appel à une démarche de sciences collaboratives et participatives. En effet, l'implication d'anciens utilisateurs de systèmes comme les forgerons ou les grutiers, ou encore les résidents de la maison de retraite, favorise une co-construction des connaissances. Les personnes impliquées dans ce projet ne sont pas de simples témoins mais de véritables experts du domaine au même titre que les chercheurs.

Après avoir présenté les méthodologies employées pour les travaux en HST, présenté les paysages culturels de l'étude, ainsi que les indicateurs sélectionnés, nous allons mettre

à exécution ces méthodologies pour l'étude des indicateurs liés à la mobilité, étude nécessaire aux travaux en HN et en médiation.

Références chapitre 5

ABÉGUILÉ-PETIT Catherine (2002), « Marine et industrie en Bretagne: l'arsenal de Brest et les établissements sous-traitants aux XVIIIème et XIXème siècles », thèse de doct., Rennes 2.

ANGOT Céline (2013), « Gestes accomplis et paroles ouvrières: approche anthropologique du travail au plateau des Capucins à l'arsenal de Brest: culture ouvrière et savoir-faire entre mutations et patrimonialisation », thèse de doct., Brest.

BLOCH-SÉE Lise (1935), *Le groupe des industries de l'acétylène et de la soudure autogène: ses organismes centraux*, Institute de Soudure Autogène.

BORGNIS J-A (1818), *Traité complet de mécanique appliquée aux arts: Des machines employées dans les constructions diverses. 1818*, t. 3, Bachelier.

CASONI Giovanni (1829), *Guida per l'Arsenale di Venezia*, Giuseppe Antonelli.

COAT P (2005), *L'arsenal de Brest*, Editions Sutton.

CROS Bernard (2015), « Les corderies de la Marine Française aux XVIIe et XVIIIe siècles », *Neptunia*, t. 278, p. 35–44.

DE PROXY Daniel (1857), *Brest*, F. Alléguen.

DELOURMEL Louis (1923), *Histoire anecdotique de Brest: à travers les rues*, Editions de Bretagne.

EDWARDS Alfred (6 octobre 1894), « Un accident au pont tournant-Réparations urgentes », *Le Matin : derniers télégrammes de la nuit*, p. 2–2.

ENGESTRÖM Yrjö (2014), *Learning by expanding*, Cambridge University Press.

EYMIN E (1865), *Les Ports militaires de la France: Brest*, t. 1, Challamel ainé Arth.Bertrand.

GRANIER H (1992), « Le lieutenant de vaisseau Charles Gervaise et l'ingénieur du Génie Maritime Victor Gervaise », *Le monde de Dinan*, t. XII.

HATOT Thierry (1999), *Bâtisseurs au Moyen âge*, t. 2, L'Instant durable.

HOCQUET Jean-Claude (2011), « L'arsenal de Venise. Créations, modernisations, survie d'une grande structure industrielle », *Dix-septieme siecle*, n° 4, p. 627–638.

JACOB C (2011), « Pour une anthropologie historique des savoirs », in *Conférence de la société française pour l'histoire des sciences de l'homme, Paris, EHESS*.

LAUBÉ Sylvain (2018), « Pour une histoire anthropologique des paysages culturels industriels: le méta-modèle ANY-ARTEFACT et ses applications en humanités numériques ».

LAUBE Sylvain, GARLATTI Serge et QUERREC Ronan (2017), « Histoire des paysages culturels industriels et humanités numériques: le modèle d'activité humaine ANY-ARTEFACT », *"Capitalismo en el desierto: Materialidades, población y territorios en Atacama (ss. XIX-XXI)", III Jornada de Antropologıa e Historia*.

LAUBÉ et SIRE Stéphane (2007), « Histoires autour de la maquette du pont tournant de Brest », *Neptunia*, t. 247, p. 48–53.

LAVOIE Marie (2014), « Les enjeux de la patrimonialisation dans la gestion du développement économique: un cadre conceptuel », *Sociétes*, n° 3, p. 137–151.

LEVOT Prosper Jean (1864), *Histoire de la ville et du port de Brest*, t. 1, Selbstverl.

NORROS L (1991), « Development of operator's expertise in implementing new technologies », *Enander, A. et al.*

NOTICE-EXPOSITION-UNIVERSELLE (1862), *Notices sur les modéles, cartes et dessins relatifs aux travaux publics, réunis par les soins du ministére de l'agriculture, du commerce et des travaux publics / Empire français ; Exposition universelle à Londres en 1862*, E. Thunot et Cie (Paris).

OZANAM Jacques (1691), *Dictionnaire mathématique ou idée générale des mathématiques. Dans lequel l'on trouve outre les termes de cette science, plusieurs termes des arts et des autres sciences*, Michallet.

RABARDEL Pierre (1995), *Les hommes et les technologies; approche cognitive des instruments contemporains*, Armand Colin.

ROHOU Bruno (2018), « Modélisation des ports de Brest (France), Rosario et Mar del Plata (Argentine) en tant que macro systèmes technologiques complexes: application à la modélisation des connaissances pour l'histoire des sciences et des techniques », thèse de doct.

SCHWARTZ Yves (2007), « Un bref aperçu de l'histoire culturelle du concept d'activité », *Activités*, t. 4, n^{o} 4-2.

Chapitre 6

Application du modèle HST-ARSENAL à l'étude comparative des arsenaux : les indicateurs liés à la mobilité

6.1 Introduction

Après avoir présenté les arsenaux de Brest et de Venise, ainsi que les méthodologies employées pour leur étude, nous allons nous intéresser au premier type d'indicateur, ceux liés à la mobilité.

« Donnez-moi un point d'appui et je soulèverai le Monde » [1]

Les engins de levage sont des indicateurs particulièrement pertinents pour étudier l'évolution des arsenaux du point de vue scientifique et technique, mais également du point de vue des pratiques. L'arsenal de Brest, depuis sa création, s'est équipé de plusieurs de ces systèmes qui sont représentatifs d'une époque donnée. Parmi ces engins de levage nous pouvons citer entre autres les machines à mâter, les grues à vapeur, hydrauliques ou électriques. L'engin de levage le plus ancien que nous allons évoquer est la machine à mâter.

6.2 La première machine à mâter de Brest

A l'origine, le transport de charges lourdes se limitait à la traction de la charge sur une surface horizontale ou des rampes inclinées à l'aide de leviers, de traîneaux et de cordes, indispensables pour synchroniser les efforts des ouvriers. Une grue est un engin de levage destiné à transporter de lourdes charges. Le terme de grue n'apparaît qu'au 15e siècle mais des dispositifs de levage sont déjà utilisés depuis l'antiquité. A l'origine ces machines servaient à la construction de grandes infrastructures, mais elles servaient également d'engins de destruction pendant les sièges et d'outils de déchargement.

Étape 1 : Émergence d'un besoin, sa traduction en problèmes technologiques, la solution choisie

Les besoins technologiques des arsenaux sont particulièrement importants en raison de l'activité de construction navale. Les engins de levage permettent de transporter de lourdes charges sur les navires ou de transporter les matériaux durant les phases de constructions. Les grues les plus fréquentes dans les ports et les arsenaux sont les grues appelées grue à tympan ou «cage à écureuils» (Voir figure 6.1) dont l'invention date du moyen-âge. Il s'agit d'une grue dotée d'une roue en bois qui sert à actionner un treuil ou un cabestan. Pour la faire fonctionner des hommes, ou parfois des animaux, marchent à l'intérieur de la roue.

1. Archimède IIIe siècle av J.-C.

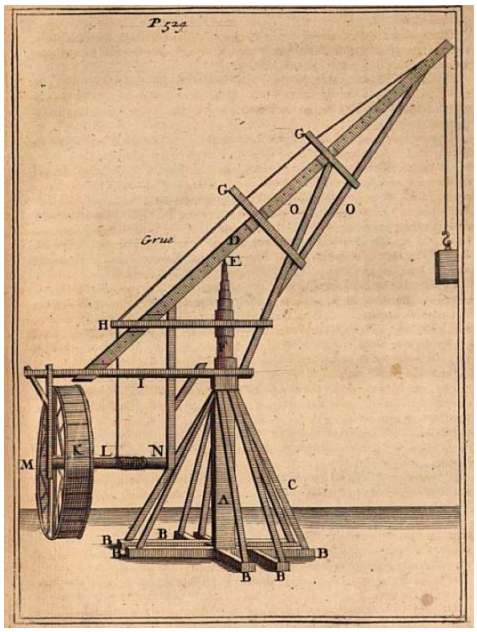


FIGURE 6.1 – Une grue à tympan ou «cage à écureuils» (OZANAM 1691)

Il existe plusieurs tailles de grues de ce type présentant des capacités de charge différentes. En général ce type d'engin de levage pouvait soulever des charges allant de 500 à 1000 kg (HATOT 1999).

Les quais de l'arsenal de Brest sont équipés de plusieurs grues à tympan qui permettent de travailler sur les navires comme nous pouvons le voir sur cette oeuvre de Louis-Nicolas Van Blarenberghe (Voir figure 6.2).

FIGURE 6.2 – Louis-Nicolas Van Blarenberghe, *«Vue du port de Brest (vue prise de la terrasse des Capucins)»*[2],

Avec le développement de la construction navale au sein de l'arsenal de Brest, les besoins techniques évoluent. Les mâts des navires deviennent de plus en plus imposants

2. Louis-Nicolas Van Blarenberghe, «Vue du port de Brest (vue prise de la terrasse des Capucins)», 1774, huile sur toile, 125 x 194,5 cm, Musée des Beaux-Arts de Brest.

tout comme leur poids. Il est absolument nécessaire d'équiper le port d'un dispositif capable de soulever plusieurs tonnes afin de positionner les mâts sur les navires. L'arsenal de Brest envisage alors la construction d'une machine à mâter, un système bien plus puissant. Malgré l'arrivée de la grue à mâter, les grues à tympan ne disparaissent pas pour autant. En effet, celles-ci fleurissent toujours sur les quais de l'arsenal pour permettre le chargement et le déchargement des navires.

Étape 2 : De la solution choisie à sa concrétisation

La première machine à mâter est installée dans l'arsenal de Brest en 1681 dans l'estuaire de la Penfeld, juste en dessous du château.

Une machine à mâter est un dispositif de levage permettant de poser, ou d'enlever les mâts des bateaux. La définition la plus précise de ce dispositif est sans doute celle du « *Traité complet de mécanique appliquée aux arts* » de (BORGNIS 1818) :

> *«L'appareil le plus considérable de tous ceux dont on se sert habituellement dans les ports, pour élever de grands fardeaux, est sans doute celui que l'on désigne par le nom de machine à mâter, que l'on établit sur le bord d'un quai pour servir à élever en l'air, et à amener les mâts majeurs d'un vaisseau, soit pour les mettre en place dans leurs étambrais, lorsque l'on veut l'armer, soit pour les en ôter lorsqu'on le désarme.»*

Il existe très peu d'informations sur cette machine à mâter. Parmi les seules représentations existantes de cette machine à mâter se trouve celle du manuscrit de Montier Deslongchamps *«Recueil de toute sorte de machines, d'outils et d'ustensiles en usage pour la construction et carenne des vaisseaux et tout ce qui a rapport à leur armement dans un arsenal de marine»* ainsi que des dessins techniques. Le manuscrit, qui date de 1763 est un formidable témoin du savoir-faire scientifique et technologique de l'arsenal de Brest. La représentation de Deslongchamps, nous permet d'obtenir plusieurs informations sur les caractéristiques de cette machine.

Nous n'avons à ce jour, aucune information sur la conception de cette machine à mâter. Nous ne savons pas à qui est dû ce système technique ni qui en est le concepteur.

Étape 3 : Les usages

La machine à mâter (Voir figure 6.3) est un dispositif technique particulièrement impressionnant. Celle-ci est dotée de trois bigues qui sont de grands mâts en bois. Ceux-ci sont longs d'environ 60 mètres, et inclinés de 7 à 8 mètres, formant avec le niveau de la plateforme, un angle de 120 degrés (LEVOT 1864) permettant un accostage rapide et commode.

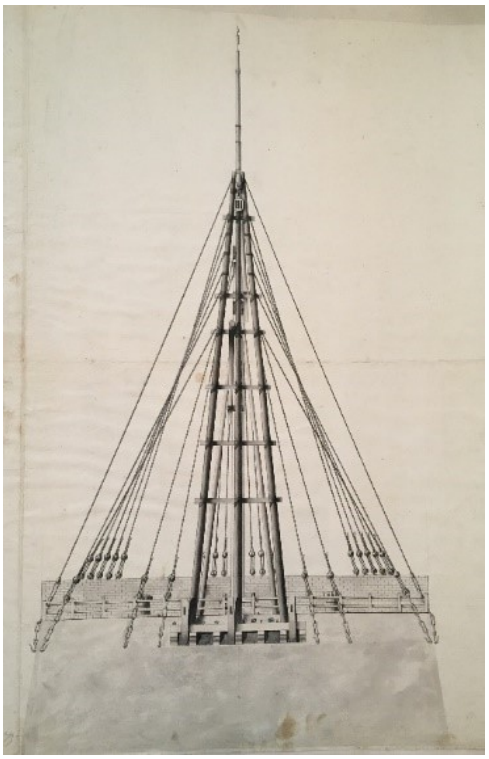


FIGURE 6.3 – Première machine à mâter de l'arsenal de Brest [3]

Son emplacement stratégique en bas du château permet un accostage facilité des navires afin de travailler dessus. Les bateaux se positionnent au pied de la plateforme permettant ainsi aux bigues de la machine d'avoir accès à l'emplacement du mât. Nous n'avons pas connaissance à ce jour, d'informations spécifiques au fonctionnement de cette première machine à mâter qui n'a pas beaucoup fait l'objet d'écrits à l'époque. Nous pouvons tout de même préciser que malgré l'efficacité de ce dispositif; les machines à mâter comme celles de Brest nécessitent un entretien particulièrement coûteux en raison du bois qui se dégrade rapidement à cause de l'eau et du sel, ce qui met en péril la sécurité et la solidité du dispositif. Dans ce cas, il est nécessaire de remplacer la machine en entier ce qui occasionne une très grande dépense, à la fois en matériaux mais également en temps (BORGNIS 1818).

Les machines à mâter sont des systèmes techniques particulièrement impressionnants par leur taille mais également par leur puissance. Tout comme les grues à tympan que nous avons présentées précédemment, ces systèmes emploient la force humaine afin de soulever les charges. Afin de manœuvrer les mâts des bateaux, et donc les bigues, la machine est dotée de cabestans. Le principe du cabestan est de combiner la force humaine et celle de la machine. Il s'agit d'une sorte de treuil vertical autour duquel s'enroule une corde ou un câble. Généralement le cabestan est doté de leviers que l'on appelle anspect, qui permettent aux hommes de le faire tourner. Les mâts des bateaux étant particulièrement lourds la main-d'oeuvre pour ce genre de machine est considérable. Nous n'avons pas d'information sur la main-d'oeuvre pour cette première machine à mâter mais on estime le nombre de personnes nécessaire à une bonne centaine d'hommes. Les savoirs associés à ce type de système technique sont particulièrement proches des savoirs associés à la navigation. En effet, les cabestans sont également utilisés sur les navires afin de manoeuvrer les voiles. Certains navires, particulièrement imposants nécessitent plu-

3. Plans de Montier Deslongchamps, Juillet 1754, Service historique de la défense de Vincennes, SH 318.

sieurs cabestans donc une main-d'oeuvre conséquente comme pour la machine à mâter. On peut éventuellement penser qu'il existait plusieurs types de postes participant à la manoeuvre de la machine. La main-d'oeuvre nombreuse et servile permettant de tourner les cabestans et d'autres postes permettant de s'assurer du bon déroulement de la manoeuvre.

> *«Le cabestan a l'inconvénient d'exiger un homme qui sert uniquement à faire filer le câble, au fur et à mesure qu'il s'enroule, pour que les tours qu'il fait sur le treuil ne s'y accumulent pas. On doit observer que la partie du câble qui s'enveloppe sur le treuil s'élève ou s'abaisse progressivement , de sorte que l'on est de temps à autre obligé d'arrêter le cabestan, afin de remettre le câble dans la position qu'il doit occuper; les ouvriers désignent par le mot choquer cette opération»* (BORGNIS 1818).

Une personne serait donc désignée pour vérifier le bon déroulement de l'opération au niveau des cabestans et des cordages et nous pouvons également envisager un autre poste destiné à l'accrochage des mâts et à la vérification du déplacement des fardeaux.

Étape 4 : Fin d'activité industrielle

La machine à mâter, essentiellement construite en bois à subie les vents marins ainsi que le sel remettant en cause la solidité du dispositif. Au 18e siècle, les navires de guerre évoluent rapidement, et les équipements doivent suivre cette évolution. En 1768, il est devenu absolument nécessaire d'agrandir mais également de consolider la machine à mâter de l'arsenal de Brest.

Étape 5 : La mise en patrimonialisation

La première machine à mâter de Brest a été entièrement détruite. Il ne reste actuellement aucune trace de ce dispositif en dehors des archives utilisées dans le cadre de cette étude.

Le système de machine à mâter est absolument nécessaire dans un arsenal comme celui de Brest pour permettre le mâtage et le démâtage des navires. Une seconde machine, semblable à la première, est alors conçue.

6.3 La seconde machine à mâter de Brest

Étape 1 : Émergence d'un besoin, sa traduction en problèmes technologiques, la solution choisie

Antoine Choquet de Lindu (1712-1790) architecte et ingénieur militaire est connu pour avoir beaucoup œuvré pour le paysage de l'arsenal brestois. En effet, il a conçu les plans des formes de constructions, des magasins et du bagne. Choquet de Lindu s'intéresse au projet d'une nouvelle machine à mâter pour l'arsenal de Brest. Il travaille sur un projet relativement différent. Il propose un projet de tour à mâter bétonnée équipée de bigues afin de mâter et de démâter les navires.

Selon lui, le nouveau dispositif de levage de l'arsenal de Brest devrait être bien plus imposant que la précédente machine à mâter qui fût trop fragile et pas assez puissante :

> *«Cette machine n'est pas suffisante dans les grands mouvements, pour la célérité, ne pouvant mâter dans un jour qu'un vaisseau, vu qu'il ne peut y être mâté*

que quand la mer est basse, mais pour y remédier il n'y a qu'à faire des bigues plus hautes de 15 à 16 pieds ou bien élever la maçonnerie du quai à cette même hauteur qui voudroit mieux que l'augmentation en hauteur des bigues.» [4]

La machine à mâter, de par sa taille est donc également dépendante de la marée. Choquet de Lindu cherche une solution pour mettre au point un dispositif plus imposant mais également bien plus solide. Il envisage alors la construction d'une tour maçonnée (Voir figure 6.4).

«Cette tour ou nouvelle machine à mâter sera beaucoup plus solide et plus commode que celle dont on se sert actuellement composée de mâts et de beaucoup de cordages et trop peu élevée pour mâter des vaisseaux de 100 canons. D'ailleurs le port de Brest est assez considérable pour avoir la machine à mâter avec l'ancienne on ne peut mâter qu'un vaisseau par jour et l'on en materoit deux avec la machine projetée, ce qui ferait ensemble 3 vaisseaux par jour.» [5]

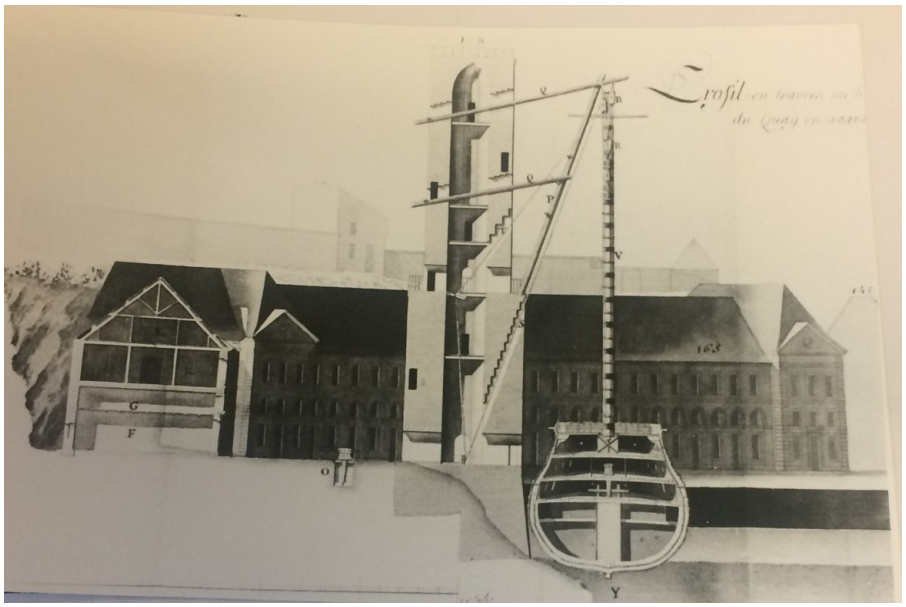


FIGURE 6.4 – Projet de tour à mâter dans l'arsenal de Brest [6]

Cette tour à mâter permettrait par la même occasion de travailler plus rapidement ce qui représenterait un véritable avantage pour l'arsenal de Brest. La construction de cette tour serait envisagée dans le secteur de Keravel, c'est-à-dire davantage en amont de la rivière Penfeld.

Les conditions de l'arsenal de Brest étant particulièrement difficiles on évoque également l'idée d'une machine à mâter flottante (Voir figure 6.5) qui permettrait de mâter les bateaux sans se soucier des marées, ce qui ferait gagner du temps : *«Les marées à Brest rendent peu commode la machine à mâter établie à terre. Une machine à mâter flottante serait beaucoup plus utile»* [7].

4. Choquet de Lindu,A., *« Description du port et Arsenal de Marine de Brest et tout ce qu'ils peuvent contenir»*, 8 novembre 1761, Archives Nationales de Paris, MAR D 2 23.

5. *«Projet d'estimation des ouvrages et bâtiments nécessaires pour l'agrandissement du port de Brest, ainsi que des fortifications indispensables pour sa sûreté »*, 1764, Archives Nationales de Paris, MAR D/2 /23.

6. *«Projet de tour à mâter dans le secteur de Keravel»*,Choquet de Lindu, 1754, AIG art.8, pièce 34.

7. *«Mémoire de M.Beaussier lieutenant de port »*, 1er avril 1743, Archives Nationales de Paris, MAR D/2/23.

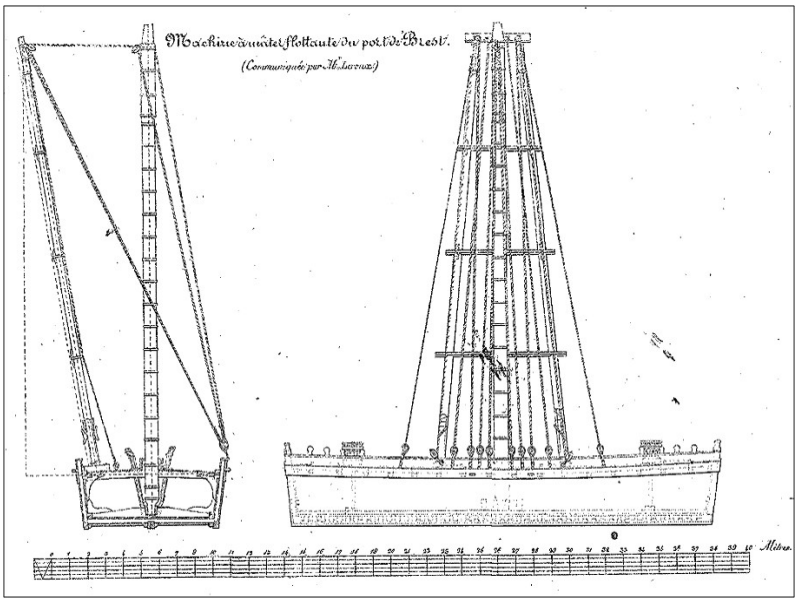


FIGURE 6.5 – Plan d'une machine à mâter flottante pour l'arsenal de Brest (CAMPAIGNAC 1834)

Malgré ce plan dans l'Atlas du Génie Maritime en 1834, nous n'avons aucune indication sur cette machine à mâter flottante. Nous ne savons pas si ce plan n'était qu'un projet ou si cette machine à bel et bien existé. Les tours à mâter ont l'avantage d'être de dimensions impressionnantes et sont dotées de bigues bien plus petites et donc bien plus maniables. L'édifice est également bien plus solide et nécessite beaucoup moins d'entretien. Il existe en Europe différents types de tours à mâter comme celle de Karlskrona en Suède (Voir figure 6.6) , ou encore celle de l'arsenal de Venise.

FIGURE 6.6 – Maquette de la tour à mâter de Karlskrona [8]

Étape 2 : De la solution choisie à sa concrétisation

Le projet de construction de tour à mâter de Choquet de Lindu n'est pas retenu au profit de la machine à mâter de Joseph Louis Petit ingénieur et capitaine de vaisseau. L'appareil repose sur un énorme massif de pierre de taille, et forme avec sa surface un angle rentrant afin de permettre aux plus gros navires de s'approcher de la machine . Il existe peu d'informations sur le concepteur de cette machine. Cambry en fait tout de même une référence dans un de ses ouvrages repris par le périodique «Le magasin Pittoresque» :

8. Marinmuseum Karlskrona, Photographie personnelle octobre 2017.

> *«Petit, officier de Port, était l'homme de cabinet le plus instruit, mais le plus inconstant. Entraîné par une imagination mobile, ardente, il commençait et n'achevait jamais. Il vécut pauvre, malheureux et desservi par le grand corps, qui cependant avait recours à lui dans les occasions difficiles. Les nombreux manuscrits qu'il a laissés à l'académie prouvent l'étendue, la variété des connaissances. Il avait entrepris un ouvrage sur toutes les parties de la marine ; on n'en a plus que des fragments. La mâture est son ouvrage [...]».* [9]

Antoine Choquet de Lindu malgré son projet avorté n'est tout de même pas écarté du projet car c'est lui qui se charge de la réalisation des travaux de maçonnerie et de la construction de la plateforme. Les travaux de la machine à mâter se terminent en 1768 et elle prend du service la même année.

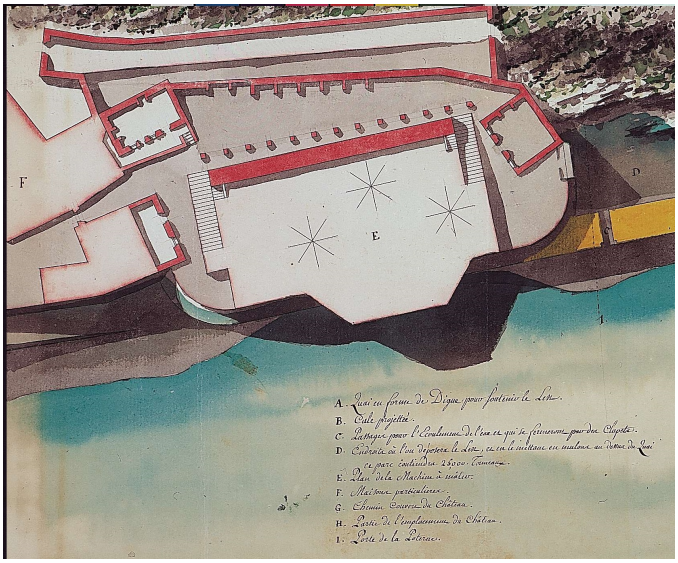


FIGURE 6.7 – Emplacement de la deuxième machine à mâter de Brest (détail) [10]

La machine à mâter est entourée de réserves afin de ranger les différents éléments qui servent dans les opérations de la machine, comme par exemple les poulies ou les caliornes. A côté de ces réserves se trouvent des logements ainsi que des guérites pour veiller à la sécurité de l'outil (Voir figure 6.7).

Brest n'est pas la seule ville de Bretagne à être dotée d'une machine à mâter de ce type. En effet, le port de Lorient en possède également une. D'après certains ouvrages, celle-ci est d'ailleurs plus impressionnante que celle de Brest : *«La machine à mâter de Lorient est une des plus gracieuses et des plus hardies entre celles que possèdent nos ports de mer »* (GRÉHAN 1855).

9. Sous la direction d'Edouard Charton, « Le Magasin pittoresque », [s.n] Paris, 1847, p.290.
10. Choquet de Lindu,21 octobre 1771, Service historique de la défense Vincennes, DD2 691 11

FIGURE 6.8 – La grue à mâter de Brest en 1860 (détail) [11]

La machine à mâter de Brest impressionne beaucoup par sa taille qui est très importante (Voir figure 6.8). De plus, son emplacement, à l'embouchure de la Penfeld fait qu'il s'agit d'une des premières choses que l'on voit quand on pénètre dans l'arsenal. Amédée (GRÉHAN 1855) a d'ailleurs dans un de ces ouvrages, tenté d'expliquer cela :

> *« Elle est là, sur la rive gauche du port, à quelques distances de son entrée, entre la batterie couverte et la grille dite de la mâture, aux pieds des hauts rochers qui servaient de base à l'ancien château de Brest ; elle s'élance dans l'air comme un jet incliné, et se présente à l'observateur, qui entre dans le port par la rade, comme le trait le plus en relief dans le beau panorama maritime qu'il a devant lui. Du quai solide qui lui sert de piédestal, son système aérien s'élève, domine, et semble commander à tous les autres appareils qui abondent dans un arsenal maritime, et en constituent l'importance spéciale. Quand le regard a mesuré la hauteur et la pose de cette machine gigantesque, et que la pensée compare les efforts immenses qu'elle est appelée à supporter, on ne peut se défendre d'un doute vague, auquel succède rapidement un sentiment d'admiration, quand on demeure convaincu de la solidité infaillible et de la force toute puissante de ce colossal appareil dans toutes les épreuves où il est appelé à fonctionner».*

Même si la première et la seconde machine à mâter s'avèrent être relativement similaires, la seconde machine est bien plus imposante. Ce système technique est particulièrement impressionnant et de par sa localisation, il s'agit de la première chose que l'on voit lorsque l'on s'aventure dans l'arsenal. La construction de ce type de système technique participe au prestige de la construction navale de l'arsenal de Brest.

Étape 3 : Les usages

Le principe même de la machine est très semblable à celui de la première machine à mâter (Voir figure 6.9). Cette machine est dotée de six cabestans établis sur une plateforme en granit. Que ce soit pour la première ou la seconde machine, il est souvent

11. Service historique de la défense Brest,Fond 9 Fi/2/8

mentionné dans les textes la présence de six cabestans alors que sur les plans et les représentations on ne distingue que 3 cabestans. On peut donc proposer l'éventualité que ces machines fussent dotées de cabestans mobiles utilisés qu'en cas d'absolue nécessité. Cette information est à prendre au conditionnel car ces cabestans mobiles supplémentaires ne sont jamais clairement mentionnés.

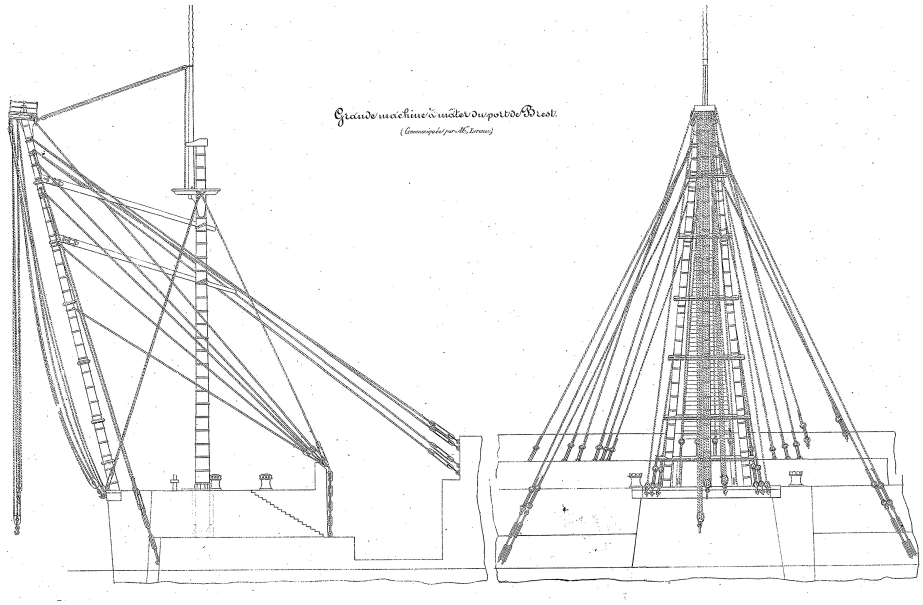


FIGURE 6.9 – Plan de la seconde machine à mâter de Brest (CAMPAIGNAC 1834)

Amédée (GRÉHAN 1855) [12] décrit dans son ouvrage *« La France Maritime»* les procédés d'utilisation de la machine à mâter de Brest. Avant toute chose, il précise qu'il s'agit d'une machine aux procédés *«longs, pénibles et dangereux»*. Il précise également qu'il faut parfaitement connaître sa structure, son poids et son volume pour l'utiliser sans encombre. Pour expliquer ses dires, il prend l'exemple d'un vaisseau de cent vingt canons, entièrement vide et sans mâts, tel qu'il peut-être quand il sort des mains du constructeur, et qu'il doit être équipé. Les proportions du mât pour un tel navire, sont de cent vingt-cinq pieds pour sa longueur (38 mètres), et de trois pieds (91 cm) pour son diamètre moyen. Le poids total du mât est donc de quatre-vingt-quatre mille trois cent cinquante livres, soit près de 38 tonnes. La machine élève le mât dans le sens de sa longueur pour que le bout inférieur du mât soit assez élevé au-dessus du vaisseau, et puisse se présenter dans les ouvertures destinées à le recevoir.

La main-d'œuvre humaine est absolument nécessaire pour faire fonctionner ce type de machine à mâter. En effet, les cabestans nécessitent une force motrice conséquente. Quand les cabestans sont actionnés ils enroulent, ou au contraire déroulent des cordages attachés à ces derniers qui passent ensuite par des poulies présentes au pied des bigues ainsi que par des palans qui vont guider les cordes jusqu'en haut de ces dernières. L'utilisation de ces cabestans associée à celle des poulies mais aussi des palans et des caliornes, permet de considérablement réduire la force nécessaire pour déplacer de très lourdes charges. Malgré cela, la main-d'œuvre humaine est considérable pour pouvoir soulever des charges de plusieurs tonnes. La ville de Brest est dotée d'un bagne entre 1749 et 1858 qui fournit la main-d'œuvre nécessaire pour pouvoir actionner la machine à mâter. Nous n'avons pas d'indications claires sur le nombre de personnes requises pour la manœuvre

12. Amédée Gréhan (1808-1879) est sous-chef de bureau au ministère de la Marine.

mais on estime ce nombre à 200 personnes. Sur la vision stéréoscopique (Voir figure 6.10), on aperçoit la main-d'œuvre qui semble relativement importante.

FIGURE 6.10 – Vue stéréoscopique de la machine à mâter de Brest [13]

Cambry a visité l'arsenal de Brest en 1794. Dans le récit de son voyage, il admet que la machine à mâter était particulièrement impressionnante. Il nous donne également quelques anecdotes sur les habitudes des hommes qui y travaillaient :

> *«Elle est placée sur le rivage en bas du château, à la tête du quai de Brest : ce quai n'est pas orné de maisons de décoration; il est large, marchand, presque toujours couvert de vins, d'eau de vie, des objets nécessaires à la consommation* (CAMBRY 1835)»

Il semblerait alors que les ouvriers de l'arsenal avaient de quoi se substituer à la suite des manoeuvres de l'engin de levage.

Étape 4 : Fin d'activité industrielle

La machine à mâter *«remplissait un rôle de première importance »* [14] dans l'arsenal de Brest. Mais l'arsenal se développe davantage vers le fond de la Penfeld, l'outillage, les navires évoluent, s'agrandissent, et la machine à mâter devient insuffisante. Les navires abandonnent peu à peu les voiles pour des moteurs capables de déplacer des navires construits entièrement en acier. Afin de suivre l'évolution des navires, les appareils de levage doivent également muter afin de devenir toujours plus efficaces. On exprime également le besoin de trouver des systèmes techniques nécessitant une main-d'œuvre moins conséquente. La construction d'une grue en particulier va sonner la retraite de la machine à mâter qui va être démontée : il s'agit de la grue du viaduc.

13. *«Brest, cabestans de la machine à mâter»* Charles Furne (1824-1880) et Alexis Tounier (1835- date inconnue), « Voyages en Bretagne » 1857. Liste des vues stéréoscopiques publiées le 14 novembre 1857 dans le journal «La lumière» avec pour titre : *«La Bretagne au Stéréoscope : voyage pittoresque et artistique»*.

14. «*La dépêche »*, 21 décembre 1938, Archives Municipales de Brest.

Étape 5 : La mise en patrimonialisation

Tout comme la première machine à mâter, il ne reste aucune trace de ce système technique. La plateforme en granit qui la supportait a également disparu. Rien n'est visible actuellement en contrebas du château même si nous pouvons deviner sa localisation exacte grâce à quelques photographies de l'époque.

Des maquettes de cette machine à mâter de Brest ont tout de même pu être créées grâce à de nombreuses représentations iconographiques du système technique. Une maquette est présente au musée de la marine de Brest et une seconde a été créée par M. André Miossec à l'échelle 1/200e d'après le plan de l'Atlas du Génie Maritime. Cette maquette a été présentée lors de l'exposition *«L'Épervier : escale BD aux Capucins»* à la médiathèque des Capucins de Brest entre le 7 janvier au 23 avril 2017.

Pour les opérations de mâtage et de démâtage des navires, l'arsenal de Brest s'est équipé d'engins de levage appelés «machine à mâter». Dans l'arsenal de Venise un autre système technique est consacré à ce type d'opération : la tour à mâter.

6.4 La torre Porta Nuova de Venise

Étape 1 : Émergence d'un besoin, sa traduction en problèmes technologiques, la solution choisie

Entre 1806 et 1814 Venise est sous domination française. Napoléon utilise l'arsenal comme base navale pour la flotte impériale de l'Adriatique. Cette période marque le lancement de nouveaux programmes de modernisation de l'arsenal pour la construction navale française. Dans un rapport sur l'arsenal de Venise signé Maillot datant du 11 avril 1806, il est question des travaux prévus prochainement :

«Article 1er, travaux de l'arsenal : Les travaux de l'arsenal comprennent :

1. *L'ouverture d'une nouvelle porte pour la sortie de l'arsenal et la fondation de la tour qui doit supporter la machine à mater.*
2. *L'élévation de cette tour à 110 pieds de hauteur et la construction de la machine à mâter*
3. *La construction de plusieurs cales et avant cales pour la construction de vaisseaux et frégates*[15] *. »*

La construction de la tour Porta Nuova s'intègre dans l'un des gros chantiers de modernisation de l'arsenal. Cet édifice a pour ambition de faciliter la construction des navires de la flotte.

Le rapport du 11 avril 1806 révèle comment les Français ont examiné les problèmes sans passer par les organismes locaux, et exprime de nombreux doutes sur la possibilité de moderniser l'arsenal de Venise (BELLAVITIS 1983). Maillot propose alors une comparaison très détaillée sur les caractéristiques respectives des navires vénitiens et français à 74 canons afin d'évaluer les besoins. Andréas Salvini ingénieur italien et Prony et Sganzin ingénieurs français travaillent sur des projets d'amélioration de la prochaine nouvelle sortie des navires de l'Arsenal, construite sur la Darsena Nuovissima : la porta Nuova. Salvini propose de construire à l'entrée deux tours néo-gothiques semblables à celles existant déjà dans l'Arsenal afin de confirmer l'unité historique du lieu. Les Français quant à eux,

15. Maillot, Rapport sur l'arsenal de Venise 11 avril 1806, Service historique de la défense de Vincennes, SH 146.

proposent une grande tour, destinée à servir de machine à mâter les navires (BELLAVITIS 1983). Les calculs, rapports, devis et dessins sont envoyés au ministre de la Marine le 14 octobre 1806. L'ouverture de la Porta Nuova est officiellement autorisée en novembre 1806, tandis que le reste des travaux est reporté pour cause de guerre. Napoléon est en visite à Venise entre le 29 novembre et le 4 décembre 1807 dans le but de discuter du grand projet de modernisation de l'arsenal (FRASCA 2012). Le projet de la tour à mâter est retenu et l'empereur nomme alors l'ingénieur Lessan, chef du corps impérial des Ponts et Chaussées, qui sera assisté par d'autres ingénieurs Lamblardi et Partiot.

Étape 2 : De la solution choisie à sa concrétisation

Les travaux de modernisations de l'arsenal de Venise comprennent la construction de la Torre di Porta Nuova dans la zone nord, l'arsenale Novissima près de la porte du même nom (Voir figure 6.11) . Il s'agit d'une zone stratégique pour une machine à mâter car elle se trouve près d'une porte ce qui facilite grandement les allées et venues des navires.

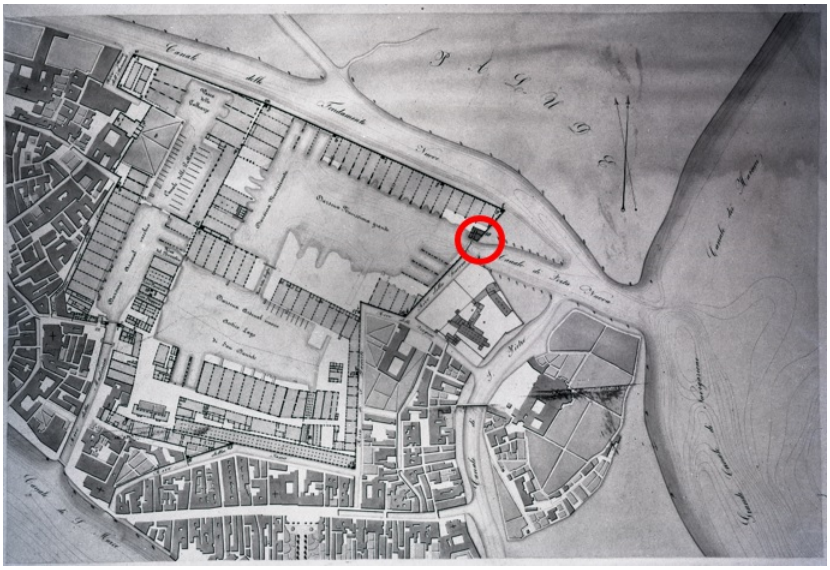


FIGURE 6.11 – Localisation de la Torre Porta Nuova [16]

Le projet de la tour Porta Nuova a été dessiné entre 1807 et 1808. Lessan retravaille le projet et propose une tour simple, pratique et utilisant la technologie vénitienne traditionnelle (BELLAVITIS 1983). Les travaux de la tour à mâter Porta Nuova débutent en 1810.

Les travaux de cette tour ont semble-t-il étés relativement compliqués et soumis à des retards comme il en est question dans le rapport sur les travaux du port de Venise de Prony :

> *«La tour pour la machine à mâter, [...] m'a paru avoir un caractère d'architecture très convenable à sa position et à sa destination on a cru devoir l'arrêter à la hauteur de 32 pieds jusqu'à ce que le conseil des travaux maritimes ait donné son opinion sur le projet de la machine qui lui a été soumis par M. Lessan au mois de mars dernier l'objet de ce retard et de se ménager les moyens d'avoir égard aux observations du conseil dans la continuation des travaux* [17] *».*

16. Album *«Esposizione Parigi»*, Museo Navale Venezia, 1873.
17. PRONY, Rapport à son altesse impériale le prince vice-roi d'Italie sur les travaux du port de Venise, 1811, SH 146.

Le site sur lequel va être érigée la tour ne facilite pas non plus l'avancée des travaux. En effet, le sol est particulièrement instable car constitué en majeure partie de vase. Il faut construire des fondations à l'aide de pieux en bois de 8 mètres de profondeur. L'édifice a subi un affaissement rapide d'environs 25mm mais cela n'a pas menacé la stabilité de la construction (MARTINI 1877). Compte tenu des difficultés rencontrées durant ces travaux, un hommage est d'ailleurs rendu à l'ingénieur : « *Son exécution a présenté des difficultés que M.Lessan a surmonté avec une habilité et même un courage qui lui font beaucoup d'honneur*»[18].

Il semblerait également que les coûts des travaux aient été bien plus importants que prévu car en 1811 il est précisé qu'ils «*ont déjà consommé une somme de 112.690*[19]». Des choix sont alors faits par souci d'économie : la pierre de taille n'est utilisée uniquement que pour les coins, les portes et les cordons et le reste est remplacé par de la brique classique, bien moins chère.

A l'origine, la structure de la tour devait être complétée par un système de poutres en bois articulées sur environ la moitié de la hauteur totale, actionnées par des poulies et des contrepoids situés à l'intérieur, conformément à un modèle déjà utilisé à cette époque au Danemark à Copenhague. Ce système est finalement remplacé en 1826 par un mécanisme bien moins compliqué, constitué de deux grandes antennes qui constituent une chèvre ou des bigues (CASONI 1829) . Ce dispositif était rarement utilisé sous la domination autrichienne, car sa stabilité était considérée comme imparfaite (MARTINI 1877).

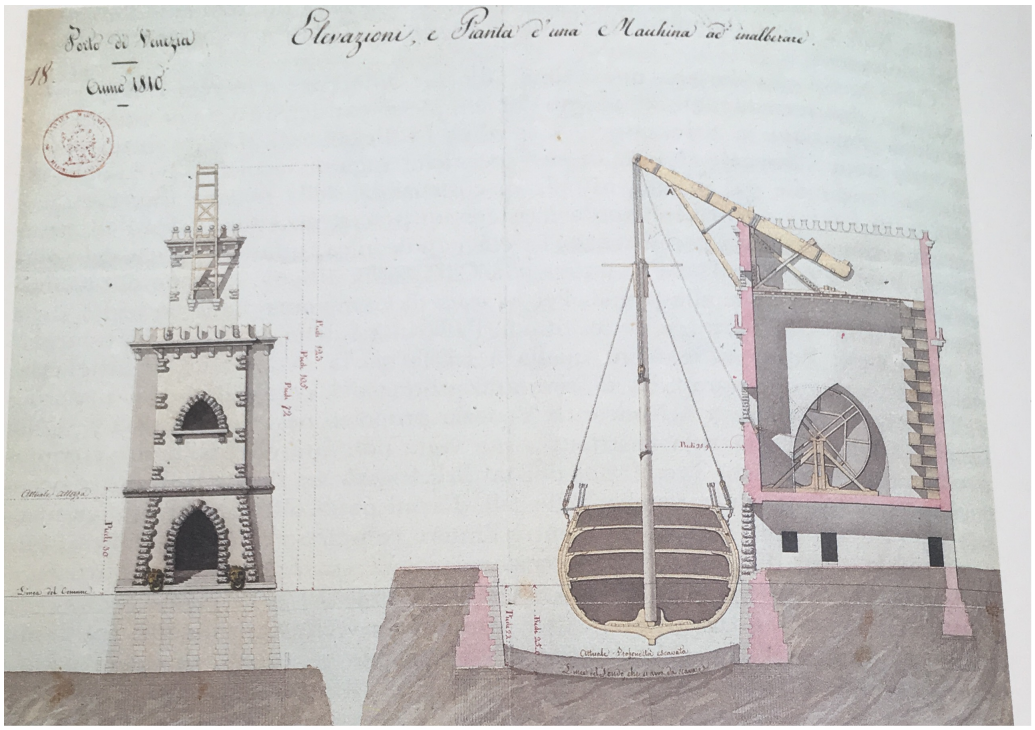


FIGURE 6.12 – Plan de la tour à mâter[20]

Les travaux commencés par décret du 7 décembre 1807 se poursuivront jusqu'en 1813 et même au-delà, même si, en réalité, les projets n'ont pas été réalisés dans leur totalité

18. PRONY, Rapport à son altesse impériale le prince vice-roi d'Italie sur les travaux du port de Venise, 1811, SH 146.

19. PRONY, Rapport à son altesse impériale le prince vice-roi d'Italie sur les travaux du port de Venise, 1811, SH 146.

20. *«Elevazione e pianta di una macchina per «inalberare« con il progetto della torre di Porta Nuova»* (détail), Archives Nationales de Paris, 1810, Marine G 219, (CONCINA 1991)

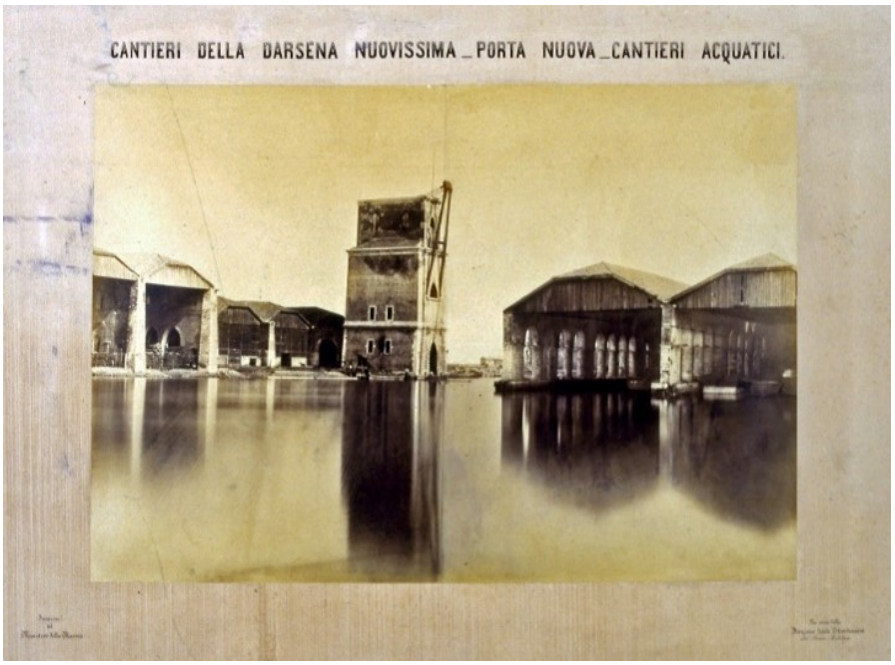


FIGURE 6.13 – La torre Porta Nuova équipée de ses bigues [21]

(CONCINA 1991). En raison de l'interruption des travaux et des nombreuses modifications de la tour, le projet final est bien loin de ce qui était initialement prévu (Voir figure 6.12). Bellavitis déclare tout de même *«Dal punto di vista formale, nell'opera si ravvisano sia la purezza volumetrica, sia il revivalismo stilistico, propri degli architetti francesi «della Rivoluzione»* (BELLAVITIS 1983) - («D'un point de vue formel, l'œuvre montre à la fois la pureté volumétrique et le renouveau stylistique des architectes français de «la Révolution») (Voir figure 6.13).

Étape 3 : Les usages

La torre Porta Nuova qui a une hauteur de 34 mètres et une puissance de charge de 16 tonnes, est consacrée au mâtage et démâtage des navires. La structure de la tour est composée de poutres en bois, de briques pleines et le toit est couvert de tuiles. La tour, de forme trapézoïdale adopte des murs en briques et limite l'utilisation de la pierre d'Istrie à la construction des angles et des arcs en ogive des ouvertures. Sur le versant mer, l'édifice est composé de deux ouvertures et dans la pièce située au sud du rez-de-chaussée, il y a 4 poutres en acier qui permettent de soutenir le plancher intermédiaire. Les fenêtres sont en bois et dotées de barres en métal. Au-delà de son utilisation principale, l'emplacement même de la tour a un intérêt. En effet, elle permet le contrôle de l'accès à l'aire de stationnement des grands bassins qui se trouvent juste à côté grâce à une hauteur particulièrement conséquente de 34 mètres. La tour constitue également un point de vue idéal pour la surveillance de l'arsenal.

Avec la tour à mâter de Venise, la pose et l'enlèvement des mâts est un processus long et difficile. Il serait apparemment particulièrement compliqué de manier ce type de grue ce qui entraîne «une opération longue et fatigante» (RIVISTA 1878) pour les personnes qui effectuent les procédures. Nous pouvons tout de même nous demander si les défauts énoncés ne concernent pas les tours à mâter dans leur généralité, mais simplement l'édi-

21. Album *«Esposizione Parigi»*, Museo Navale Venezia (non daté).

FIGURE 6.14 – La tour à mâter de Copenhague [22]

fice vénitien. D'autres arsenaux se sont équipés de tours à mâter, comme Copenhague (Voir figure 6.14) ou Karlskrona (Voir figure 6.6).

La tour à mâter de Copenhague est érigée entre 1748 et 1751, cette machine à mâter conçue par Philip de Lange a pour vocation d'équiper les navires et de suivre l'évolution de ceux-ci. Le principe de cette tour à mâter est novateur pour l'époque. A l'origine, l'ingénieur envisageait la construction d'une grue « murée », c'est-à-dire un système de grue en bois protégée par des murs. Une partie de l'appareil de levage en bois est protégée par la maçonnerie et la partie extérieure est maintenue par des cordes et non par des boulons, des rivets ou encore des vis. Cette technique protège davantage le bois, le rend beaucoup moins vulnérable aux forts soulèvements, aux vents violents ou encore au soleil.

La base navale de Karlskrona (Voir figure 6.6) dans le sud de la Suède possède également une tour à mâter au même titre que les arsenaux de Venise et de Copenhague. La tour à mâter a été mentionnée pour la première fois dans une lettre royale le 3 octobre 1749, lorsqu'il a été décidé qu'une grue de ce type serait construite. Cependant ce ne fut que le 16 mars 1803 que les dessins définitifs furent réalisés par l'architecte Fredrik Blom (1781-1853), tandis que Jonas Lidströmer se charge de la construction. Les travaux ont lieu entre 1803 et 1806. D'une hauteur totale de 42 mètres, la tour est en brique, la tête de la grue en bois et le toit sont entièrement revêtus de cuivre. La tour, particulièrement impressionnante, est divisée en six étages et compte pas moins de 200 marches. La grue à mât est haute de six étages et aux deuxième et troisième étages, se trouvent deux grands cabestans avec douze barres chacun. Avec deux hommes à chaque bras, 96 personnes étaient nécessaires pour actionner la grue. À partir de ces mécanismes, des treuils montés dans des canaux situés dans les murs en briques accèdent à la tête de la grue pour la faire fonctionner.

22. Photographie personnelle août 2019.

	Tour à mâter de Venise (Italie)	Tour à mâter de Copenhague (Danemark)	Tour à mâter de Karlskrona (Suède)
Année de construction	1813	1749 ou 51	1806
Concepteurs	Lessan	De Lange	Blöm / Lidströmer
Dimensions	34 mètres	40 mètres	42 mètres
Mécanismes utilisés	Petites bigues	Grand système de levage en bois	Grand système de levage en bois 4 cabestans
Main d'œuvre nécessaire	Inconnu	Inconnu	96 personnes

FIGURE 6.15 – Tableau comparatif de trois tours à mâter

A l'origine, la tour à mâter de Venise devait être dotée d'un mécanisme semblable à celui utilisé sur la tour de Copenhague mais ce système a été remplacé en 1826 par un mécanisme moins compliqué, constitué de deux grandes antennes qui constituent une chèvre ou des bigues . Même si elles ont été construites pour les mêmes missions, les trois tours à mâter de ces études présentent chacune des spécificités qui leur sont propres. La tour de Venise est construite sous une forme trapézoïdale et dotée de très petites bigues. La tour de Copenhague possède un imposant système de levage en bois entièrement fixé à l'aide de cordes et le système de levage de la tour de Karlskrona est entièrement protégé par un toit en cuivre. En regardant de plus près le tableau récapitulatif de la figure 6.15 reprenant les informations concernant ces trois systèmes, nous pouvons nous rendre compte que la tour de Venise n'est pas avantagée par rapport à ses homologues danoises et suédoises. En effet, la première grue de ce panel à avoir été mise en service est celle de Copenhague, en 1749, ce qui veut dire qu'elle fonctionnait déjà depuis une soixantaine d'années quand celle de Venise a été construite. Leurs mécanismes sont également bien différents les uns des autres. Doté jusqu'en 1826 d'un mécanisme semblable à la grue de Copenhague, le système de levage est remplacé par un système de petites bigues. En observant les représentations de ces trois tours, il est aisé de se rendre compte que les grues danoise et suédoise ont des systèmes de levage bien plus imposants, qui permettent d'atteindre des distances plus éloignées. Ces tours sont également bien plus hautes que leur homologue italienne qui ne fait que 34 mètres et dont les bigues sont positionnées sur la façade et non sur le sommet. Les machines à mâter comme celles de Brest nécessitent un entretien particulièrement coûteux en raison du bois qui se dégrade rapidement à cause de l'eau et du sel qui mettent en péril la sécurité et la solidité du dispositif. Ces réparations emploient également une main-d'oeuvre particulièrement importante ce qui entraîne un arrêt provisoire de l'activité. Une tour en maçonnerie est bien plus solide et nécessite moins d'entretien. La main-d'oeuvre nécessaire pour les tours à mâter en comparaison des machines à mâter est également différente. En effet, 200 personnes environ sont nécessaires pour faire fonctionner une machine à mâter contre environs 96 pour une tour. Les procédures sont également différentes.

Étape 4 : Fin d'activité industrielle

La tour de Venise débute quant à elle son activité en 1813 et stoppe le mâtage vers 1840. Les bigues ne sont pas détruites tout de suite car la tour est ensuite utilisée ponctuellement comme grue classique en compléments des autres grues de l'arsenal. L'engin de levage est rapidement devenu obsolète car il n'est pas parvenu à suivre les progrès de l'ingénierie et des techniques développées pour la construction navale. Les autres tours à mâter de Copenhague et Karlskrona, plus efficaces, ont été utilisées bien plus tard comme la suédoise en 1873, date à laquelle elle a été remplacée par une grue moderne.

FIGURE 6.16 – La tour à mâter de Venise [23]

Étape 5 : La mise en patrimonialisation

Selon Casoni, en 1829, il existait une maquette complète de la tour Porta Nuova dans la salle des maquettes de l'Arsenal, ainsi que la maquette du système hollandais qui n'a jamais été utilisé. Casoni attribue ces maquettes à Lessan ou à l'ingénieur Lamblardie, envoyé à Venise par Napoléon pour seconder Lessan lors des travaux (BELLAVITIS 1983). Il n'existe aujourd'hui aucune trace de ces maquettes qui ont sans doute été détruites.

La tour à mâter de Venise est encore visible aujourd'hui dans l'arsenal (Voir figure 6.16). Elle n'est à présent plus dotée de ses bigues et de ses mécanismes et nous n'avons aucune indication sur l'époque de leur destruction. La torre Porta Nuova, véritable témoin de l'occupation française et autrichienne au sein de l'arsenal de Venise est aujourd'hui réhabilitée. En 1980, à l'occasion de la Première Exposition Architecturale internationale organisée par «La Biennale», une partie de la corderie est utilisée comme espace d'exposition. Depuis lors, de nombreux bâtiments de l'Arsenal ont été rénovés et réhabilités. Avec la réduction progressive des effectifs de la Marine dans l'Arsenal de nombreux bâtiments sont transformés. Comprise dans ces grands travaux de réhabilitation, la tour a fait l'objet de restaurations à partir de 2006 dans le but de lui offrir une seconde vie : un espace de travail et d'exposition. Les murs ont été entièrement consolidés et des rampes d'accès ont été construites à l'intérieur de l'édifice pour permettre aux visiteurs de se rendre sur le toit-terrasse qui offre une vue imprenable sur l'arsenal (Voir figure 6.17).

23. Photographie personnelle, mai 2017.

FIGURE 6.17 – Intérieur de la tour réhabilitée [24]

Même si ce projet de réhabilitation est de qualité et permet de garder en bon état cet édifice de l'arsenal, il est fortement dommage que les bigues et les mécanismes aient totalement disparu. En effet, les visiteurs qui découvrent cet édifice n'ont, pour le moment, aucune information sur l'utilisation première de cette grue ainsi que son histoire. Les mises en patrimonialisation des grues de Copenhague et de Karlskrona ont été particulièrement différentes. La «Gamla Mastkranen» de Karlskrona est dans un état de conservation particulièrement impressionnant. Les mécanismes sont toujours en place et permettent donc aux visiteurs de comprendre le fonctionnement de cet engin de levage mais également d'en comprendre les usages (Voir figure 6.18).

FIGURE 6.18 – Mécanisme de la tour à mâter de Karlskrona [25]

Il est également possible de visiter la tour à mâter de Copenhague ainsi qu'un vieux navire qui est amarré juste en face.

24. Source (dossier cabinet architecture) : http://www.map-studio.it/wp-content/uploads/magnanipelzel-torre-di-porta-nuova-arsenale-di-venezia/Casabella-802.pdf

25. Source : http://www.orlogsstadenkarlskrona.se

En raison de l'évolution des navires de la marine, la machine à mâter de Brest s'avère être obsolète. L'arsenal se dote alors d'un engin plus puissant et bien plus moderne : une grue à vapeur également appelée «grue du viaduc».

6.5 La grue du viaduc de Brest

Étape 1 : Émergence d'un besoin, sa traduction en problèmes technologiques, la solution choisie

Au milieu du 19e siècle, l'arsenal de Brest connaît une mutation sans précédent. Les navires se modernisent, s'agrandissent et le paysage se transforme pour accueillir ces nouveaux bâtiments.

L'atelier des machines de l'arsenal, appelé également plateau des Capucins est construit entre 1841 à 1845 à l'emplacement de l'ancien couvent des Capucins rive droite de la Penfeld. Ces bâtiments comprennent l'atelier de fonderie, l'atelier de montage l'atelier d'ajustage, ainsi que l'atelier pour la confection et le montage des chaudières. Il s'agit d'un bâtiment très moderne et particulièrement encensé dans les ouvrages de l'époque :

> *« Par leur mode de construction, par leurs dispositions intérieures, par leur outillage aussi complet qu'il est possible de l'être, ces ateliers sont au premier rang parmi ceux de l'Europe»* (PRADÈRE 1889).

Il est décidé d'établir un engin de levage à proximité du plateau afin de charger et de décharger les chaudières des bâtiments. Cet engin de levage peut également être utilisé en tant que grue à mâter en complément de la seconde machine à mâter qui est toujours en activité près du château. Mais le plateau des capucins se trouve à plus de 19 mètres au-dessus de la rivière Penfeld ce qui rend son accès particulièrement difficile. Dans un rapport de Trotté de la Roche, directeur des travaux hydrauliques daté du 7 décembre 1839, il est stipulé concernant le plateau des Capucins qu'il est nécessaire *« que l'on ouvre plusieurs voies de communication pour en former les abords »*[26].

Le cahier des charges de la grue stipule qu'il est absolument nécessaire d'établir une grue à 20 mètres au-dessus des hautes mers afin que l'activité de la grue ne soit pas interrompue chaque jour par l'action des marées comme ce fut le cas avec les machines à mâter.

Avec l'apparition des bâtiments à vapeur, les pièces à déplacer au sein de l'arsenal de Brest sont de plus en plus lourdes. Autrefois, avec les précédents systèmes les charges pouvaient aller jusqu'à 15 tonneaux, et à présent, avec les nouvelles techniques, elles peuvent soulever des charges bien plus conséquentes. Dans ce cahier des charges, il est fermement demandé à ce que la grue puisse soulever 50 tonneaux en prenant en compte les avaries, les possibles défauts de l'appareil ou encore les maladresses dans son emploi. A l'origine du projet il n'est pas encore question de construire un viaduc. Une grue est évoquée mais celle-ci devait à l'origine être placée « *au sommet de l'escarpement du rocher du côté de la cour des forges*[27] ». Cette élévation que représente le rocher permettrait de déplacer de lourdes charges entre le plateau des capucins et les ateliers qui se trouvent en contrebas. Ce projet d'établissement d'une grue à même la roche est rapidement abandonné.

26. Rapport du 7 décembre 1839 adressé au préfet maritime par Trotté de la Roche, le directeur des Travaux Hydrauliques SHD Vincennes, DD2 913.

27. Rapport du 7 décembre 1839 adressé au préfet maritime par Trotté de la Roche, le directeur des Travaux Hydrauliques SHD Vincennes, DD2 913.

Un autre projet est alors proposé, celui d'une grue positionnée sur un môle à trois étages d'après une idée de M.Fauveau, Directeur des Constructions Navales, compte-tenu de la faible distance qui sépare horizontalement la rive du port de l'angle du plateau des Capucins. Le projet est adopté par la direction des travaux hydrauliques et les travaux pour la construction du môle débutent.

Étape 2 : De la solution choisie à sa concrétisation

L'entreprise Hersent s'occupe de la construction du mur du quai du viaduc qui est exécuté à partir de piliers et à l'aide de caissons métalliques et d'air comprimé. Ces travaux, qui sont particulièrement impressionnants ont coûté 500 000 francs (HERSENT 1895). Le môle du viaduc quant à lui, est exécuté en pierres de taille d'après les plans de l'ingénieur Menu du Mesnil. Il s'agit d'une arche en plein cintre de 30,60m d'ouverture et de 20 m de hauteur. Il est fondé à une grande profondeur au-dessus des plus basses mers soit 5,75m. Ce viaduc, particulièrement imposant, est *« une œuvre digne de toute l'attention des visiteurs»* (PRADÈRE 1889).

Les travaux débutent en 1848 et se terminent en 1857. Le premier appareil de levage qui équipe le viaduc est un système de bigues relativement similaire à celles employées par les machines à mâter.

Le système de cette grue à bigue (Voir figure 6.19) est prévu pour rendre les opérations plus rapides qu'avec tout autre système de levage. Ce système est donc bien plus maniable que l'ancien système de machine à mâter, et nécessite une main-d'œuvre moins importante.

FIGURE 6.19 – Le môle du viaduc équipé de la grue à bigues en 1861 [28]

Mais ce système de bigues va devenir très rapidement obsolète car il ne peut répondre à tous les besoins de la Marine. Il est alors décidé de changer de système technique pour une grue plus moderne et plus puissante. Le projet de l'établissement d'une grue à vapeur est approuvé en juin 1841 [29]. Cette grue est nécessaire pour l'embarquement et le débarquement des chaudières et des machines des bâtiments à vapeur bien trop lourdes pour l'ancienne grue à bigues.

28. SHD Brest, PH 3 8 126
29. Rapport daté du 8 mars 1845 SHD DD2 913

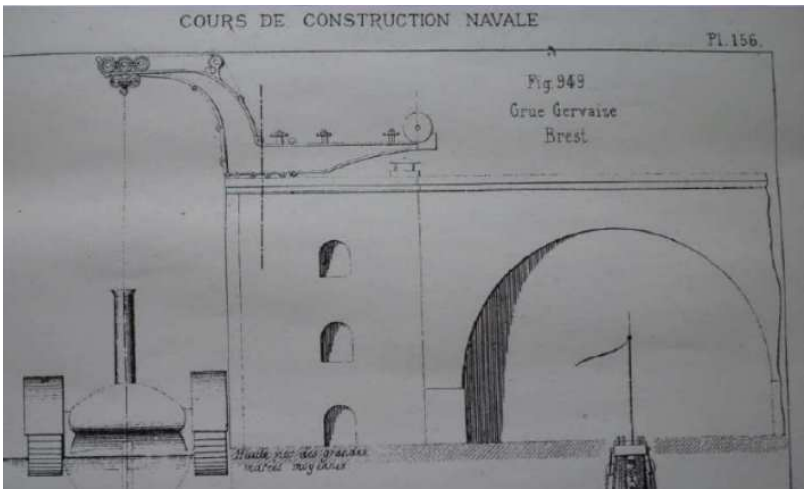


FIGURE 6.20 – Plan du môle et de la grue Gervaise (HAUSER 1886)

Les plans de la grue à vapeur sont exécutés sous la direction de Gervaize (1817-1882) entre 1848 et 1857 (COAT 2005) (Voir figure 6.20). Victor Gervaize est sous-ingénieur 1ère Classe du Génie Maritime sur le port de Brest depuis le 24 janvier 1846. Il est également Directeur des constructions navales de l'arsenal de Brest entre 1865 et 1873 (GRANIER 1992), l'ingénieur est reconnu comme étant un expert dans le domaine de la conception et de la fabrication des chaudières à vapeur pour la Marine. Nous ne connaissons pas aujourd'hui d'autres grues semblables à celle de Brest qui apparaît alors comme une véritable innovation pour l'époque.

Un rapport de la Direction des Constructions Navales qui date de l'année 1863 nous informe de la mise en service de la grue du viaduc, également appelée « Grue Revolver » en raison de sa forme spécifique. Celle-ci est équipée de 2 corps de 22,5 chevaux[30].

La grue Gervaize, véritable innovation technologique, peut élever des poids de 80 000 kilos à une hauteur de 30 mètres en seulement 15 à 20 minutes. *«Toute la charpente est portée sur une plateforme à galets, le mouvement est obtenu au moyen de cordages entraînés par trois tambours. Un contrepoids mobile permet d'équilibrer la charge. La portée est de 10 mètres»* (HAUSER 1886). Elle peut ainsi charger dans les navires les chaudières ou élever celles qui ont besoin d'être réparées (Voir figure 6.21).

30. Chédeville A., Directeur de la Construction Navale, Rapport DCN, Exercice 1863, (1864) SHD Brest, 1G 790.

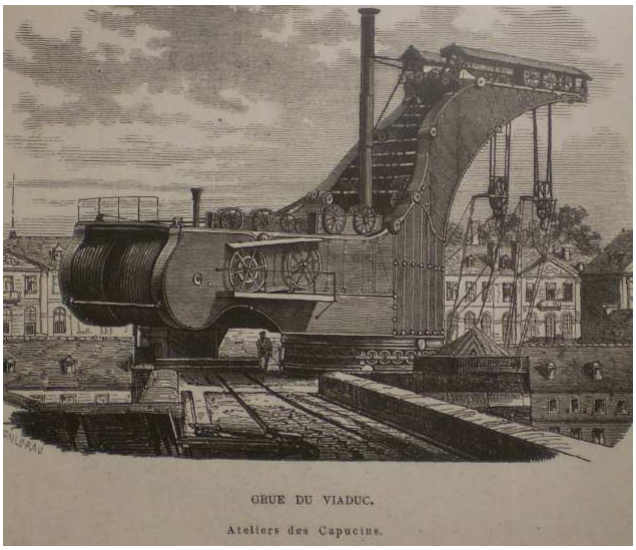


FIGURE 6.21 – La grue Gervaize ou grue du Viaduc en 1866 (EYMIN 1865)

Il s'agit d'une grue roulante et tournante pouvant se déplacer au-dessus d'un viaduc afin d'avoir une hauteur convenable. Dans les grues tournantes de ce type qui sont destinées à soulever de lourdes charges, *«la charge est généralement équilibrée, de l'autre côté de l'axe de rotation, par une culée qui porte les appareils moteurs, treuils, tambours etc, servant à la manœuvre»* (DOYÈRE 1895) . Un chemin de fer est construit entre la grue et le plateau des Capucins afin de faciliter le déplacement des plus grosses pièces.

La capacité de la grue Gervaize se trouve très rapidement limitée. On décide alors de la suppléer avec une petite grue tournante qui se charge des poids inférieurs à 6000 kilos. Cette grue à chaîne de Galle à vapeur est fournie par M.Neustadt. Neustadt, ingénieur des chemins de fer de Paris à Orléans et concepteur de cette grue à chaîne de Galle, avait proposé ses services à M. Bayle directeur des constructions navales le 1er décembre 1859 : *«J'ai pensé monsieur le directeur, que vous pourriez avoir l'occasion d'employer les appareils d'enlevage de mon système, soit pour le service de vos quais, soit pour celui de vos ateliers de constructions*[31]*»*

Le rapport annuel de la Direction des constructions navales datant de 1902 insinue que la grue Gervaize à vapeur devient quelque peu insuffisante comparée à la puissance générée par une autre grue de l'arsenal :

> «*Les grues fixes capables de manœuvrer des poids lourds sont actuellement au nombre de deux dans l'arsenal de Brest, la grue hydraulique de 160 tonneaux de la Direction d'Artillerie, et la grue à vapeur de 50 tonneaux du viaduc. Au contraire, la grue du Viaduc a l'avantage d'une très longue course, mais sa puissance est insuffisante, 50 tonneaux seulement [...] Nous pensons qu'il serait plus prudent, en vue des éventualités de l'avenir, de prendre en compte comme puissance minima le dernier chiffre, soit 80 tonneaux*[32]*.»*

Il est alors demandé de compléter la grue Gervaize par un ponton digue, afin d'augmenter son efficacité. On prend alors la décision de compléter la grue par un ponton flottant « Le Lanveoc » (Voir figure 6.22).

31. Extrait du courrier de M.Neustadt pour M.Bayle, directeur des constructions navales, en date du 1er décembre 1859, série G–sous série 1G776–pièce 20091

32. Direction des constructions navales, rapport annuel 1902, Sous-série 1G 791, service historique de la défense Brest.

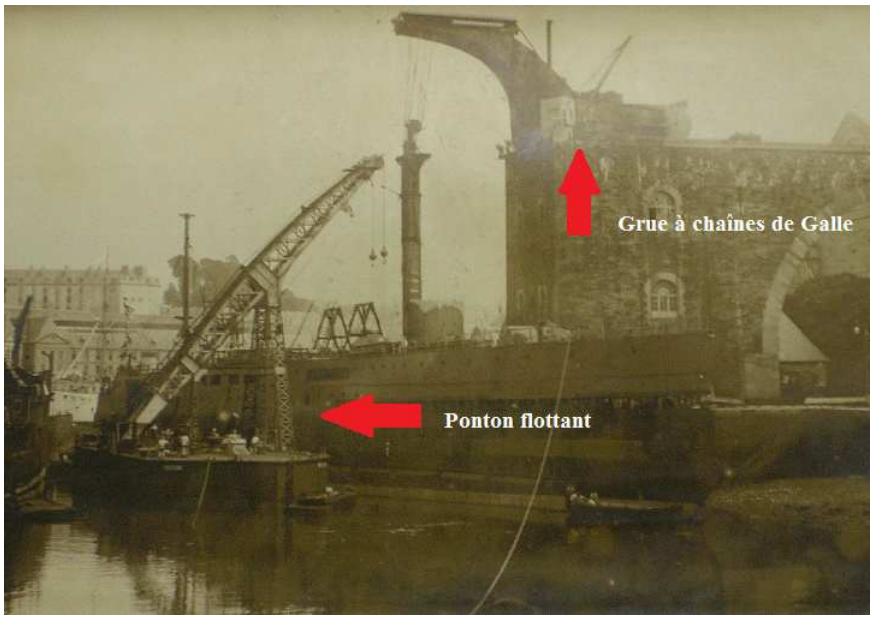


FIGURE 6.22 – La grue Gervaize, le ponton flottant et la petite grue à chaînes de Galle [33]

On retrouve dans les archives de nombreux écrits qui font état des limites que présente la grue Gervaize face à l'accroissement de la taille des pièces de navires à embarquer sur des bâtiments. C'est le cas par exemple du rapport annuel de la direction des constructions navales de l'année 1903 où l'on précise que pour certaines opérations la grue Gervaize représente un véritable danger. Il est également précisé que de recourir à la grue Gervaize et au ponton Lanveoc en même temps n'est pas conseillé d'un point de vue de la sécurité. On demande alors à réfléchir à une solution pour y remédier [34].

D'après certains documents iconographiques, la disparition de la cheminée de la grue Gervaize est la preuve d'un changement d'énergie. La date du marché pour l'électrification de la grue date du 30 novembre 1911 et celle-ci sera mise en service en 1912 [35]. La grue est alors équipée d'un moteur à courant triphasé [36] . Cette modification est considérée comme *«strictement indispensable*[37]» à cause de l'état vieillissant de ses chaudières mais également pour faciliter son utilisation, et compenser son manque de puissance comparée à la grue hydraulique établie non loin.

Dans les premiers temps, cette électrification de la grue (Voir figure 6.23) satisfait pleinement la direction des constructions navales qui précise dans son rapport annuel qu'elle donne *« toute satisfaction»* [38].

33. Service historique de la défense de Brest Série 1 G 810
34. Direction des constructions navales, Rapport annuel année 1903 Sous-série 1G 792, service historique de la défense Brest.
35. Direction des constructions navales, Rapport annuel année 1912 Sous-série 1G 801, service historique de la défense Brest.
36. Direction des constructions navales, Rapport annuel année 1908 Sous-série 1G 797, service historique de la défense Brest.
37. Direction des constructions navales, Rapport annuel année 1910 Sous-série 1G 799, service historique de la défense Brest.
38. Direction des constructions navales, Rapport annuel année 1912 Sous-série 1G 801, service historique de la défense Brest.

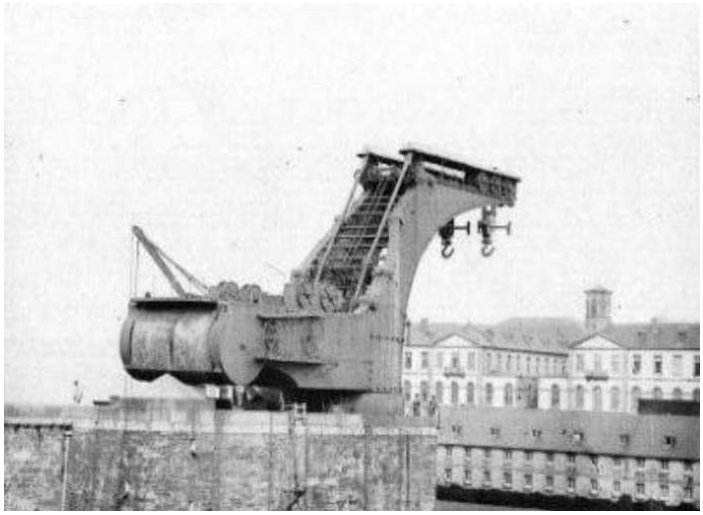


FIGURE 6.23 – La grue Gervaize électrifiée [39]

Étape 3 : Les usages

Avant la construction de la grue du viaduc, la force humaine était exploitée, pour monter les chaudières à bras d'homme, par une rampe. Il fallait plusieurs centaines d'hommes pendant toute une journée pour les grosses chaudières. Avec la grue complétée par le chemin de fer du plateau, seulement 20 hommes sont nécessaires ainsi que quelques kilogrammes de charbon. L'opération ne dure plus que deux heures (LEVOT 1864).

La grue du viaduc a eu pour ainsi dire trois vies : la grue à bigues, la grue Gervaize à vapeur et la grue Gervaize électrifiée. Les usages sont très différents d'un système à un autre. La grue à bigues par exemple, était dotée d'un cabestan à engrenage composé de 16 barres et de 4m de rayon qui permettent une démultiplication des efforts. Environ quatre personnes sont nécessaires par anspect ce qui laisse présager que 64 personnes au moins étaient nécessaires pour la faire fonctionner. Au début de son établissement sur le viaduc, la grue à bigues était employée pour la mâtage et le démâtage des bateaux en complément de la machine à mâter mais également pour le transport de charges jusqu'au plateau des Capucins. L'arrivée de la grue Gervaize à vapeur bouleverse complètement les usages de l'arsenal de Brest. Il s'agit en effet d'un nouveau type de technologie qui va radicalement changer les façons de travailler au sein de l'arsenal. L'intérêt de ce type de grue était avant tout d'avoir une puissance de charge bien plus importante mais également de réduire considérablement la main-d'oeuvre. On estime à une vingtaine de personnes la main-d'oeuvre nécessaire pour la grue Gervaize à vapeur et électrique. Cette main-d'oeuvre comprend les personnes qui se chargent de son fonctionnement ainsi que ceux qui s'occupent des charges à déplacer.

Les savoirs relatifs à l'usage de ces systèmes techniques sont également bien différents les uns des autres. La grue à bigues du viaduc nécessitait le même type de savoirs que l'on appliquait depuis 1681 avec l'érection de la première machine à mâter. Mais le fonctionnement de la grue à vapeur nécessite des connaissances spécifiques à ce genre de technologie. Parmi la main-d'oeuvre nécessaire, celle de mécaniciens était sans aucun doute indispensable pour mettre en route les chaudières et veiller à ce que celles-ci fonctionnent convenablement pendant toute la procédure. Une fois électrifiée, la grue Gervaize nécessite une fois de plus de nouvelles connaissances et procédures. L'arsenal

39. ECPAD SPA 7 J 566

FIGURE 6.24 – Le môle du viaduc [40]

s'est équipé quelques années plus tôt d'une grue électrique donc ce genre de technologie n'était pas totalement inconnu.

Étape 4 : Fin d'activité industrielle

La grue à bigues du viaduc, la grue Gervaize à vapeur ainsi que la grue électrifiée ont toutes les trois vécu le même destin. En effet, peu importe le système technique, elles ont toutes les trois connu une phase d'obsolescence en raison d'un manque de puissance vis-à-vis de l'activité en vigueur au sein de l'arsenal. La grue à bigues est celle qui aura eu la vie la plus courte (environ 1857-1863) et la grue Gervaize, compte tenu de son changement d'énergie, fonctionne un peu plus longtemps, entre 1863 et 1956. La courte existence de la grue à bigues est due à l'évolution des techniques et de la technologie de l'époque qui préconisaient des machines plus élaborées et non dépendantes d'une main-d'oeuvre trop importante.

En 1956, la grue Gervaize est détruite car elle n'est plus nécessaire à l'activité de l'arsenal. Le viaduc est quant à lui conservé, et toujours visible au sein de l'arsenal.

Étape 5 : La mise en patrimonialisation

En 1956, Paul Gisserot (1905-1979), ingénieur du Génie maritime et directeur des constructions et armes navales de 1955 à 1958, décide de faire démanteler la grue Gervaize car celle-ci n'est plus nécessaire à l'activité de l'arsenal.En effet, à cette époque, la grue électrique fonctionne à plein régime sur l'autre rive de la Penfeld.

Contrairement à d'autres systèmes techniques de l'arsenal de Brest, nous pouvons encore localiser des traces de ce système. En effet, même si les grues ont aujourd'hui disparu, le môle est toujours présent et visible au sein de l'arsenal (Voir figure 6.24). Celui-ci est d'ailleurs toujours doté des rails qui permettaient autrefois de déplacer la grue.

Alors que la grue du viaduc est en activité, on implante un autre type de grue non loin de là sur le quai de l'artillerie : une grue hydraulique.

40. Photographie personnelle mars 2019.

FIGURE 6.25 – La grue hydraulique de l'arsenal de Brest. Collection Villard à Quimper.

6.6 La grue hydraulique de Brest

Étape 1 : Émergence d'un besoin, sa traduction en problèmes technologiques, la solution choisie

Vers 1870, la grue en activité au sein de l'arsenal de Brest est la grue Gervaize à vapeur près du plateau des Capucins. Sa puissance de charge est d'environ 80 tonnes afin de pouvoir déplacer les chaudières depuis les navires jusqu'au plateau des Capucins. Cependant l'arsenal de Brest souhaitait s'équiper d'un engin de levage plus puissant vers le quai de l'artillerie afin d'armer les navires.

En 1878 le Ministère de la Marine et des Colonies décide la construction d'une nouvelle grue qui fonctionnera cette fois-ci à l'énergie hydraulique. Le marché entre le ministère de la Marine et des colonies est souscrit en février 1878 et approuvé en mars de la même année. Cette commande comprend à la fois la grue hydraulique de Brest et celle de Toulon.

Étape 2 : De la solution choisie à sa concrétisation

Cette nouvelle grue est commandée auprès de la société Bon et Lustremant. Elle est assemblée en 1881 sur le quai de l'artillerie, sur la rive droite de la Penfeld, non loin de la grue Gervaize (Voir figure 6.25).

La grue hydraulique de Brest est à la charge de la direction des travaux hydrauliques contrairement à la grue des Capucins qui elle dépend de la direction des constructions navales [41].

Étape 3 : Les usages

La grue hydraulique est sans aucun doute la grue la plus méconnue de l'arsenal de Brest. Il existe très peu d'informations et de documents concernant ce système technique.

Cette grue d'une capacité de charge de 160 tonnes a pour fonction le chargement et le déchargement des navires devant le bâtiment de l'artillerie. En plus de ces opérations,

41. Note de M.Le directeur de l'établissement d'Indret au sujet des services ayant en charge les grues du Viaduc et de l'artillerie du port de Brest, Service historique de la défense de Brest, sous série 1G 785 pièce 812.

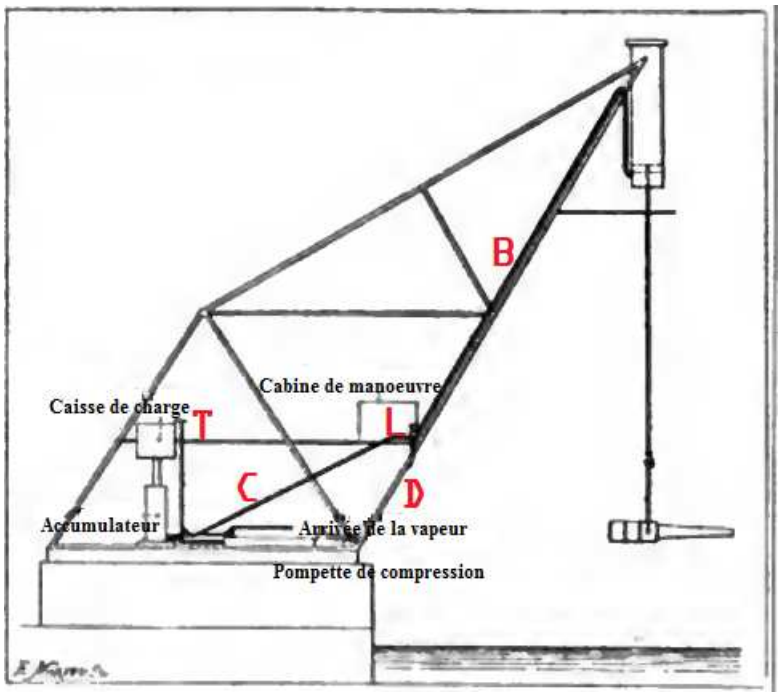


FIGURE 6.26 – Schéma technique des grues de Brest et de Toulon (D'après (LA-NATURE 1893))

la grue hydraulique était également employée pour la mise en place des canons sur les navires. Pour exemple, le bâtiment La République a été remorqué et conduit par les soins de la direction des mouvements du port de Brest sous la grue hydraulique afin de mettre en place des canons jumeaux de 305 millimètres (NAVIGAZETTE 1906) .

Il s'agit d'une grue tournante placée sur un massif de maçonnerie en pierres et en joints de mortier. La grue est dotée d'une charpente en fer, d'un système articulé et d'une volée composée de deux bigues, de tirants et contre-tirants et d'un contrepoids favorisant la stabilité du système de levage. Pour fonctionner cette grue est équipée d'une chaudière vapeur et de moteurs. Cette grue hydraulique fonctionne au moyen de l'eau sous pression au lieu de chaînes comme moyen de transmission de l'énergie (LA-NATURE 1893).

A cette époque quand il s'agit d'instruments de levage de ce type, deux types d'énergies possibles : les appareils hydrauliques ou à câbles. Généralement ce sont les installations hydrauliques qui sont préférées car elles présentent de nombreux avantages : leurs mécanismes sont simples et robustes et généralement beaucoup plus sécuritaires. Les autres avantages sont le prix et les frais d'entretien et de service qui sont extrêmement faibles (GÉNIE-CIVIL 1885). Dans un article de «*La Nature*» « La grue de 160 tonnes » une description de la grue hydraulique de Toulon y est faite. De fabrication Bon et Lustremant également, cette grue est identique à celle de Brest.

> «*La grue tourne autour d'un pivot en fer fixé dans une plaque de fonte scellée dans un massif de maçonnerie supporté par 250 pilots. Elle roule sur un cercle de galets fons en fonte tournant sur un chemin de roulement de fer. Les fardeaux sont soulevés directement par un piston qui se meut dans un cylindre vertical placé en tête de bigues. Le piston est actionné au moyen d'eau comprimée à 100 kilogrammes par centimètre carré et fournie par une machine à vapeur de 24 chevaux attelée directement sur trois pompes et alimentée par un générateur, timbré à 6 kilogrammes de 30 mètres carrés de surface de chauffe*» (LA-NATURE 1893)

La vapeur produite procure de l'énergie aux trois pompes afin d'engendrer de l'eau

FIGURE 6.27 – Grue hydraulique de Brest (détail) [42]

sous pression qui arrive dans l'accumulateur. La caisse de charge, quant à elle, est un poids qui exerce une pression sur le piston qui se trouve dans l'accumulateur afin d'avoir une pression identique dans le circuit d'eau comprimé pour le levage. La pompette de compression correspond à la machine à vapeur qui entraîne les pompes. Sur la figure 6.26, la lettre T correspond à une sécurité qui permet de surveiller la quantité d'eau sous pression dans le circuit. Il s'agit d'un taquet permettant d'arrêter la machine si besoin. La lettre L est un levier de manœuvre (qui se trouve dans la cabine de manœuvre) permettant de mettre le tuyau B en communication soit avec le tuyau C d'eau sous pression afin d'actionner la machine de levage, soit avec le tuyau D d'évacuation. Pour déplacer des charges d'un poids inférieur à 10 000 kilogrammes, on utilise une chaîne et une poulie fixée en haut de la bigue et actionnée par un piston hydraulique.

La grue de Toulon a coûté 210 000 francs et environ 35 000 francs pour la fondation. On peut donc émettre l'hypothèse que le prix de la grue Brestoise était sensiblement le même (Voir figure 6.27).

Comme précisé précédemment, il existe très peu d'information sur cette grue hydraulique du quai de l'artillerie. Il est possible d'étudier l'artefact en faisant un parallèle avec la grue hydraulique de Toulon mais il est extrêmement compliqué d'en savoir plus sur les procédures de fonctionnement et sur les savoirs-associés. On estime la main-d'oeuvre nécessaire à une dizaine de personnes comprenant le conducteur de la grue, les mécaniciens et les personnes nécessaires à l'accrochage et au décrochage des charges.

Dans les «Mémoires et compte-rendu des travaux de la société des ingénieurs civils» [43] de l'année 1887, il est question de grues hydrauliques de construction Bon et Lustremant.

> *«Les grues hydrauliques, exécutées par MM. Bon et Lustremant, ont le même aspect que celles du port d'Anvers. Elles en diffèrent cependant en ce que la guérite où se tient le mécanicien est placée en avant de la grue et renferme tout le mécanisme. Cette disposition permet au conducteur de suivre toutes les évolutions du fardeau, de mieux voir les panneaux et le pont du navire, et en même temps*

42. Service historique de Vincennes, Fonds Jacques Prache , PA 22 cliché 8.
43. http://www.archive.org/stream/mmoires111frangoog/mmoires111frangoog_djvu.txt

FIGURE 6.28 – Vue aérienne de Brest à la libération [44]

permet d'abriter tous les organes de la machine, qui sont sous la surveillance directe du mécanicien»

A la vue de certaines photographies de la grue hydraulique de Brest, nous pouvons émettre l'hypothèse qu'elle était elle aussi dotée de ce type d'installation.

Étape 4 : Fin d'activité industrielle

La date de construction de la grue est connue mais il n'existe aucun document d'archives sur « la fin de vie » de cette grue. Nous ne savons pas si cette grue a été démontée ou si celle-ci a été détruite pendant la guerre. Un document du fonds iconographique du service historique de la défense de Vincennes semble pourtant nous donner une réponse.

Dans le fonds iconographique MV 5 COLL 27 *«Port de Brest à la Libération»* , une photo a retenu toute notre attention. Il s'agit d'une vue aérienne d'une partie de l'arsenal où on peut distinguer l'ancien pont tournant sur la droite et les bâtiments de l'artillerie en bas de la photo (Voir figure 6.28) . Dans la Penfeld, en face du quai de l'artillerie, on observe ce qui semble fortement être la bigue de la grue hydraulique. Celle-ci aurait donc probablement été détruite pendant les bombardements et serait tombée dans la rivière. Même si nous n'avons pas de garantie sur cette information, l'emplacement correspond parfaitement. Cette information est bien entendu à prendre au conditionnel.

Étape 5 : La mise en patrimonialisation

Il n'existe actuellement aucune trace de cette grue hydraulique du quai de l'artillerie. Celle-ci n'a pratiquement jamais été étudiée contrairement à d'autres grues comme la grue Gervaize dont nous avons parlé précédemment.

En ce qui concerne le mâtage des bateaux nous avons vu les deux arsenaux de cette étude avaient opté pour des systèmes bien différents. Nous allons maintenant voir que l'arsenal de Venise est doté une grue hydraulique très similaire à celle de Brest.

44. Service historique de la défense de Vincennes, MV5 COLL 27, *«Port de Brest à la libération»*.

6.7 La grue hydraulique de Venise

Étape 1 : Émergence d'un besoin, sa traduction en problèmes technologiques, la solution choisie

La tour à mâter Porta Nuova de l'arsenal de Venise, d'une puissance de 16 tonnes, se trouve très rapidement obsolète face à l'évolution des bâtiments de la marine. En effet, elle a montré ses limites pour d'autres fonctions que le mâtage, notamment en termes de vitesse, et surtout de capacité de levage. Elle n'est donc absolument pas adéquate pour le levage de chaudières et de grosses pièces de navire (MARTINI 1877). L'arsenal de Venise envisage alors de s'équiper d'un nouveau type de grue plus moderne et plus puissant. En 1874, on s'équipe alors d'une grue à «col de cygne» Fairbairn de 35 tonnes.

FIGURE 6.29 – Grue Fairbairn de l'arsenal de Venise [45]

Cette grue de fabrication anglaise est un système bien plus puissant que le précédent, pourtant il n'est pas suffisant pour certaines activités. On se tourne alors vers un type d'engin de levage beaucoup plus efficace et particulièrement innovant pour l'époque : la grue hydraulique. Le besoin de s'équiper de ce type de grue dans l'arsenal de Venise a émergé en 1881 en raison de la décision de construire le cuirassé Francesco Morosini [46] qui est bâtiment particulièrement imposant (BETTIOL et al. 2010) et qui nécessite un équipement particulier. L'acquisition de ce type de grue rentre dans le cadre de plans globaux de modernisation des arsenaux italiens comme Tarente ou La Spezia. Le puissant engin de levage est la réponse «moderne» aux nouvelles exigences de la construction navale qui exigeait la possibilité de déplacer rapidement de gros poids, comme par exemple des pièces d'artillerie de grande puissance et des plaques de blindage d'une épaisseur maximale (MARTINI 1877).

45. Photographie personnelle, mai 2017.

46. Le cuirassé Francesco Morosini est achevé en 1889. Il pèse 11 200 tonnes, fait 105 mètres, est muni de plaques de 450 mm et de 4 canons Armstrong de 106 tonnes.(http://www.soprintendenza.venezia.beniculturali.it)

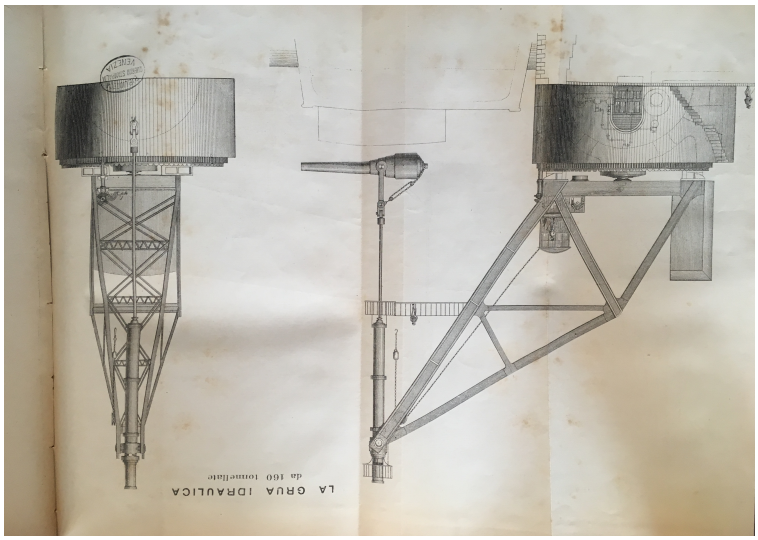


FIGURE 6.30 – Schéma d'une grue hydraulique de 160 tonnes de fabrication Armstrong (RIVISTA-MARITTIMA 1876)

Étape 2 : De la solution choisie à sa concrétisation

En 1883, la grue fut commandée par la marine italienne auprès de la société Armstrong Mitchell et Cie dans le cadre du plan d'agrandissement et de modernisation de l'Arsenale de Venise. Un accord commercial est également passé en 1886 entre la Marine italienne et Armstrong conduisant à la création d'une filiale de la société anglaise à Pozzuoli[47]).

William George Armstrong, l'un des fondateurs de l'entreprise était un avocat qui est par la suite devenu ingénieur. Il a beaucoup travaillé sur l'utilisation de la pression de l'eau pour l'alimentation des grues hydrauliques à quai ce qui était véritablement une première mondiale. Armstrong résout également les problèmes de faible pression d'eau dans ce genre de dispositifs en inventant le principe de la tour d'accumulation. Le mécanisme est efficace pour soulever des charges particulièrement lourdes : Il se compose d'un cylindre en fonte de grande hauteur équipé d'un piston supportant un poids très lourd. Lorsque le piston est lentement relevé, il s'enfonce dans l'eau jusqu'à ce que la force descendante du poids soit suffisante pour créer une pression sur l'eau en dessous. Au début des années 1870, tous les ports anglais sont équipés de grues hydrauliques. Au cours de ces années, de nouvelles recherches ont été effectuées afin de produire des grues à grande échelle munies d'une partie pivotante pour répondre aux plus grands besoins de la construction navale. Ces grues, présentant des capacités de charge comprises entre 100 et 160 tonnes, se caractérisaient par un sous-sol en maçonnerie muni d'une piste circulaire, d'une flèche et d'un mécanisme de levage. Particulièrement avant-gardiste dans son domaine, Armstrong est surnommé «le Bill Gates de son temps»(CASSAR 2016). Il crée un immense empire industriel, en construisant des navires et en fabriquant des armements et des équipements hydrauliques. La grue de l'arsenal de Venise est construite dans l'usine d'Armstrong à Elswìck en Angleterre où près de 3000 à 4000 ouvriers travaillent (MARINI 1876). La conception de la grue est due en grande partie à M. Giorgio Rendel ingénieur de l'usine Armstrong (Voir figure 6.30) à qui l'on doit déjà la création de moteurs hydrauliques, de canons et de tours blindées (RIVISTA-MARITTIMA 1876).

La grue Armstrong est construite en Angleterre et assemblée directement dans l'ar-

47. *«La gru idraulica Armstrong dell'arsenale di venezia»*, Menichelli, Lionello, Bovolenta (http://www.soprintendenza.venezia.beniculturali.it

senal de Venise sur sa base en maçonnerie. Il a été décidé d'installer cette nouvelle grue hydraulique sur la rive Est de la Grande Darsena non loin de la grue Fairbairn, dans une position plus centrale et plus commode que la tour de la Porta Nuova. Afin de positionner la grue, les fondations des quais doivent être parfaitement solides pour éviter les accidents. Pour la grue Armstrong de Malte, jumelle de celle de Venise, la localisation choisie pour la grue était sur un quai construit quelques années auparavant. Les murs du quai sont très solides, mais l'espace intermédiaire, au-dessus duquel le tablier est posé, est généralement rempli de déchets de carrière comme des graviers ou des pierres ainsi que de boue. Tout cela n'est cependant pas suffisant pour supporter le poids de la structure de la grue, du ballast, ainsi que le poids des canons qui sont chargés hors des navires. De nouvelles fondations sont alors faites afin de consolider au maximum l'emplacement de la grue. L'installation de cette grue nécessite la démolition d'une partie du quai existant sur une longueur d'environ 20 mètres. Le travail de fondation de la grue est particulièrement compliqué et laborieux. En effet, des pieux de bois sont d'abord enfoncés dans le sol afin d'établir les fondations, et sont recouverts de dalles pour pouvoir accueillir la base en maçonnerie de la grue [48]). La grue Armstrong Mitchell et Cie de l'arsenal de Venise est opérationnelle au courant de l'année 1885.

Étape 3 : Les usages

La grue hydraulique a pour missions principales le chargement et le déchargement des navires ainsi que la mise en place des canons sur les bâtiments. Ce système de levage témoin de l'innovation scientifique et technologique du 19ème siècle est généralement conçu sur un modèle précis comprenant deux parties distinctes (Voir figure 6.31) :

- **La structure en sous-sol fixe :** La structure comprend un sous-sol en maçonnerie et en pierres d'Istrie, sur des fondations en béton. Sa base est de forme octogonale. Ce sous-sol est équipé d'une pièce où se trouve la machinerie de la grue comme la chaudière et les pompes à vapeur nécessaires pour alimenter l'ensemble de l'appareil en eau (RIVISTA-MARITTIMA 1876).
- **La structure d'élévation mobile :** Cette structure comprend une plateforme tournante, un réseau de bras et un système de levage hydraulique.La structure d'élévation mobile comprend une sellette d'entraînement, une plaque tournante, des blocs coulissants, un bras de muselière et un poids d'équilibrage. L'appareil peut tourner autour d'un pivot central en actionnant une machine rotative hydraulique. La rotation est rendue possible grâce à la présence de 96 rouleaux en fonte. La plaque tournante est complètement construite en fer avec des roulettes en dessous. Un cadre horizontal à contour rectangulaire constitue la structure de la plateforme. Le bras du museau est constitué d'une structure spatiale réticulaire composée d'une entretoise inférieure et d'une entretoise principale, d'une tige principale serrée, d'une tige intermédiaire comprimée et d'un tirant de support. Le contrepoids de la grue est rempli de pierres et de fer pour un poids total de 400 tonnes, dont la moitié est requise pour l'équilibre de la machine et l'autre moitié pour compenser la capacité de 160 tonnes de l'engin. La grue est composée de deux systèmes de levage : un vérin hydraulique pour des charges allant jusqu'à 160 tonnes et un palan à chaînes pour des charges allant jusqu'à 40 tonnes.

48. «*La gru idraulica Armstrong dell'arsenale di Venezia*», Menichelli, Lionello, Bovolenta (http://www.soprintendenza.venezia.beniculturali.it

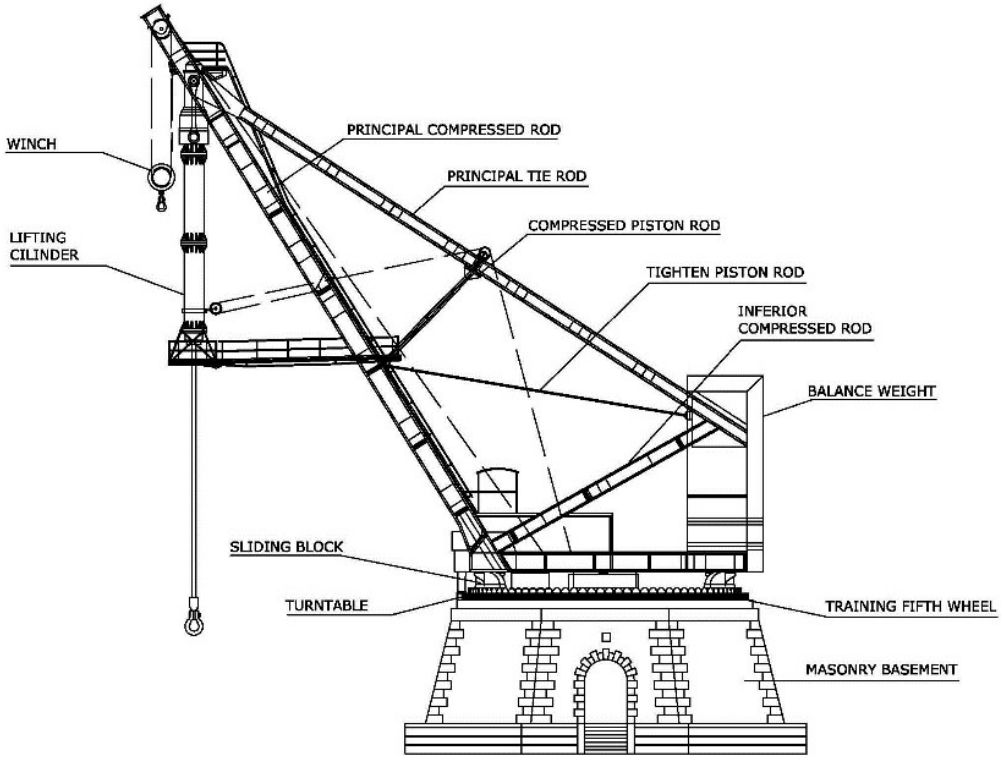


FIGURE 6.31 – Schéma de la grue hydraulique de Venise (BETTIOL et al. 2010)

Armstrong explique lui-même le principe de l'hydraulique utilisé pour la grue de Venise :

> «*Pour arriver à produire le soulèvement de la charge, l'eau est reçue dans un cylindre à piston et, par le moyen d'une soupape qui l'y laisse pénétrer, elle vient exercer sa pression sur la surface du piston, dont la tige est reliée à la chaîne qui doit soutenir la charge. On comprend que, si un poids est attaché à la chaîne, il sera élevé par le seul mouvement du piston reculant sous l'effort qu'il supporte. La chaîne ne se relie pas directement à la tige du piston, sans quoi la hauteur à laquelle le poids est soulevé pourrait atteindre serait nécessairement limitée à la course du piston ; elle embrasse un système de poulies mouflées, disposées de manière à multiplier le chemin parcouru par le poids dans le rapport du nombre de cordons. Lorsqu'il s'agit au contraire de descendre la charge, l'effet se produit par un mouvement inverse de la soupape d'introduction qui laisse alors échapper l'eau. Dans les deux cas, la rapidité du mouvement est réglée par l'ouverture de la soupape* (ARMSTRONG 1859)».

Ce type de grue hydraulique particulièrement novateur présente de nombreux avantages : la manipulation de poids lourds est effectuée sans chocs, ce qui est particulièrement appréciable quand il s'agit de déplacer des canons ou des chaudières et elle possède deux systèmes de levage, un pour les poids importants, et un pour les charges inférieures à 7 tonnes (RIVISTA-MARITTIMA 1876). Malgré des avantages certains, la grue hydraulique (Voir figure 6.32) présente tout de même un désavantage en comparaison avec les ponts roulants qui pouvaient être utilisés pour les mêmes charges. L'utilisation de la grue obligeait les navires à s'amarrer exactement sous leur flèche ce qui parfois pouvait poser problème (CASSAR 2016).

FIGURE 6.32 – La grue hydraulique en service (non daté) [49]

Durant ses années de service, la grue hydraulique de Venise a subi une série de modifications. Vers 1902, après l'installation de la centrale électrique de l'Arsenal, la machine à vapeur d'origine est remplacée par un moteur électrique comme ce fut le cas pour la grue Gervaize à Brest. Ce changement d'énergie permet de diminuer fortement la main-d'oeuvre nécessaire et le temps de mise en route du système. La grue est restée ainsi en opération pendant environ 30 ans, jusqu'à la Première Guerre mondiale, où elle a subi quelques dommages. De même pour la Seconde Guerre mondiale où le vérin de levage a été mis hors service en 1940 puis réparé. Les grues hydrauliques Armstrong Mitchell et Cie sont véritablement le point culminant de l'accomplissement technologique du 19ème siècle dans le domaine des machines de levage (BETTIOL et al. 2010). Il s'agit de dispositifs particulièrement fiables c'est pourquoi ces engins de levage étaient régulièrement réparés ou améliorés afin de prolonger leur durée de vie.

Contrairement à la torre Porta Nuova qui utilise l'énergie humaine et donc, une main-d'oeuvre conséquente, la grue hydraulique n'a besoin que de quelques hommes pour fonctionner. Il n'existe pratiquement pas d'archives relatant le quotidien ou les procédures des ouvriers travaillant au contact de cette grue. On estime la main-d'oeuvre nécessaire au fonctionnement de la grue à une dizaine d'hommes comme à Brest. Cela comprend le conducteur de la grue, les appareilleurs qui se chargent d'accrocher et de diriger les fardeaux ainsi que les mécaniciens qui se chargent des chaudières puis des moteurs électriques. Un article sur la grue Armstrong Mitchell et Cie de Malte précise que certaines personnes ayant travaillé au contact de la grue se souvenaient d'avoir été éclaboussées d'eau lorsqu'ils travaillaient dans les environs de la grue (CASSAR 2016). Les mécanismes étant les mêmes à Venise, nous pouvons émettre l'hypothèse que les ouvriers de l'arsenal de Venise ont subi le même sort près de la machine.

Étape 4 : Fin d'activité industrielle

La grue hydraulique de Venise a subi un certain nombre de dommages pendant la première et la Seconde Guerre mondiale. De nombreux travaux ont été faits afin de prolonger sa durée de vie comme le changement d'énergie ou le remplacement du treuil. En raison de la non-utilisation de l'arsenal de Venise à des fins militaires, la grue a cessé de fonctionner définitivement au cours des années cinquante du siècle dernier.

49. Fonds du musée naval de Venise.

La grue hydraulique de Venise n'est pas unique. En effet, Armstrong a comblé de nombreux besoins en grues à quai pour des charges lourdes grâce, notamment, à son invention de vérin hydraulique. Entre 1876 et 1905, l'entreprise a fabriqué plusieurs grues hydrauliques fixes de 160 tonnes : pour La Spezia (En 1876), Bombay (En 1877), Liverpool (En 1881), Malte (En 1883), Tarente et Venise (En 1885), Pozzuoli (En 1887), le Japon (En 1892 et 1905) (CASSAR 2016). La plupart de ces grues ont aujourd'hui disparu, principalement pendant la Seconde Guerre mondiale. La grue de La Spezia a quant a elle été démolie en 1969, et celle de Tarente en 1992. La grue hydraulique de 160 tonnes de Venise est aujourd'hui la seule grue de ce type a avoir été conservée.

Étape 5 : La mise en patrimonialisation

Dernière survivante des grues 160 tonnes Armstrong Mitchell et Cie, la grue de Venise a grand besoin d'attention. La restauration de cette grue est amorcée en 2004 par le Fonds britannique *«Venice in Peril Fund»* en association avec la Surintendance du patrimoine culturel de Venise, l'université d'architecture de Venise (IUAV), l'Université de Padoue et l'école Polytechnique de Turin. Lord Foster, architecte et membre actif de «Venice in peril Fund», a déclaré au sujet de cette restauration :

> *«Ce serait un acte de négligence impardonnable que de laisser la grue se détériorer davantage, car elle est non seulement esthétiquement inséparable de son contexte historique, mais elle fait partie intégrante du patrimoine industriel de Venise»* (CASSAR 2016).

L'intérêt de ce projet est avant toute chose d'assurer la sécurité de la grue et le début d'un projet de revalorisation du système technique. Pour cela, de nombreuses missions ont été mises en place comme des campagnes d'observation, des enquêtes sur la détérioration des matériaux ainsi que des recherches historiques au niveau des archives. Les techniques utilisées pour étudier la grue sont la topographie, la photogrammétrie, le balayage laser, la mesure ainsi que la photographie. A travers ces enquêtes, il s'est avéré que la grue était dans un état de délabrement relativement avancé ce qui menace sa sécurité. D'après les résultats des études réalisées, une attention particulière va être consacrée aux mécanismes et à la possibilité de récupérer, même partiellement, la fonctionnalité de la grue. L'intérêt est ici de voir si certaines fonctions du mouvement de la grue peuvent être réactivées. Une fois la phase d'enquête effectuée, une phase de «récupération» est envisagée. Elle concerne des travaux de restauration (structure en maçonnerie, structure métallique et machinerie) de l'engin de levage afin d'assurer sa sécurité. Il est ainsi prévu de créer une «salle d'illustration» permettant aux visiteurs de découvrir les machines et de consulter des archives retraçant leur histoire. Ce projet, quand il sera effectif, sera inséré dans un parcours relatant l'histoire de la technologie dans l'arsenal de Venise (BETTIOL et al. 2010).

Un grand projet de recherche sur l'étude de l'arsenal de Venise a été mis en place par l'université IUAV et le laboratoire CIRCE (Laboratorio di cartografia e GIS - Caterina Balletti) [51] (BALLETTI et GUERRA 2016). Il s'agit d'un laboratoire de cartographie qui oriente et développe ses activités de recherche et d'expérimentation pour la récupération de l'information et du patrimoine cartographique utiles à la connaissance des caractères et aux transformations du territoire dans ses aspects pluridisciplinaires. La cartographie est étudiée et appliquée surtout sous sa forme numérique, ce qui permet de stocker et de struc-

50. Photographie personnelle, mai 2017.
51. http://www.iuav.it/SISTEMA-DE/Laboratori1/index.htm

FIGURE 6.33 – Grue hydraulique de l'arsenal de Venise [50]

turer les données spatiales dans le but de construire les bases d'information appelée «Systèmes d'informations Territoriaux». Ce travail a pour objectif de développer des méthodes d'utilisation de cartes anciennes à destination des chercheurs :

> *«The natural development of this work will be the presentation side by side of historical images : more than one image will be visualised at the same time and geo-synchronised so that the usabil-ity and comparison of historical maps will be more versatile for scholars as well as all the possible users»* (BALLETTI, CALZAVARA, GUERRA et MAZZANTI 2013).

Le laboratoire s'est également impliqué dans le projet *« Seconde chance – From industrial use to creative Impulse - Visualizing Venice, exploring the city past"* a pour intérêt d'utiliser les nouvelles technologies pour l'étude, mais également pour la conservation du patrimoine culturel et industriel que constitue l'arsenal de Venise en s'appuyant sur des sources primaires comme des cartes.

Le programme de recherche a été divisé en plusieurs étapes [52] :

1. La collecte de toutes les données pour l'analyse et l'étude du complexe urbain
2. Archiver et cataloguer des données iconographiques dans une base de données
3. La gestion des données collectées dans un système d'information géographique comme base de reconstitutions rigoureuses de l'histoire de l'arsenal
4. La représentation de l'histoire des événements et des bâtiments à travers des modèles qui résument l'analyse et l'interprétation de données
5. L'identification et la définition d'une méthode de communication à travers les dispositifs numériques

Grâce à l'étude des cartes comprises dans les bases de données, ce projet a permis la création d'un modèle 3D des dix phases d'expansion de l'arsenal de Venise. L'implantation de la grue Armstrong Mitchell and Co, correspond à l'une de ces phases d'expansion de l'arsenal et est donc présente dans ce modèle 3D (Voir figure 6.34).

52. Dossier de présentation du projet *«Visualizzazione digitale della storia dell'Arsenale di Venezia-Visualizing the history of the Arsenale of Venice»*, 2013.

FIGURE 6.34 – Modèle 3D de la grue Armstrong de Venise [53]

L'intérêt de ce projet, en plus de valoriser le site de l'arsenal de Venise, est d'utiliser des archives anciennes et de coupler l'étude avec les nouvelles technologies. Il y a une véritable prise de conscience de l'importance de cette grue Armstrong. En effet, celle-ci est la dernière grue de ce type encore existante et il est important de conserver ce système qui étaient particulièrement novateur et qui est, par conséquent le témoin des évolutions techniques du 19ème siècle.

En raison de l'activité de construction navale qui est en constante évolution dans l'arsenal de Brest contrairement à Venise, une autre grue est installée en 1910. Il s'agit cette fois-ci d'une grue électrique.

6.8 La grue électrique de Brest

Étape 1 : Émergence d'un besoin, sa traduction en problèmes technologiques, la solution choisie

L'arsenal au début des années 1900, a besoin de s'équiper d'une grue de forte capacité. L'actuelle grue Gervaize du viaduc, mise en service depuis de très nombreuses années déjà manque de puissance et est presque exclusivement utilisée pour le transport des charges entre les navires et le plateau des Capucins. La nouvelle grue serait alors dépendante de plusieurs services de l'arsenal comme entre autres, le service des mouvements généraux ou encore le service de l'artillerie.

Étape 2 : De la solution choisie à sa concrétisation

Un marché est passé entre l'arsenal de Brest et la compagnie Fives-Lille le 8 avril 1908. Cette entreprise, fondée en 1861, est spécialisée dans la réalisation de locomotives à vapeur et électrique, de chariots transbordeurs ou encore de grues (EYROLLES 1911). L'en-

53. Dossier de présentation du projet *«Visualizzazione digitale della storia dell'Arsenale di Venezia-Visualizing the history of the Arsenale of Venice»*, 2013.

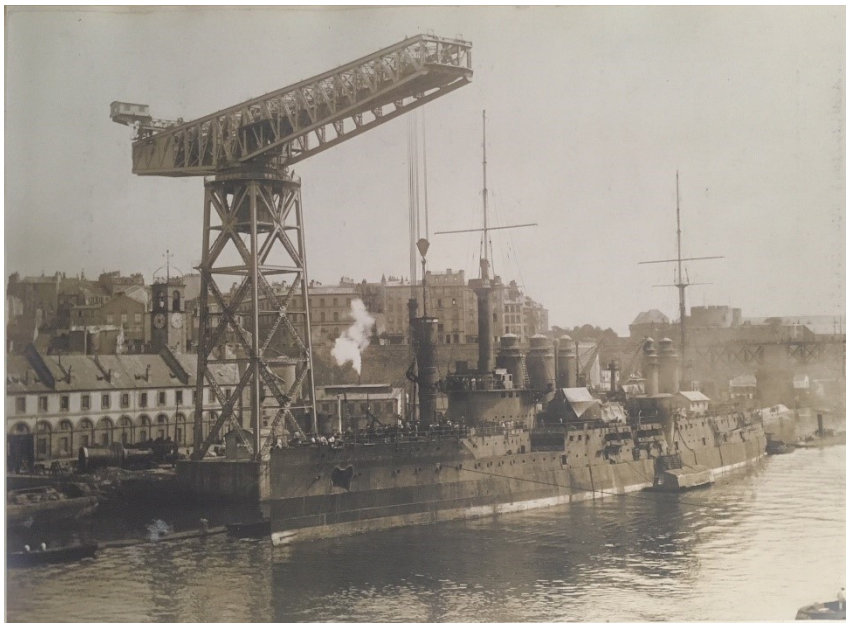


FIGURE 6.35 – Grue de 150 tonnes – Mise en place de la tourelle du cuirassé « le Danton » (1er septembre 1910) [58]

treprise doit fournir une grue à manœuvre électrique de 150 tonnes pour prendre le relais des autres grues comme celle du viaduc qui manquent de puissance. Celle-ci va être installée rive gauche de la Penfeld, sur un terre-plein non loin de la porte Tourville. D'après le rapport annuel de l'année 1907 de la direction des constructions navales, il est précisé que cette grue :

> *«Sera munie d'un pont roulant de 20 tonnes disposé de manière à effectuer le déchargement et la mise sur chalands de tout le matériel reçu par voie ferrée. Nous éviterons ainsi les manœuvres presque quotidiennes par ponton-mâture, réalisant une économie notable de temps et de main-d'œuvre»* [54].

Ce type de grue, particulièrement innovant pour l'époque a pour objectif d'être utilisé pour différentes tâches mais également de travailler plus rapidement et avec le moins de main-d'oeuvre possible. Un rapport précise qu'il s'agit d'un *«des plus puissants engins actuellement existant dans le monde entier»* [55]. La grue devrait normalement être en service en juillet 1909.

Après la préparation des fondations, la compagnie de Fives-Lille a commencé les travaux de montage de la grue. Ceux-ci ont pris beaucoup plus de temps que prévu et le rapport de la direction des constructions navales précise que la grue ne pourra être mise en service que vers mi-mars 1910 au lieu de juillet 1909 [56]. Finalement, la grue ne fonctionnera qu'à partir du 30 août 1910 [57] soit près d'un an après ce qui était initialement prévu.

54. Direction des constructions navales, Rapport annuel année 1907 Sous-série 1G 796, service historique de la défense Brest.
55. Direction des constructions navales, Rapport annuel année 1907 Sous-série 1G 796, service historique de la défense Brest.
56. Direction des constructions navales, Rapport annuel année 1908 Sous-série 1G 797, service historique de la défense Brest.
57. Direction des constructions navales, Rapport annuel année 1910 Sous-série 1G 799, service historique de la défense Brest.
58. Sous série 1G 799 Service historique de la défense Brest.

La grue impressionne par ses dimensions, en effet, celle-ci est haute de 58 mètres et pèse 1200 tonnes (Voir figure 6.35). Au début de son fonctionnement, la grue électrique *« donne en somme pleine satisfaction*[59]*»* mais on planifie tout de même d'y apporter quelques modifications comme un avertisseur de valeur de la charge, un treuil de descente à bras ou encore un piston hydraulique de décoincement.

Étape 3 : Les usages

Dans le cadre de nos recherches sur la grue électrique, nous nous sommes rapidement rendu compte du manque criant d'informations en ce qui concerne les usages de cette grue. Afin de remédier à cela, nous avons mené des entretiens avec M. Bodremon conducteur de grues à l'arsenal et chef d'équipe grutier au service des mouvements généraux, M. Guidal conducteur de grue, et enfin M. Séité[60] chargé de la maintenance des grues.

La grande grue électrique a pour mission le placement de certaines pièces sur les navires qui sont positionnés dans le bassin juste à côté. Elle se charge également d'équiper les navires des tourelles de 100 et participe de même à la maintenance des bateaux de transport de rade. Afin de se mouvoir, la grue est positionnée sur des rails SNCF. Ce système technique a une puissance de 150 tonnes, elle possède deux crocs de 75 tonnes chacun. Elle est secondée par une plus petite grue qui circule tout le long de la flèche. Celle-ci ne sert que pour les charges n'excédant pas 20 tonnes. Au début de son service, la grue a manutentionné une moyenne de 60 T de fardeaux par jour ce qui est considérable. Ce qui différencie cette grue de la grue hydraulique, est qu'il s'agit à la fois d'une grue d'armement et de service général, d'où son emplacement facilité par une voie ferrée.

Afin de mettre la grue en service, le grutier ouvre l'alimentation dans un boîtier aux pieds de la grue et actionne un second interrupteur dans la cabine de la grue. Selon les dires de M.Bodremon, malgré son ancienneté et son importance, la grue électrique est particulièrement simple à mettre en route et très agréable à manoeuvrer. Il s'agit en effet, d'une grue particulièrement lente donc relativement simple d'utilisation. Il est tout de même interdit de l'utiliser quand les vents dépassent les 60 km/h[61] mais cette règle s'applique également pour les autres grues de l'arsenal. Quand les conditions ne permettent pas l'utilisation de la grue, le grutier remonte les crocs en sécurité et laisse la grue en girouette, afin que celle-ci tourne avec le vent.

Au pied de la grue se trouve deux petites cabanes : une pour abriter les ouvriers et leur permettre de prendre le café et une autre pour ranger tout le matériel nécessaire pour le fonctionnement de la grue. Au fil des années, la grue est modifiée afin d'améliorer sa sécurité. Des arrêts d'urgence sont positionnés sur les pieds de la grue afin de stopper la manoeuvre en cas de soucis.

La cabine de commande est relativement grande, environ 5 ou 6 mètres carrés. Il y a sept commandes en tout (Voir figure 6.36), et des cadrans indiquent le poids des charges attachées au crocs de la grue, ainsi que les informations concernant leur positionnement par rapport au sol ou à la flèche. Elle possède un système de sécurité empêchant la grue de soulever la charge si celle-ci est trop lourde. Elle est équipée d'un poste de téléphone permettant de communiquer en direct avec les appareilleurs en bas de la grue. Passant le plus clair de leur temps dans leur cabine, certains grutiers font des aménagements afin

59. Direction des constructions navales, Rapport annuel année 1910 Sous-série 1G 799, service historique de la défense Brest

60. M. Seité n'ayant pas utilisé directement la grande grue électrique, l'entretien ne nous a pas fourni d'informations sur les usages.

61. Lors de son entretien, M.Guidal a lui indiqué que cette limite était de 80 km/h.

d'en faire un espace agréable. On y ajoute des fauteuils, le nécessaire pour cuisiner, pour se faire un café, et parfois même de la décoration.

Vers la fin des années 60, la grue est en mauvais état. La décision est prise de détarer l'appareil, c'est-à-dire de diminuer sa puissance de charge : au lieu de 150 tonnes elle a été détarée à 75 tonnes.

A l'origine, la grue électrique nécessitait une équipe entière pour son fonctionnement :«*A une certaine époque y'avait une équipe au niveau de l'entretien, tôliers, mécaniciens, électriciens qui étaient là en permanence*»[63]. Mais petit à petit l'équipe s'allège : au moins trois personnes en service au niveau de la grue électrique : un grutier ainsi que deux appareilleurs :

> «*Le grutier est dans sa cabine en haut. Mais s'il faut accrocher quelque chose à la grue ce sont ces gens là qui le font , suivant la charge ils ont des élingues tout ce qu'on voudra suivant la charge, le poids donc ils ont toute une panoplie de matériel on appelle ça des apparaux eux ce sont les appareilleurs*»[64]

L'un des appareilleurs est également chef de poste. Il gère le travail et donne les instructions au grutier à l'aide d'un téléphone présent au niveau des pieds de la grue. L'équipe étant bien moins importante qu'autrefois, ce sont les grutiers eux-mêmes, dans les années 60 et 70, qui s'occupent du graissage de la grue. Équipés d'une ligne de vie, ils montent sur la flèche afin d'effectuer les graissages aux endroits stratégiques. Cette opération dure environ une demi-journée et doit être faite très régulièrement.

Avant de pouvoir manoeuvrer les grues, les ouvriers doivent passer un certain nombre de tests psychotechniques ainsi que des examens de vue et des vérifications en ce qui concerne la consommation d'alcool et les antécédents de la personne. M.Bodremon nous a expliqué être arrivé en 1968 à l'arsenal afin de travailler pour le service des mouvements généraux en tant que manoeuvre. Il a aussi testé le poste d'appareilleur mais ce poste ne lui convenait pas. A cette époque l'arsenal avait besoin de personnel pour conduire les grues, il se porte alors volontaire : «*J'ai mis mon nom et puis voilà c'est parti de là. J'ai appris sur le tas comme on dit quoi*[65].» Les horaires des ouvriers étaient 8h-18h05, et à partir de 8h normalement, toutes les grues de l'arsenal doivent être opérationnelles. Durant le temps de pause de midi et quand la grue n'est pas en activité, le grutier doit rester en poste dans sa cabine.

L'équipement du grutier est quant à lui, relativement sommaire : un bleu de travail, des chaussures de sécurité ainsi qu'une paire de gants. Les casques ne sont pas obligatoires. Certains conducteurs de grues ont tout de même demandé à être équipés de lunettes anti-réverbération pour éviter d'être éblouis par les reflets de la Penfeld pendant les manoeuvres. Chaque jour, le grutier doit remplir une feuille de présence afin de communiquer toutes les informations au service des mouvements généraux. Cette feuille doit obligatoirement être faite avant de monter au poste de commande. Elle permet au chef d'équipe et au service des mouvements généraux d'avoir les informations concernant toutes les manoeuvres effectuées par la grue.

Les conditions de travail du grutier sont particulièrement difficiles. En effet, qu'il y ait ou non du boulot, celui-ci doit faire acte de présence dans la cabine de pilotage pendant toute la journée ce qui parfois pose problème : «*Certains ne supportaient pas ça. Moi j'ai connu plusieurs qui ont quitté les grues, il tenaient pas comme on dit, à rester tout seul là*

62. Schéma de M.Bodremon.
63. Entretien M. Bodremon,17 octobre 2018.
64. Entretien M. Bodremon,17 octobre 2018.
65. Entretien M. Bodremon,17 octobre 2018.

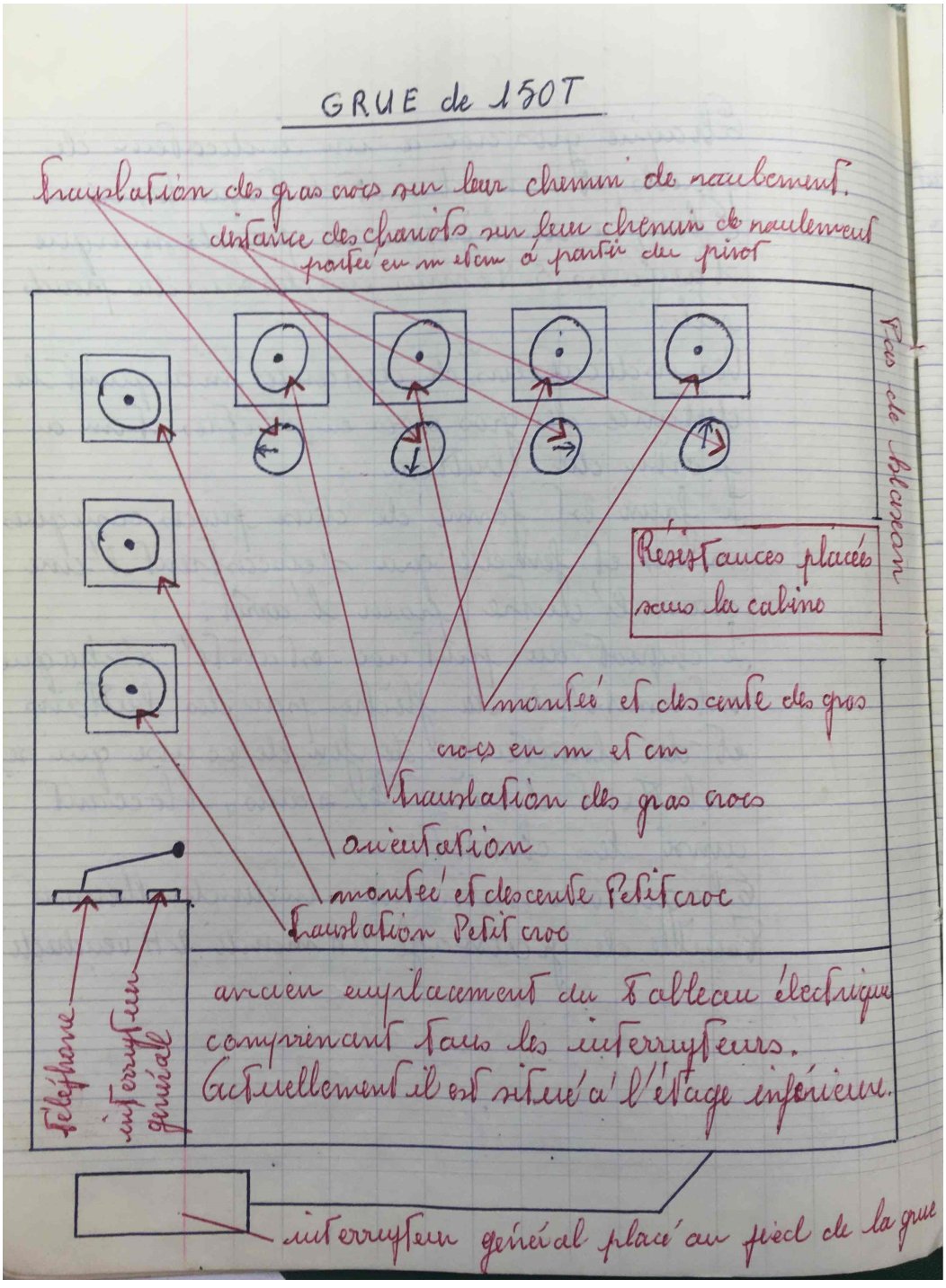


FIGURE 6.36 – Organisation de la cabine de la grue électrique [62]

haut [...] Oui je connais des gens la médecine du travail les a descendus des grues, ils avaient de gros problèmes, ils supportaient pas de rester seuls » [66]. Certains appareilleurs en bas de la grue présentent également des difficultés *«y'à toujours des personnes qui travaillent en dessous, certains paniquaient, est-ce que ça va tomber ou pas, est-ce que ça va tomber ou pas, écraser du monde, ça va pas à tout le monde»* [67].

La formation des grutiers a lieu avec d'anciens conducteurs de grue et dure environ un an. On appelle cela une «formation en double». L'ancien ouvrier doit enseigner les particularités du métier aux nouveaux arrivants et les informer des dangers. En effet, le grutier doit être particulièrement attentif lorsqu'il déplace une charge : les commandes des crocs sont très sensibles et une mauvaise manipulation peut être particulièrement dangereuse : *«la flèche pouvait partir dans le bassin la grue aussi si on dérape»* [68]. Les grutiers ne sont pas formés que pour un type de grue, ils doivent pouvoir utiliser plusieurs systèmes selon la demande.

Étape 4 : Fin d'activité industrielle

Lors de la Seconde Guerre mondiale, le paysage brestois est dévasté par des milliers de bombes qui ont détruit l'essentiel des bâtiments. La grande grue fait figure de miraculée car malgré son imposante présence dans l'arsenal brestois elle n'a pas été détruite. Elle a pourtant été dynamitée au niveau des pieds, mais cette tentative de sabotage a échoué. De nombreuses photos illustrent la grue, intacte, au milieu des décombres (Voir figure 6.37). La grue est très rapidement remise en fonctionnement afin de participer au déblaiement des décombres et de reprendre l'activité de construction navale.

FIGURE 6.37 – La grande grue électrique à la suite des bombardements [69]

A la fin des années 60, la grande grue électrique est en très mauvais état. En raison de la fragilité de la charpente, la grue a été à nouveau détarée à la moitié de sa puissance de

66. Entretien M.Bodremon,17 octobre 2018.
67. Entretien M.Bodremon,17 octobre 2018.
68. Entretien M.Guidal, 19 octobre 2018.
69. Service Historique de la Défense de Brest, Fond 9FI 2_1.

charge afin d'éviter les accidents. Cela n'a pas empêché certains morceaux de la grue de se détacher et de causer des incidents qui ont nécessité la prise de mesures de sécurité :

> *«Il est arrivé un moment où on ne pouvait plus rien faire avec quoi, y'avait vraiment des morceaux de charpentes qui tombaient. Une fois dans une cabine y'a la fenêtre qui est tombée sur le terre-plein en dessous. Heureusement qu'il n'y avait personne , du coup elle a été arrêtée et là les autorités ont pris la décision de mettre des grands filets sur toute la longueur de la flèche en dessous pour éviter que tous ces morceaux de charpentes tombent oui oui c'était vraiment un danger !»* [70]

En 1978 la décision est prise de démonter entièrement la grue. Un appel d'offres est lancé et une société italienne est retenue. Lors de son entretien, M. Guidal nous a informé que la société avait équipé la grue de filets et avait récupéré les métaux précieux comme le cuivre et le bronze et est partie en laissant la grue a moitié démantelée. Un second appel d'offres a donc lieu afin de terminer le démantèlement (Voir figure 6.38).

FIGURE 6.38 – Le démontage de la grande grue électrique [71]

Celle que l'on appelle grue électrique, grande grue ou encore grue noire, disparaît complètement du paysage brestois en décembre 1978. Elle est remplacée par une grue Caillard de 80 tonnes qui est placée au même endroit mais qui n'a pas le même succès : *«[La grande grue] faisait partie du paysage, celle qui l'a remplacée ben c'était pas la grande grue !* [72]*»* Cette grue est également détruite en 2009.

Pendant 68 ans, la grue électrique a fait partie intégrante du paysage brestois. Il s'agissait d'un véritable symbole pour l'arsenal et beaucoup de gens ont déploré sa disparition : *«De toute façon cette grue-là elle aurait pu continuer c'est un peu comme la tour Eiffel s'il y avait eu les moyens, si on s'était donné les moyens , cette grue elle serait encore à Brest* [73]*.»*

70. Entretien M.Bodremon,17 octobre 2018.
71. Archives municipales de Brest Côte : 2Fi07926.
72. Entretien avec les résidents de l'EHPAD Louise Le Roux, Brest, Enregistrement audio, 2016.
73. Entretien M.Guidal, 19 octobre 2018.

Étape 5 : La mise en patrimonialisation

Comme beaucoup des indicateurs brestois de notre étude, il ne reste aujourd'hui plus de traces de la grue électrique. Il est tout de même possible aujourd'hui de localiser son emplacement sur un terre-plein près du bassin de la porte Tourville. La mémoire de la grue électrique brestoise est toujours vivace grâce, entre autres, au travail du peintre de la marine Pierre Péron [74]. Cet artiste qui aimait peindre la ville de Brest a pendant longtemps représenté la grue qui est devenue l'un de ses sujets de prédilection. En 1978, il réalise un cours métrage de 6 minutes avec Jean Le Goualch : *«La grande grue toujours vivante»* [75].

6.9 Le pont tournant de Brest

Le pont tournant de Brest, véritable innovation scientifique et technologique de la seconde moitié du 19e siècle, est un indicateur relatif à la mobilité mais également aux aux axes de communication. L'étude de cet artefact fortement liée à l'arsenal de Brest permet d'étudier des usages ainsi que des métiers peu connus.

Étape 1 : Émergence d'un besoin, sa traduction en problèmes technologiques, la solution choisie

Brest et Recouvrance sont séparés par la Penfeld ce qui rend particulièrement difficile la communication entre les deux villes. A l'origine, pour passer d'une rive à l'autre, il était nécessaire d'emprunter un passage d'eau sur la Penfeld au moyen de bacs ou de bateaux. Les droits de passage et de péage ont pendant de nombreuses années appartenu à de grandes familles qui géraient les conditions de traversées. En 1687 les droits de passage appartiennent à M.Ollivier, conseiller du roi et médecin de la marine à Brest (DELOURMEL 1923). Celui-ci a acquis ses droits d'exploitation au mois de juillet 1687 [76].

La traversée est particulièrement dangereuse et de fréquents accidents ont lieu. Pour exemple, le 18 avril 1689, un bac partant de la rive brestoise a coulé avec à son bord une trentaine de personnes. Les accidents sont très souvent dus à des bacs en mauvais état et des taux de remplissage anarchiques. En 1794, lors de son *«Voyage dans le Finistère»*, Cambry fait également état du mauvais état des embarcations : *«[Les] calles sont sans cesse obstruées par la quantité d'individus qui traversent de Brest à Recouvrance, de Recouvrance à Brest, au moyen de bateaux mal faits, trop petits, dangereux, mais qu'on est forcés d'employer* (CAMBRY 1835).» En 1689, on cherche des solutions pour lutter contre l'engorgement du passage d'eau mais également pour limiter au maximum les accidents. En avril, l'intendant Declouzeaux écrit au ministre de la Marine. Il fait référence à un projet du Maréchal D'Estrée de construire un pont flottant en bois sur la Penfeld (DELOURMEL 1923), mais ce projet n'a jamais vu le jour et les bacs continuent leurs aller-retour sur la rivière.

La gestion des bacs et des bateaux est gérée par un fermier qui doit se soumettre à un règlement particulier. Ce règlement stipule que l'entretien des bacs et des bateaux, ainsi que des pontons est à sa charge, et il doit s'assurer à ce que les bateaux soient vides d'eau pour garantir la sécurité des gens qui traversent. Il se charge également de l'embarquement et du débarquement et doit veiller à éviter les accidents. Il doit prendre garde à respecter les temps d'attente qui sont *«d'une heure pour les bacs et d'une demi-heure*

74. Pierre Péron (1905-1988), est un artiste peintre, graveur, graphiste et écrivain brestois
75. Jean Le Goualch, Pierre Péron, *«la grande grue toujours vivante»*, Cinémathèque de Bretagne, 1978.
76. Mémoire touchant aux droits de passage de Brest à Recouvrance et de Brest à Recouvrance par le sieur Ollivier seigneur de Rozarnou, 26 avril 1694, Archives Nationales de France, Paris, AN MAR D 2 23.

pour les passe-cheval et pour les batelets». Le fermier a également l'obligation de n'exiger aucun droit à certaines personnes : *«préfets et sous-préfets, les maires, les juges d'instruction et procureurs de la République, les juges de paix et leurs greffiers, les commissaires de police et autres agents de police judiciaire, les employés des contributions indirectes et des douanes, la gendarmerie, ainsi que les ministres des différents cultes reconnus par l'état et leurs assistants*[77] » dans l'exercice de leurs fonctions.

Le fermier est aidé par des préposés ou des mariniers et est responsable des infractions commises par ceux-ci. Il se charge de leur recrutement, mais doit respecter le cahier des charges relatif au service des bacs et des bateaux : il ne doit engager que «*des gens âgés de moins de vingt ans et un an, de bonnes vie et moeurs, et bien au fait de la navigation*[78].» Le fermier est sous les ordres de l'adjudicataire qui possède le droit de fermage. Il doit gérer l'entretien des bacs et des bateaux ainsi que des cordages nécessaires : il se charge des réparations «jugées trop importantes pour être laissées aux soins du fermier[79]». Le cautionnement pour cette charge est de 36 000 francs.

Les bacs assurant la traversée sont particulièrement grands pour permettre le transport de plusieurs personnes en une seule fois. Ceux-ci ont une longueur de 7m70 pour 2m90 de large et fonctionnent à l'aide de trois avirons[80]. En 1716, les bateaux de passage sont au nombre de trente-deux, et en 1754, le prix de la traversée est de 1 denier par personne (DELOURMEL 1923). Le transport des marchandises ou d'animaux d'une rive à l'autre est également possible moyennant une somme de 2 centimes et 50 millièmes[81] pour le transport de marchandises ne dépassant pas les 50 kilos. Pour les traversées avec des animaux type chevaux, mulets, vaches, ou cochons c'est-à-dire des chargements de moins de 500 kilos, le tarif est de 25 centimes. Mais les incidents, le temps de la traversée, et les taxes ne sont pas les seules difficultés rencontrées par les usagers de ce mode de transport. En effet, pour emprunter l'embarcadère, il fallait *«monter et descendre une hauteur de 20 mètres»* à l'aide d'un escalier de 111 marches pour se rendre à la cale d'embarquement.

La volonté de construire un pont date de l'année 1689 en raison des accidents beaucoup trop fréquents. Desclouzeaux avait proposé un devis pour la construction d'un pont flottant imaginé par d'Estrée mais le projet est abandonné en raison de la guerre. Celui-ci reprend finalement vers 1830 suite à la demande de la municipalité et des habitants qui n'en peuvent plus de ce système de traversée. En 1848 on relance les procédures pour

77. Archives départementales du Finistère,Quimper, Série S : Travaux publics et transports, 3S Navigation intérieure : fleuves et canaux, 3S Supplément art.1310.

78. «Cahier des charges de l'adjudication des droits à percevoir, pendant les années 1853, 1854, 1855, 1856, 1857 et 1858, au passage d'eau de Recouvrance situé sur la rivière de Penfeld commune de Brest et arrondissement de Brest», Archives départementales du Finistère, Quimper,Série S : Travaux publics et transports, 3S Navigation intérieure : fleuves et canaux, 3S Supplément art.1310

79. «Cahier des charges de l'adjudication des droits à percevoir, pendant les années 1853, 1854, 1855, 1856, 1857 et 1858, au passage d'eau de Recouvrance situé sur la rivière de Penfeld commune de Brest et arrondissement de Brest», Archives départementales du Finistère,Quimper, Série S : Travaux publics et transports, 3S Navigation intérieure : fleuves et canaux, 3S Supplément art.1310

80. «Cahier des charges de l'adjudication des droits à percevoir, pendant les années 1853, 1854, 1855, 1856, 1857 et 1858, au passage d'eau de Recouvrance situé sur la rivière de Penfeld commune de Brest et arrondissement de Brest», Archives départementales du Finistère, Quimper, Série S : Travaux publics et transports, 3S Navigation intérieure : fleuves et canaux, 3S Supplément art.1310

81. Tarifs des droits à percevoir au passage d'eau de Brest à Recouvrance arrêté par le Gouvernement, le 8 août 1849, Archives départementales du Finistère, Quimper, Série S : Travaux publics et transports, 3S Navigation intérieure : fleuves et canaux, 3S Supplément art.1310

81. Lettre du ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics au préfet du Finistère, 5 mars 1862, Archives départementales du Finistère, Quimper, Série S : Travaux publics et transports, 3S Navigation intérieure : fleuves et canaux, 3S Supplément art.1310

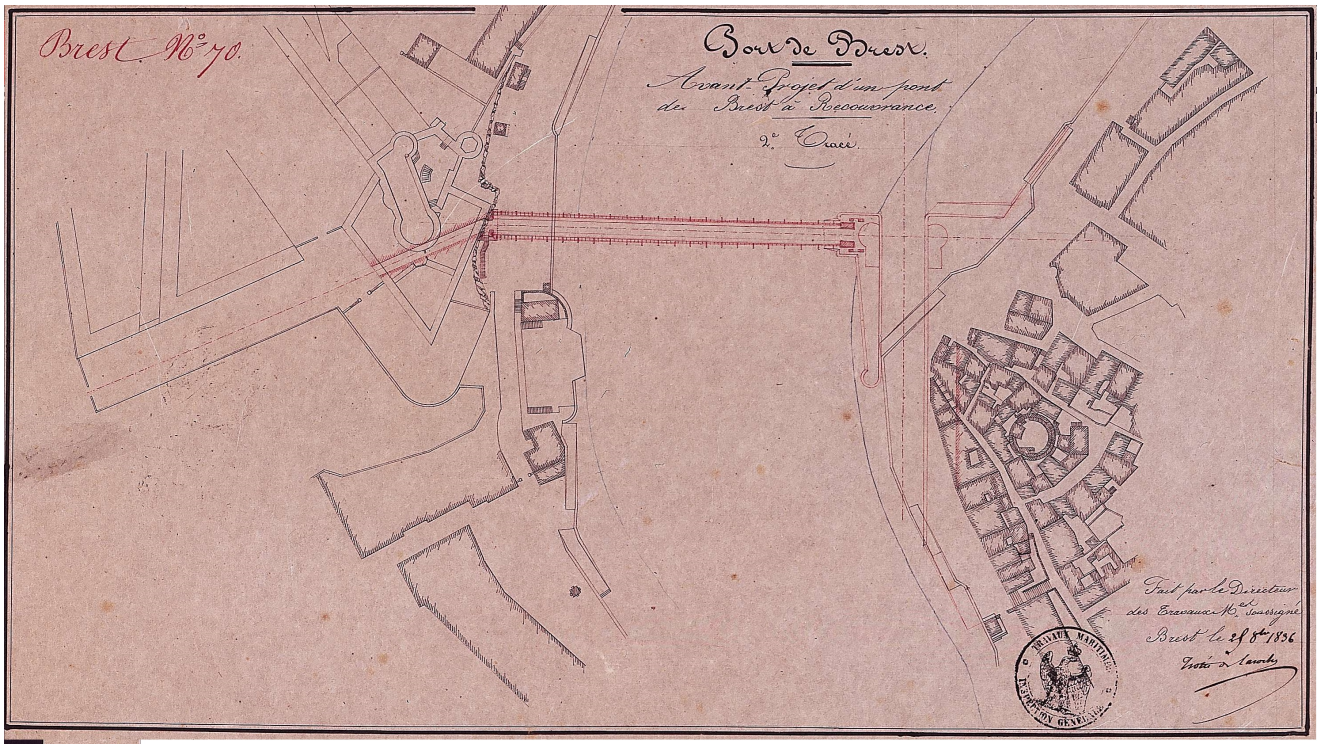


FIGURE 6.39 – Projet de Pont par Trotté de la Roche en 1836 [82]

construire un pont sur la Penfeld. Le cahier des charges imposé par la Marine stipule précisément : *« Ne point fonder dans le chenal », « laisser libre, sous le tablier du pont, la navigation des petits navires qui font le service de la rade », « n'astreindre les navires de tous ranges qu'à la seule obligation de caler leurs mâts de perroquets pour franchir le port»* (LAUBÉ et SIRE 2007). En 1849 le maire de Brest, Bizet et Lacrosse sénateur du Finistère, permettent la déclaration du pont comme étant d'utilité publique. En effet, la construction d'un pont entre Brest et Recouvrance représente deux avantages principaux :

- Faciliter les échanges entre les deux rives de Brest et permettre une traversée de la Penfeld bien plus rapide et moins dangereuse.
- Permettre le développement urbain et le développement économique sur la rive gauche de Brest, c'est-à-dire du côté de Recouvrance.

Une vingtaine de projets sont proposés afin de relier les deux rives de la Penfeld. Les propositions doivent respecter le cahier des charges qui stipule l'importance de permettre le passage des navires de la flotte dans un temps relativement restreint. Plusieurs projets sont alors proposés :

- Le projet Trotté de la Roche (Voir figure 6.39) est celui d'un pont suspendu partant au niveau du château. Ce projet n'est pas viable car il ne permettait pas un passage fréquent des bateaux (DELOURMEL 1923).
- Le projet Kermarrec propose un projet de deux ponts superposés : un pont inférieur pour les voitures et les piétons avec une partie mobile pour faire passer les navires. Le pont supérieur permet de traverser si la partie inférieure est ouverte.
- Le projet Vincent est celui d'un tunnel passant directement sous la Penfeld.

Le projet le plus connu est celui de Tritschler [83]. Le projet Tritschler (Voir figure 6.40) est un pont fixe en maçonnerie relié à un pont suspendu qui s'ouvre au milieu sur une

82. Service historique de la défense de Vincennes, DD2 703 II 104A.
83. Tritschler est membre du conseil municipal de Brest et entrepreneur des fortifications.

longueur de 20 mètres afin de laisser passer les navires de l'arsenal. La courbe de suspension du pont, dotée de larges escaliers permet de faire traverser les piétons quand le pont est ouvert.

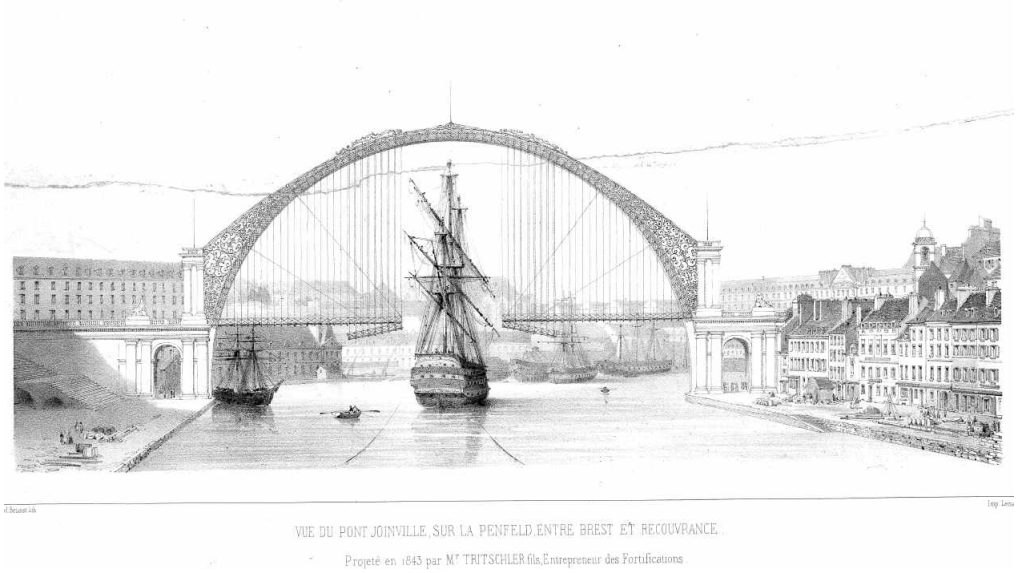


FIGURE 6.40 – Projet de pont par M.Tritschler[84]

Ce projet, malgré l'appui du conseil Municipal de Brest est abandonné au profit du projet de Nicolas Cadiat[85] et Alphonse Oudry[86]. Il s'agit d'un pont doté de deux volées métalliques pouvant pivoter à l'aide de cabestans (Voir figure 6.41). Ce projet est officiellement approuvé par l'État et le Conseil Général des Ponts et Chaussées en 1852. Le cahier des charges de construction du pont est approuvé le 19 janvier 1856 et quelques mois plus tard, les travaux du pont commencent.

84. Vilmer, *Vue du pont Joinville sur la Penfeld entre Brest et Recouvrance, projetée en 1843 par M.Tritschler fils, entrepreneur des fortifications*,1843, Lithographie sur papier, Musée des beaux-arts de Brest.
85. Nicolas Cadiat (1805-1856), ingénieur civil diplômé des arts et métiers.
86. Alphonse Oudry (1819-1869), ingénieur des ponts et chaussées.

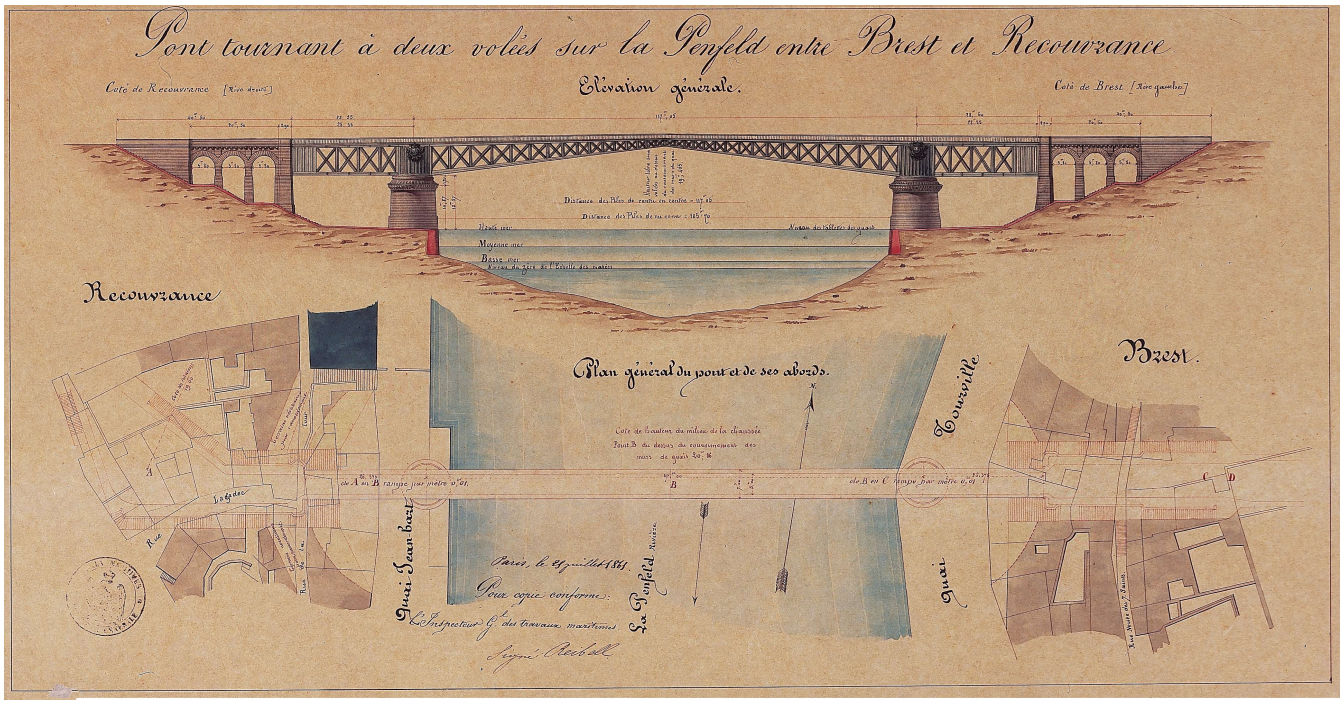


FIGURE 6.41 – Projet retenu pour le pont de Brest-Recouvrance [87]

Durant les travaux de construction du pont, les traversées sont toujours assurées au moyen des bacs comme le précise ce courrier du 3 avril 1838 du bureau des travaux publics de la préfecture du Finistère à l'ingénieur en chef des ponts et chaussées : *«J'ai l'honneur de vous informer que par décision du 23 mars courant, conforme à ma proposition, M. le ministre des finances, vient de proposer jusqu'à l'achèvement du pont de la Penfeld, le bail consenti à M.Le Bian, pour l'exploitation du bac de Brest à Recouvrance, bail dont la durée expire le 31 mars prochain*[88]*.»*

Pourtant, il est question dans plusieurs documents administratifs que la population de Brest et de Recouvrance n'est pas totalement d'accord avec la suppression totale du service des bacs : *«Il a toujours été entendu au contraire que l'entreprise du passage cesserait du jour où le pont serait livré au public. Si la ville de Brest trouve cette suppression gênante, qu'elle maintienne le service; mais qu'elle le maintienne à ses frais»*[89]. Dans un rapport de l'ingénieur ordinaire des ponts et chaussées du département du Finistère, datant du 17 juin 1861, la question du maintient d'une traversée par bac même après la livraison du pont se pose clairement. En effet, ce «passage d'eau» permettrait de desservir les deux quais ainsi que les quartiers bas qui bordent les rives de la Penfeld : *«Il serait fâcheux, en outre, que dans les moments où le pont devra être ouvert pour les mouvements de la marine militaire, les communications entre Brest et Recouvrance fussent complètement interceptées*[90]*»*. En effet, l'ouverture du pont doit se faire à raison de deux à trois fois par jours ce qui fait une moyenne de 160 fois par jour.La manoeuvre devrait durer 31

87. Service historique de la défense de Vincennes, DD2 704 II 146.

88. Courrier du 3 avril 1838 du bureau des travaux publics de la préfecture du Finistère à l'ingénieur en chef des ponts et chaussées, Archives départementales du Finistère, Quimper, Série S : Travaux publics et transports, 3S Navigation intérieure : fleuves et canaux, 3S Supplément art.1310.

89. Courrier du 14 juin 1861 du conducteur autorisé des Ponts et chaussées à l'ingénieur en tournée, Archives départementales du Finistère, Quimper, Série S : Travaux publics et transports, 3S Navigation intérieure : fleuves et canaux, 3S Supplément art.1310

90. Rapport de l'ingénieur ordinaire des ponts et chaussées du département du Finistère,17 juin 1861, Archives départementales du Finistère, Quimper, Série S : Travaux publics et transports, 3S Navigation intérieure : fleuves et canaux, 3S Supplément art.1310

minutes et pendant ce temps, la liaison entre les deux rives serait totalement suspendue. Il a été décidé après construction du pont, que la traversée en bac s'effectuerait dès que le pont s'ouvrirait. Le rétablissement du passage d'eau d'une rive à l'autre de la Penfeld se fait alors au moyen de quatre bateaux. L'ancienne taxe de 1 centime est alors élevée à 5 centimes [91].

Étape 2 : De la solution choisie à sa concrétisation

Les travaux du pont Cadiat et Oudry débutent à la fin de l'année 1856 sous la direction de M.Carcaradec ingénieur des ponts et chaussées (DELOURMEL 1923). Le montage des deux volées du pont a été effectué à l'aide d'un pont de service (OPPERMAN 1867) qui prend la forme d'un échafaudage permettant d'assembler tous les mécanismes (Voir figure 6.42).

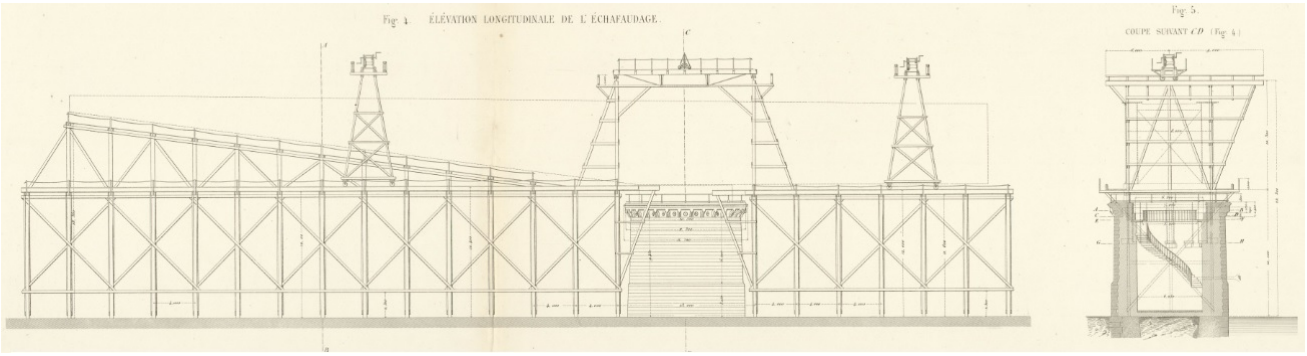


FIGURE 6.42 – Échafaudage permettant le montage du pont tournant (Détail) [92]

L'assemblage des parties métalliques ainsi que des piles de maçonnerie a été suivi par la société Schneider et Compagnie, Alphonse Oudry, Maitrot de Varennes et Aumaitres les deux ingénieurs en chef, et Rousseau ingénieur ordinaire des ponts et chaussées (Voir figure 6.43). M. Mathieu, ingénieur en chef de l'usine du Creusot s'est quant à lui chargé de veiller au suivi des parties métalliques directement à l'usine.

Le poids total des parties mécaniques du pont est de 1.200.000 kg et la somme totale de cette construction est de 2.118.835 francs.

En 1868 l'empereur des français Napoléon III est à Brest et en profite pour visiter le chantier de construction du pont tournant. Il décide de baptiser l'ouvrage «Pont impérial». Le pont est inauguré et présenté au public le 23 juin 1861.

Le prestige de ce pont dépasse les frontières et même la presse étrangère s'émerveille devant cet ouvrage : *«Questa magnifica opera in metallo è, senza dubbio, uno dei più notevoli ponti dell'europa.» «Non solamente gli stranieri, ma gli stessi abitanti della città di Brest sono giornalmente maravigliati alla vista di questa bell'opera cosi solida» «Uno stupendo ed impareggiabile panorama si gode dall'alto di questo magnifico ponte»* (EMPORIO-

90. Lettre du ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics au préfet du Finistère, 5 mars 1862, Archives départementales du Finistère, Quimper, Série S : Travaux publics et transports, 3S Navigation intérieure : fleuves et canaux, 3S Supplément art.1310

90. Lettre du ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics au préfet du Finistère, 5 mars 1862, Archives départementales du Finistère, Quimper, Série S : Travaux publics et transports, 3S Navigation intérieure : fleuves et canaux, 3S Supplément art.1310

91. Lettre du bureau des travaux publics à l'ingénieur en chef le 25 8bre 1861, Archives départementales du Finistère, Quimper, Série S : Travaux publics et transports, 3S Navigation intérieure : fleuves et canaux, 3S Supplément art.1310

92. Plans des ponts et chaussées, 5fi6258.

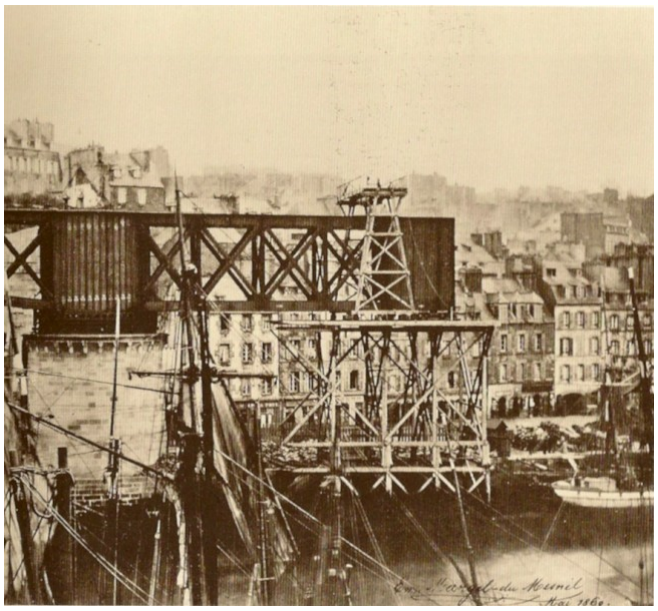


FIGURE 6.43 – Photographie de mai 1860 durant l'assemblage du pont par Emmanuel Mangel du Mesnil (LEMOINE 1983).

PITTORESCO 1869) («Ce magnifique ouvrage métallique est, sans aucun doute, l'un des ponts les plus remarquables d'Europe.» «Non seulement les étrangers, mais aussi les habitants de la ville de Brest sont émerveillés chaque jour à la vue de ce bel ouvrage si solide» «Du haut de ce magnifique pont, on jouit d'une vue magnifique et sans pareil».)

Étape 3 : Les usages

Les dimensions du pont tournant sont particulièrement impressionnantes : il culmine à 29 mètres de hauteur au-dessus du zéro de l'échelle des marées, la longueur des travées est de 174 mètres, les piles en maçonneries circulaires qui soutiennent le pont ont un diamètre de 10,60m (OPPERMAN 1867).

Le pont est composé d'un tablier long de 174 mètres et de deux volées. Ces deux volées sont les parties du pont qui se déplacent pour laisser passer les navires. Elles sont construites de manière à se raccorder au milieu du pont. Chaque volée est constituée de deux poutres en forme de T de différentes longueurs et de croix de Saint-André. Des piles de maçonnerie soutiennent ce tablier. Il s'agit de piles en pierres de taille qui renferment une grande partie des mécanismes permettant de le faire fonctionner.

Pour permettre l'ouverture du pont sur la rivière, un mouvement de rotation autour des axes des piles est rendu possible par des cabestans qui sont au nombre de deux par volées. Chaque travée s'ouvre de façon opposée par rapport à l'axe de la pile. Une fois que les deux volées ont une position parallèle aux quais, la manoeuvre est terminée et les navires peuvent passer. Pour permettre ces actions, le pont est doté de plusieurs mécanismes :

- Le mécanisme de rotation (Voir figure 6.44) : Ce mécanisme fonctionne à l'aide de cabestans qui sont au nombre de deux par volées. Ce sont des hommes qui actionnent ces mécanismes pour faire tourner les volées grâce à des rouleaux coniques.

93. Plans des ponts et chaussées, 5fi6253.

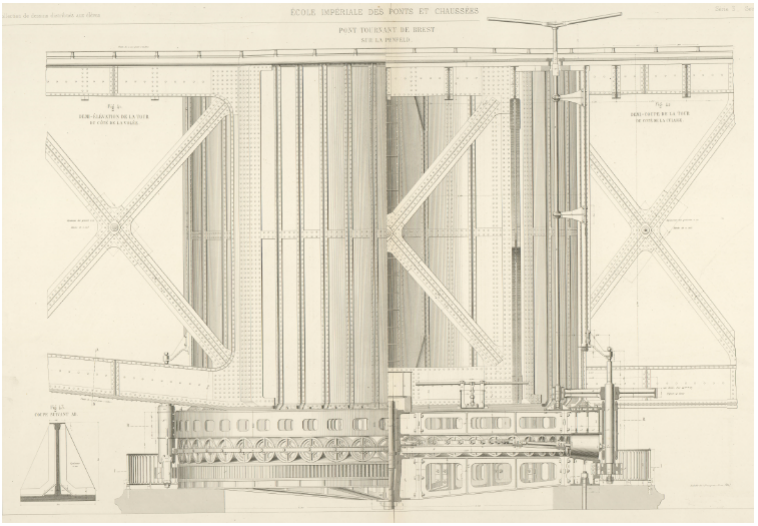


FIGURE 6.44 – Mécanisme de rotation du pont (détail) [93]

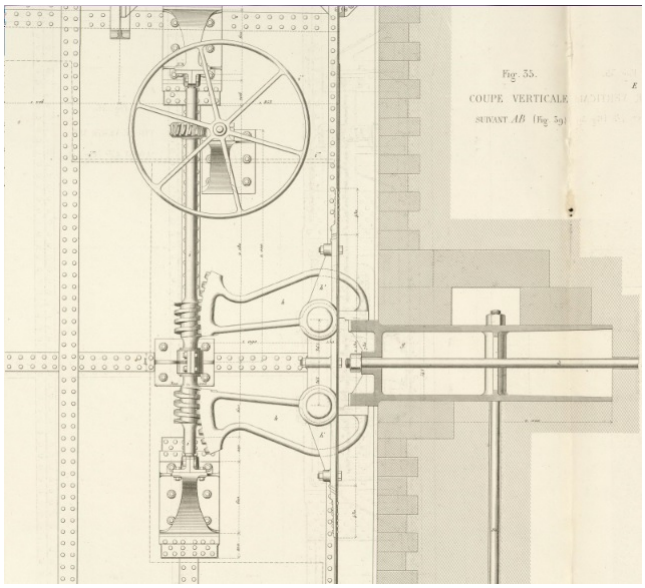


FIGURE 6.45 – Mécanisme de fixation aux quais (détail) [94]

- Le mécanisme de fixation aux quais (Voir figure 6.45) : Ce mécanisme est semblable à des mâchoires qui permettent d'accrocher les volets aux quais et d'éviter que ceux-ci ne bougent.
- Le mécanisme de fixation des deux volées (Voir figure 6.46) : Il s'agit ici d'un mécanisme permettant de fixer entre elles les deux volées une fois le pont fermé.
- Le mécanisme de prévention de déformation : Ce mécanisme est un système de vérins à vis qui prévient la déformation du pont.

Après son inauguration en 1861, le pont tournant a subi quelques modifications. A l'origine, les transports publics de Brest sont les omnibus, des voitures tirées par des chevaux. Les premières lignes de Tramways électriques voient le jour courant 1898. La ligne 1 lie le quartier de Saint-Pierre Quilbignon côté Recouvrance, avec la ville de Brest. Le pont tournant est un passage obligé pour le Tramway, il s'est donc doté de rails et d'un

94. Plans des ponts et chaussées, 5fi6255.
95. Plans des ponts et chaussées, 5fi6256.

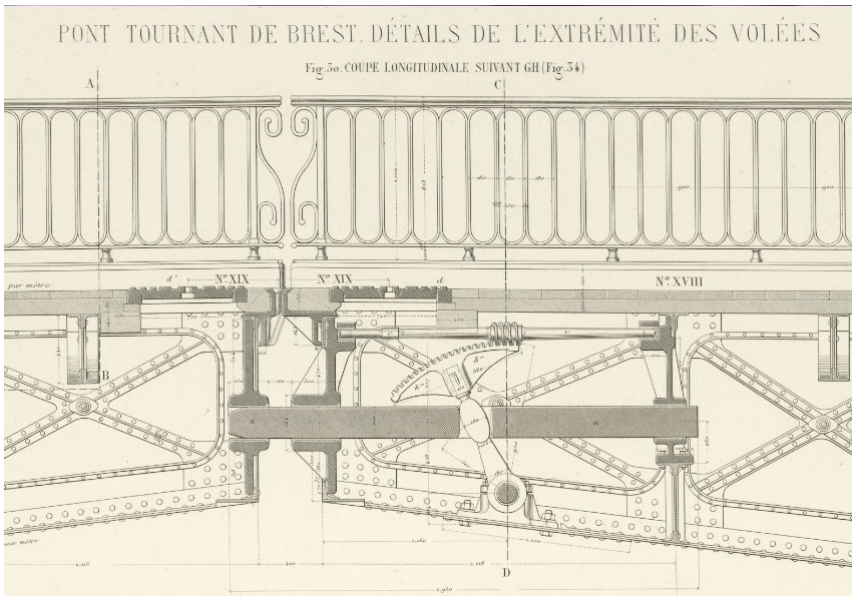


FIGURE 6.46 – Mécanisme de fixation des volées (détail) [95]

portique pour soutenir les lignes électriques . La circulation sur le pont se partage donc entre les piétons, les voitures et le tramway. Sur de nombreuses photographies d'époque, nous pouvons apercevoir que le pont est doté d'éclairage public. A l'origine cet éclairage était au gaz. Comme le pont est équipé de lignes électriques pour le passage du tramway en 1898, nous pouvons éventuellement supposer que l'éclairage s'est électrifié à cette époque-là, mais aucun document ne nous permet de l'affirmer.

Des précautions ont été mises en place au niveau des mécanismes du pont afin de faciliter les éventuelles réparations en raison d'avaries ou d'usure. Le pont est équipé de quatre presses hydrauliques d'une force de 200.000 kilos chacune. Manoeuvrées à bras, elles permettent d'isoler les galets et les couronnes de roulements en cas de problèmes. Le pont se soulève ainsi de quelques centimètres en quelques minutes afin de procéder aux réparations (NOTICE-EXPOSITION-UNIVERSELLE 1862). Malgré ces précautions, un incident a lieu le 6 octobre 1894. En effet, le pont tournant n'est pas parvenu à s'ouvrir pour laisser passer le navire «Magon». Un cabestan se situant du côté de la ville de Brest n'a pas fonctionné correctement. De longues réparations sont alors prévues afin d'endiguer le problème (EDWARDS 6 octobre 1894). Des opérations de maintenances sont très souvent mises en place afin de vérifier chacun des mécanismes ainsi que la solidité de la charpente métallique. Les réparations se font à l'aide de la technique de soudure autogène qui consiste à assembler directement deux pièces métalliques grâce à la chaleur. En 1935, lorsqu'est sorti l'ouvrage *«Le groupe des industries de l'acétylène et de la soudure autogène, ses organismes centraux»*, des réparations employant des opérations de soudures avaient lieu au même moment sur le pont tournant de Brest dans le but de le renforcer (BLOCH-SÉE 1935). Dès les premières années de fonctionnement du pont la circulation entre les deux rives augmente considérablement. Le 7 novembre 1863, seulement deux ans après son ouverture, le conseil municipal de Brest juge alors urgent la construction d'une nouvelle porte de ville côté Recouvrance : *«Depuis l'ouverture du pont une circulation considérable et toujours croissante s'établit par la rue de la porte et la porte du Conquet. Le passage des voitures et des charrettes y est, à tout moment entravé*[96]»

96. Archives municipales de Brest, 1 D 1 8 et Brest et la mer 1848-1874.

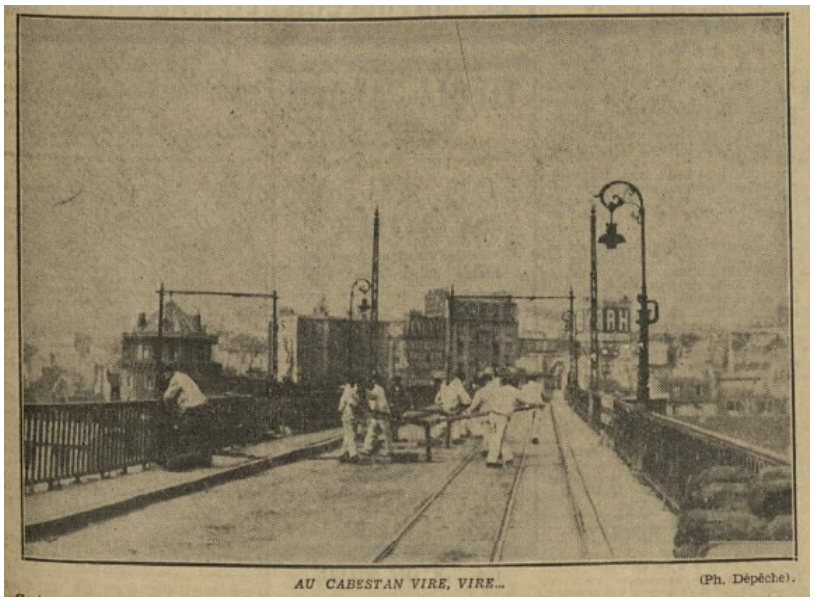


FIGURE 6.47 – Manoeuvre des cabestans (COUDURIER 1935)

Véritable innovation technologique en termes de mécanisme et de construction, l'activité associée à l'ouverture et à la fermeture du pont est également particulièrement impressionnante. Malgré un poids et des dimensions importantes, la main-d'oeuvre nécessaire est pourtant faible. Avant l'ouverture du pont, des barrières sont mises en place pour protéger les piétons du vide une fois les travées ouvertes : *«Il y avait une barrière on avait pas le droit de passer, si vous continuiez vous tombiez dans la Penfeld!*[97] » Afin de procéder à l'ouverture du pont, les gardiens qui se chargent du pont doivent tout d'abord commencer par ouvrir les mécanismes qui permettent de verrouiller les deux travées du pont. Une fois cette action effectuée, les officiers de la marine, souvent des vétérans, peuvent commencer à tourner les cabestans présents sur chacune des volées. Par temps calme, seuls deux cabestans peuvent être utilisés ce qui réduit davantage la main-d'oeuvre. Les vétérans, qui sont chargés d'ouvrir le pont doivent effectuer la manoeuvre pour ouvrir les travées et rester sur place jusqu'à fermeture. La manoeuvre pouvait prendre une demi-heure. Une résidente de l'EHPAD Louise le Roux, Mme Sénéchal est la fille d'un ancien vétéran : *« c'est mon père qui ouvrait le pont et qui le refermait alors j'étais bien placée [...] alors le dimanche s'il était de service on allait sur le pont passer la journée, j'ai bien connu le pont! [...] il était militaire [...] il y avait un signal pour dire que le pont allait s'ouvrir*[98] ». Madame Sénéchal précise également que le travail de son père était souvent au centre des conversations *«Il parlait que de ça, on en avait marre! Il a passé sa vie à ouvrir le pont et le fermer!*[99] ». Ces postes, particulièrement importants et physiques subissent tout de même une mauvaise réputation comme le précisent des résidents de l'EHPAD *« Pour les marins-marins c'était un peu péjoratif d'être vétéran, c'était un peu le sous-prolétariat » « C'était un métier qui était sous-qualifié par rapport aux autres »* .

Dans le journal «*La dépêche de Brest*» datant du 2 mai 1935 se pose la question d'une possible électrification des mécanismes de pont afin de procéder à l'ouverture (Voir figure 6.47) : *«On s'est souvent étonné de voir employé encore pareil moyen à notre époque, et l'on a pensé qu'il serait simple d'électrifier l'ouvrage pour le manoeuvrer.»* Mais il n'a jamais été question de modifier l'ouvrage. En effet, comme le précise l'article, le pont est vieux, son

97. Entretien avec les résidents de l'EHPAD Louise Le Roux, Brest, Enregistrement audio, 2016.
98. Entretien avec les résidents de l'EHPAD Louise Le Roux, Brest, Enregistrement audio, 2016.
99. Entretien avec les résidents de l'EHPAD Louise Le Roux, Brest, 2016

système d'ouverture est délicat et une mauvaise manipulation pourrait avoir des conséquences très graves. La manoeuvre humaine à l'aide des cabestans est finalement la plus commode et la plus sécuritaire, de plus, celle-ci est relativement rapide car elle ne dure que vingt minutes (COUDURIER 1935). Mais ce débat ne semble pas nouveau. En effet, il était déjà question de cette électrification en 1931 dans un autre article de «*La dépêche de Brest*» (Voir figure 6.48).

FIGURE 6.48 – Dessin satirique du journal «*La dépêche de Brest*» [100]

Ce dessin satirique semble dénoncer les conditions parfois difficiles des officiers qui se chargent d'ouvrir le pont, à une époque où l'électricité est déjà bien présente à l'arsenal. En plus des gardiens du pont et des officiers de marine qui se chargent de l'ouverture, nous pouvons également évoquer la main-d'oeuvre relative à l'entretien et à la réparation des mécanismes.

La construction de ce pont a considérablement changé le quotidien des habitants de Brest et de Recouvrance qui peuvent à présent se déplacer d'une rive à l'autre de la Penfeld sans trop de difficultés (Voir figure 6.49). Il semblerait toutefois que la traversée des piétons peu parfois s'avérer périlleuse. Les vents sont régulièrement très forts à cet endroit du port :« *Quand il y avait du vent, les parapluies tournaient! Et puis les jupes aussi, à l'époque les dames n'avaient pas beaucoup de pantalons [...]il y en avait tellement parfois qu'on était poussé sur la chaussée* ». Des accidents ont également été signalés en raison des rames du tramway qui causent parfois la chute des cyclistes.

Malgré des conditions de traversée parfois difficile, le pont tournant reste tout de même un symbole pour Brest, et les Brestois se délectent très souvent du spectacle de l'ouverture « *Il y avait beaucoup de spectateurs, beaucoup!*[102] »

Les entretiens menés avec les résidents de l'EHPAD Louise Le Roux ont permis également d'obtenir quelques informations sur le paysage sonore du pont. Ces informations, particulièrement importantes pour «reconstituer» l'histoire du pont sont des informations absentes des archives. Selon les résidents interrogés, concernant le bruit près du

100. *La dépêche de Brest*« 4 janvier 1931.
100. Entretien avec les résidents de l'EHPAD Louise Le Roux, Brest, Enregistrement audio, 2016.
101. Archives municipales de Brest,Série Brest Pot de Chambre de la Bretagne. - Pont National ou grand pont : dessin humoristique représentant les effets d'une bourrasque sur le pont tournant, Cote : 3Fi007-190.
102. Entretien avec les résidents de l'EHPAD Louise Le Roux, Brest, Enregistrement audio, 2016.

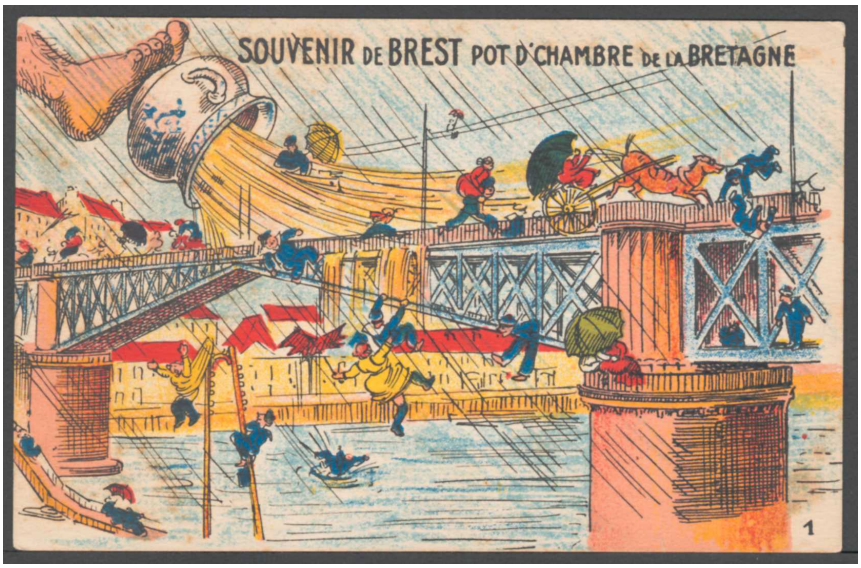


FIGURE 6.49 – Illustration satirique du pont tournant [101]

FIGURE 6.50 – Le pont tournant détruit en 1944 [105]

pont, ils évoquent *«Des bruits métalliques, des bruits de sirènes*[103]*» « Oh bah oui on l'entendait (la cloche) toute la journée, on était à côté*[104]*».*

Étape 4 : Fin d'activité industrielle

Pendant la Seconde Guerre mondiale, la ville de Brest est bombardée de toute part. La ville n'est plus qu'un champ de ruines et la plupart des édifices sont détruits. En septembre 1944, pendant le siège de Brest, le pont tournant n'y échappe pas et reçoit plusieurs bombes alliées qui le détruisent en totalité (Voir figure 6.50).

Il faudra de longs mois pour démanteler complètement l'édifice et faire place nette avant de procéder à la construction d'un nouveau pont. Pour permettre le franchissement

103. Entretien avec les résidents de l'EHPAD Louise Le Roux, Brest, Enregistrement audio, 2016.
104. Entretien avec les résidents de l'EHPAD Louise Le Roux, Brest, Enregistrement audio, 2016.
105. Service Historique de la Défense de Brest, Fond 9FI 2_1.

de la Penfeld par les piétons, il est possible de traverser avec le pont Guédon, un petit pont en bois en contrebas de l'ancien pont tournant. En raison de la destruction du pont cette petite passerelle est prise d'assaut par les Brestois et les habitants de Recouvrance. Le pont prend l'eau et tangue légèrement : *«J'avais un peu peur, j'étais jeune, ça balançait un petit peu !*[106]»

A l'emplacement de l'ancien pont transbordeur, un pont fixe de 581 mètres de long : le pont de l'Harteloire. Les travaux débutent en 1948 et se terminent en 1951, permettant ainsi la liaison entre les deux rives de la Penfeld. Mais l'ancien emplacement du pont tournant va également recevoir un nouveau pont qui devra, comme le premier, permettre le passage des navires. Le 17 juillet 1954 sera donc inauguré le pont levant de Recouvrance dont la construction avait débuté quatre ans auparavant. Le pont de recouvrance n'est pas tout à fait à l'emplacement exact de l'ancien pont tournant. En effet, le départ du pont côté Brest est le même, mais côté Recouvrance il est beaucoup moins proche de la tour Tanguy que ne l'était le précédent édifice comme nous pouvons nous en rendre compte sur la figure 6.51.

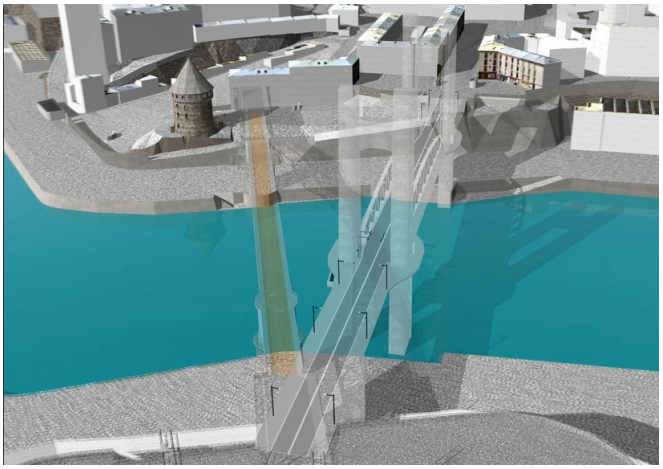


FIGURE 6.51 – Emplacements du pont tournant et du pont levant [107]

Étape 5 : La mise en patrimonialisation

Le pont tournant est un très bon exemple du savoir-faire de l'empire français dans le domaine des travaux publics et des constructions monumentales. Particulièrement apprécié des brestois, de très nombreuses archives iconographiques nous permettent d'apprécier ce monument aujourd'hui disparu.

Même si le pont tournant a aujourd'hui disparu du paysage de l'arsenal brestois, il en reste tout de même quelques vestiges (Voir figure 6.52). En effet, si on accorde un peu d'attention aux rives de la Penfeld où se trouve encore aujourd'hui l'arsenal, nous pouvons remarquer des éléments de l'ancien pont. Les fondations en pierres des piles sont toujours bien visibles et nous donnent ainsi des indications précises sur l'emplacement de l'édifice.

106. Entretien avec les résidents de l'EHPAD Louise Le Roux, Brest, Enregistrement audio, 2016.
107. Extrait de la modélisation du Pont tournant, CERV/CFV. Voir https://www.youtube.com/watch?v=TARmz7_QBRM

FIGURE 6.52 – Vestiges de l'ancien pont tournant [108]

Lorsque le projet de construction du pont de Cadiat et Oudry a été accepté, tout le monde s'accordait à dire que cette construction était une véritable innovation technologique. Des maquettes du pont ont alors été présentées lors des expositions universelles de 1864, 1867 et 1876 afin de mettre en lumière les spécificités de cette construction. La présentation de ces maquettes à Londres, Paris et Philadelphie a participé à bâtir la légende du pont tournant de Brest. Il existe aujourd'hui au moins trois maquettes du pont tournant de Brest : la maquette d'Antoine Prigent au Musée des Beaux-Arts de Brest [109], celle du musée de la Marine [110] et enfin, celle des résidents des EHPAD Le Roux-Salaün à Brest [111].

Pierre Péron [112], particulièrement admiratif du pont tournant, l'a beaucoup représenté, des années fastes à sa fin de vie dans la Penfeld. L'ensemble de son oeuvre est un hommage à l'arsenal de Brest. Son ami, l'écrivain Pierre Jakez Helias disait de lui *«La ville tout entière était son atelier* [113]*»*.

Une modélisation 3D cinématique du pont tournant de Brest a été conçue dans le but de valoriser les archives du pont mais également de comprendre son fonctionnement et ses mécanismes. Pour réaliser cette modélisation, un important travail de recueil d'archives a été effectué. A l'origine, des étudiants de l'Enib (Ecole nationale d'ingénieurs de Brest) ont travaillé sur une modélisation géométrique du pont tournant pour un projet. Pour cela ils se sont appuyés sur les plans techniques des ponts et chaussées afin d'avoir des informations précises sur les dimensions et sur les différents mécanismes. L'intérêt est d'être le plus proche possible de la réalité. Cette première modélisation a été récupérée par le CERV (Centre Européen de la Réalité Virtuelle) afin d'incorporer le pont dans une modélisation actuelle de la ville de Brest. Des couleurs, des textures, mais également

108. Copyright Région Bretagne, Photo de Guillaume Lécuillier, Immatriculation IVR53-2008909693NUCA.

109. Antoine Prigent, Maquette, 1959, ivoire, collection : Musée des Beaux-arts de Brest.

110. Maquette non datée. Elle serait probablement celle présentée lors des expositions universelles de 1862 et 1867.

111. Maquette réalisée dans le cadre d'une animation auprès des résidents. Opération coordonnée par M.Anthony Cosquéric, et des habitants de Recouvrance.

112. Pierre Péron (1905-1988), est un artiste peintre, graveur, graphiste et écrivain brestois

113. *«Dernier jour pour l'expo Pierre Péron !»*, article du Ouest-France, 3 janvier 2016.

des avatars qui actionnent les cabestans ont été ajoutés. A l'origine, la première version de la modélisation du pont avait été utilisée pour créer des scénarios pédagogiques pour un public de lycéens et ainsi de travailler sur l'usage de la technologie 3D en milieu scolaire. Depuis, cette modélisation est fréquemment utilisée dans des évènements scientifiques comme lors de la nuit des chercheurs. Grâce au dispositif de RV, les utilisateurs peuvent expérimenter les procédures d'ouverture et de fermeture du pont afin de comprendre le travail des officiers de marine mais également la complexité des mécanismes du système. L'intérêt de ce type de modélisation 3D est de valoriser un patrimoine disparu mais également de travailler sur l'activité humaine et sur les usages relatifs à ce type d'artefact.

Cette modélisation 3D a été présentée lors d'une exposition du 5 avril au 18 septembre 2016 au musée des beaux-arts de Brest.«*Sa majesté le Pont tournant*» retrace l'histoire de l'édifice, de l'époque des bacs jusqu'à la destruction du pont. De nombreuses photographies et archives ont été présentées au public dans le but de faire connaître l'histoire du pont, mais dans un même temps de valoriser ce patrimoine aujourd'hui disparu. Pascal Aumasson, conservateur en chef du musée des beaux-arts précise également :

> *« Le projet de cette exposition est parti de deux envies. D'abord faire écho à la construction actuelle du téléphérique pour mettre en valeur la résonance qui existe entre le passé et le contemporain. Et puis proposer une offre au caractère maritime pour accompagner Brest 2016*[114]*».*

C'est à la suite de cette exposition que les élèves de l'école primaire du Petit-Paris ont commencé à travailler sur le sujet du pont tournant de Brest (Voir chapitre 12).

6.10 Premières conclusions

Les indicateurs relatifs à la mobilité sont de deux types : des engins de levage ainsi qu'un pont tournant. Le choix de ces indicateurs s'explique par le fait que les engins de levage sont des systèmes techniques génériques dans les paysages portuaires, qu'ils s'agisse de ports de commerce ou de ports militaires. Les engins de levage sont également fortement liés à la construction navale et reflètent donc le développement de cette activité, qu'il s'agisse de l'évolution des techniques et des technologies ou de l'activité humaine à proprement parler. Le pont tournant, est quant à lui un système technique propre à l'arsenal de Brest. Il existait également de petits ponts tournants à Venise mais ceux-ci étaient de bien moindre mesure. Fortement lié également à l'activité de l'arsenal de Brest, son étude était également pertinente.

Les indicateurs retenus pour cette étude entre l'arsenal de Brest et de Venise ont pour objectif d'être de même type afin de pouvoir bâtir une histoire comparée et de permettre une périodisation. C'est le cas par exemple avec les grues à mâter de Brest ainsi que la Torre Porta Nuova de Venise qui nécessitent toutes deux l'énergie humaine, ou encore les deux grues hydrauliques qui présentent de fortes analogies du point de vue du système techniques et des procédures impliquées. Une synthèse complète des indicateurs sera faite dans le chapitre 8.

Nous allons à présent nous intéresser aux unités de production industrielle qui sont le deuxième type d'indicateurs sélectionnés pour cette étude.

114. *«Brest : l'impérial pont tournant»*, article actu.fr, 27 avril 2016.

Références chapitre 6

ABÉGUILÉ-PETIT Catherine (2002), « Marine et industrie en Bretagne: l'arsenal de Brest et les établissements sous-traitants aux XVIIIème et XIXème siècles », thèse de doct., Rennes 2.

AGOSTINO Cortese (2007), « La corderia Inio : storia di una secolare tradizione veneziana », *Laguna Mare*, t. N°36, p. 26–29.

ANDRÉ Bernard (2006), « Entre "réaffectation économique" et sens des lieux : retour sur des expériences passées et en cours », in, *Les friches industrielles, point d'ancrage de la modernité*, Histoire, mémoire et patrimoine, Lavauzelle.

ANGOT Céline (2013), « Gestes accomplis et paroles ouvrières: approche anthropologique du travail au plateau des Capucins à l'arsenal de Brest: culture ouvrière et savoir-faire entre mutations et patrimonialisation », thèse de doct., Brest.

ARMSTRONG William George (1859), « De l'emploi de l'eau comme moteur pour la manoeuvre des grues et autres appareils de ce genre destinés au chargement et au déchargement des fardeaux par M.William George Armstrong », *Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, t. Tome 6.

ARTI Venezia (2016), « A Rusty Issue; or, the Strange Case of a Victorian Crane in Venice », *Venezia Arti*, p. 81.

BALLETTI Caterina, CALZAVARA Mauro, GUERRA Francesco et MAZZANTI Massimo (2013), « Walking through historical maps of Venice », *e-Perimetron*, t. 8, n^o 4, p. 200–208.

BALLETTI Caterina et FERRIGHI Alessandra (2013), « ARSENALE, Another story, a new case study », *Giornale IUAV*, n^o 123, p. 10–12.

BALLETTI Caterina et GUERRA Francesco (2016), « Historical Maps for 3D Digital City's History », *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, t. 51, n^o 3, p. 115–126.

BELLAVITIS Giorgio (1983), *Arsenale di Venezia: storia di una grande struttura urbana*, Marsilio.

BETTIOL Giulia et al. (2010), « Preliminary Studies for the Recovering of the Armstrong, Mitchell & Co. Hydraulic Crane of the Arsenal of Venice », in *Advanced Materials Research*, t. 133, Trans Tech Publ, p. 519–524.

BLOCH-SÉE Lise (1935), *Le groupe des industries de l'acétylène et de la soudure autogène: ses organismes centraux*, Institute de Soudure Autogène.

BORGNIS J-A (1818), *Traité complet de mécanique appliquée aux arts: Des machines employées dans les constructions diverses. 1818*, t. 3, Bachelier.

CAMBRY Jacques (1835), *Voyage dans le Finistère, ou, Etat de ce département en 1794 et 1795*, Come.

CAMPAIGNAC Antoine (1834), *Atlas du Génie Maritime par les officiers de ce corps.*

CASONI Giovanni (1829), *Guida per l'Arsenale di Venezia*, Giuseppe Antonelli.

CELETTI David (2003), « La canapa nell'economia veneta del cinque-seicento », thèse de doct., Université de Vérone.

COAT P (2005), *L'arsenal de Brest*, Editions Sutton.

CONCINA Ennio (1991), « La casa dell'arsenale », *Storia di Venezia. Il mare, a cura di A. TENENTI, U. TUCCI, voi. XII, Roma*.

COUDURIER Marcel (1935), « ouverture du grand pont », *La Dépêche de Brest*, t. 49.

CROS Bernard (1984), *Les Formes de Pontaniou dans l'arsenal de Brest 1683-1904*.

— (2015), « Les corderies de la Marine Française aux XVIIe et XVIIIe siècles », *Neptunia*, t. 278, p. 35–44.

CROS Bernard, LITTOUX Jacques et RONOT Jacques (2005), *Brest face à la mer: trois siècles de marine et d'arsenal*, Éd." Le Télégramme.

DE PROXY Daniel (1857), *Brest*, F. Alléguen.

DELOURMEL Louis (1923), *Histoire anecdotique de Brest: à travers les rues*, Editions de Bretagne.

DOYÈRE Ch (1895), *Notions élémentaires de mécanique du navire*, t. 2, A. Challamel.

DU MONCEAU Duhamel (1769), *Traité de la fabrique des manoeuvres pour les vaisseaux: ou, L'art de la corderie perfectionné*, chez Desaint.

DUVAL Marcellin (1953), *Mémoire sur le choléra-morbus asiatique : description du bagne de Brest : relation d'une épidémie de choléra*, impr. de E. Anner (Brest).

EMPORIO-PITTORESCO (1869), « Ponte levatoio di Brest », *L'emporio pittoresco e l'illustrazione universale giornale illustrato*, t. X, p. 358–359.

ERRERA A et ZANON G (1872), *L'industria navale e le sue industrie attinenti alla esposizione marittima di Napoli del 1871*.

EYMIN E (1865), *Les Ports militaires de la France: Brest*, t. 1, Challamel ainé Arth.Bertrand.

EYROLLES Léon (1911), *Exposition internationale des industries et du travail de Turin 1911: groupe VI, classe 35,36,37 ; Travaux publics; République française; ministère du commerce et de l'industrie*, Comité français des expositions à l'étranger.

FRASCA Francesco (2012), *Il potere marittimo in età moderna. Da Lepanto a Trafalgar*, Lulu. com.

GASNIER Marina (2006), « Une approche territoriale des friches industrielles », in, *Les friches industrielles, point d'ancrage de la modernité*, Histoire, mémoire et patrimoine, Lavauzelle, p. 125–130.

GÉNIE-CIVIL (1885), « Grues hydrauliques mobiles », *Le Génie civil : revue générale des industries françaises et étrangéres*, p. 363–364.

GRANIER H (1992), « Le lieutenant de vaisseau Charles Gervaise et l'ingénieur du Génie Maritime Victor Gervaise », *Le monde de Dinan*, t. XII.

GRÉHAN Amédée (1855), *La France maritime*, Dutertre.

HATOT Thierry (1999), *Bâtisseurs au Moyen âge*, t. 2, L'Instant durable.

HAUSER A (1886), *Cours de construction navale professé à l'École d'application du génie maritime*, Imprimerie E. Bernard et Cie, Paris.

HERSENT H (1895), *Exposition internationale universelle d'Amsterdam*, Impr.de Chaix,Paris.

HOCQUET Jean-Claude (2011), « L'arsenal de Venise. Créations, modernisations, survie d'une grande structure industrielle », *Dix-septieme siecle*, n° 4, p. 627–638.

LANE Frederic Chapin (1932), *The rope factory and hemp trade of Venice in the fifteenth and sixteenth centuries*.

LAUBÉ et SIRE Stéphane (2007), « Histoires autour de la maquette du pont tournant de Brest », *Neptunia*, t. 247, p. 48–53.

LEMOINE Bertrand (1983), *Le grand Oeuvre. Photographies des grands travaux, 1860-1900*.

LEPELLETIER Almire (1853), *Voyage en Bretagne, illustré de vues prises sur les lieux : avec un résumé des fastes de cette province, une histoire générale des bagnes et l'iconographie des principaux types de forçats étudiés à la chiourme de Brest*, Plon freres (Paris).

LEVOT Prosper Jean (1864), *Histoire de la ville et du port de Brest*, t. 1, Selbstverl.

MARINI N (1876), « La fabbrica di Sir William Armstrong », *Rivista Marittima*, t. 1.

MARTINI Felice (1877), *Progetti e lavori pel riordinamento ed ingrandimento dell'Arsenale marittimo di Venezia*, Stabilimento tipografico di G. Antonelli.

MÉMAIN René (1937), *La marine de guerre sous Louis XIV: Le Matériel. Rochefort, arsenal modèle de Colbert*, Hachette.

LA-NATURE (1893), « La grue de 160 tonnes de Toulon », *La Nature*, t. 21, p. 197–198.

NAVIGAZETTE (1906), « Chroniques Marine Militaire », *Navigazette*, p. 4–5.

NOTICE-EXPOSITION-UNIVERSELLE (1862), *Notices sur les modéles, cartes et dessins relatifs aux travaux publics, réunis par les soins du ministére de l'agriculture, du commerce et des travaux publics / Empire français ; Exposition universelle à Londres en 1862*, E. Thunot et Cie (Paris).

OPPERMAN CA (1867), *Visites d'un ingénieur à l'exposition universelle de 1867, notes et croquis, chiffres et faits utiles*, t. 2, J. Baudry.

OZANAM Jacques (1691), *Dictionnaire mathématique ou idée générale des mathématiques. Dans lequel l'on trouve outre les termes de cette science, plusieurs termes des arts et des autres sciences*, Michallet.

PETER Jean (1998), *Le port et l'arsenal de Brest sous Louis XIV*, Economica.

PRADÈRE Onésime (1889), *Brest: son château, son port, sa rade et ses environs; guide du touriste*, Dumont.

RIVISTA Marittima (1878), « Sistemazione dell'alberatura », t. 2.

RIVISTA-MARITTIMA (1876), « La grua da 160 tonnellate », *Rivista Marittima*, t. 2.

ROHOU Bruno (2018), « Modélisation des ports de Brest (France), Rosario et Mar del Plata (Argentine) en tant que macro systèmes technologiques complexes: application à la modélisation des connaissances pour l'histoire des sciences et des techniques », thèse de doct.

SEIGNOBOS Charles (1909), *La méthode historique appliquée aux sciences sociales*, t. 12, F.Alcan.

VENTRICE Pasquale (non daté), « Arsenale museo d'arte e di sperimentazione tecnico-scientifica: conservare con l'inserimento di nuove tracce ».

Chapitre 7

Application du modèle HST-ARSENAL à l'étude comparative des arsenaux : Les unités de production industrielle

7.1 Introduction

Après s'être intéressés aux indicateurs liés à la mobilité nous allons à présent nous pencher sur l'étude des unités de production industrielle. Pour cette étude des arsenaux de Brest et Venise, deux types d'unités de production ont été retenues : les corderies ainsi que les forges.

7.2 Les corderies de Brest

La fabrication des cordages en chanvre a longtemps été une activité essentielle dans les ports pour les besoins de la marine. Sous l'impulsion de Colbert, les arsenaux de la Marine ont édifié de monumentales corderies afin d'abriter les opérations de préparation des cordes ainsi que des entrepôts pour conserver le chanvre ainsi que les cordages finis. De nombreux arsenaux français s'équipent de ce genre d'unités de production industrielle : Brest, Rochefort ou encore Toulon.

Étape 1 : Émergence d'un besoin, sa traduction en problèmes technologiques, la solution choisie

Sous le règne de Louis 14 l'aménagement des arsenaux se fait en deux vagues. Dans un premier temps les installations sont relativement modestes. La deuxième vague d'aménagement des arsenaux commence à partir de 1678.

Vauban est commissaire général des fortifications en janvier 1678. Il intervient sur différents chantiers d'arsenaux, notamment à Dunkerque et à Toulon. Pour augmenter le côté fonctionnel, il préconise que tous les bâtiments soient proches les uns des autres. Au niveau de la structure, il généralise l'emploi des voûtes qui permettent d'améliorer la résistance de la structure dans le but de limiter les risques d'incendie.

A partir de 1686, l'arsenal de Brest se dote d'une première corderie. A cette époque-là les rives de la Penfeld sont particulièrement accidentées, on procède alors à de grands travaux d'aplanissement des rives et des opérations de déroctage (CROS 2015). Ces travaux durent environ vingt ans. La première corderie de Brest que l'on appelle également «la vieille corderie» est terminée aux abords de l'anse de Troulan à partir de 1686 (Voir figures 7.1 et 7.2).

L'activité de l'arsenal de Brest étant en expansion, il est décidé de construire une seconde corderie car la corderie actuelle est jugée basse, mal éclairée, trop étroite et ne correspond en rien à un arsenal moderne (PETER 1998).

Étape 2 : De la solution choisie à sa concrétisation

Au l'origine, l'ingénieur du Seuil souhaite utiliser l'emplacement de la vieille corderie afin de bâtir le nouvel édifice mais Vauban est contre et propose un espace vide le long du port au niveau de la montagne de Kéravel. Selon lui, l'emplacement de la première corderie est trop éloigné du port ce qui rend difficile le transport des marchandises. De plus, certaines archives indiquent que l'emplacement n'était pas adapté pour des installations de ce type :*«La vieille corderie qui est dans la ville est bornée d'un costé par les maisons de la grande rue qui y sont attachées, et dont les propriétaires et locataires ont usurpé depuis*

1. *«Plan de Brest 1691»* (Pour copie conforme au plan déposé dans les archives de la direction des travaux hydrauliques et bâtiments civils), 22 novembre 1830, Archives départementales du Finistère Quimper, 1 Q 1557.

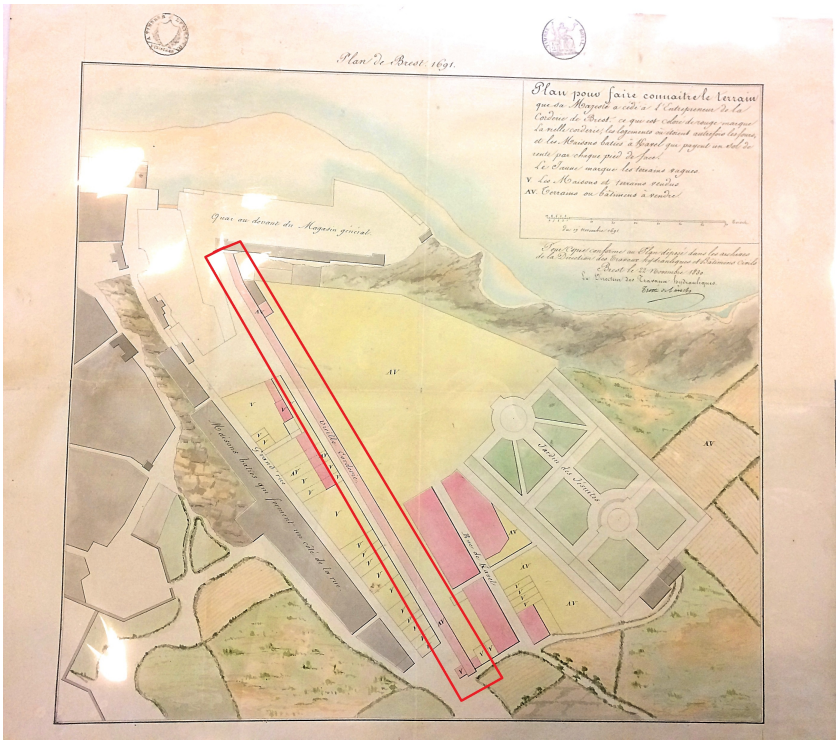


FIGURE 7.1 – Emplacement de la vieille corderie [1]

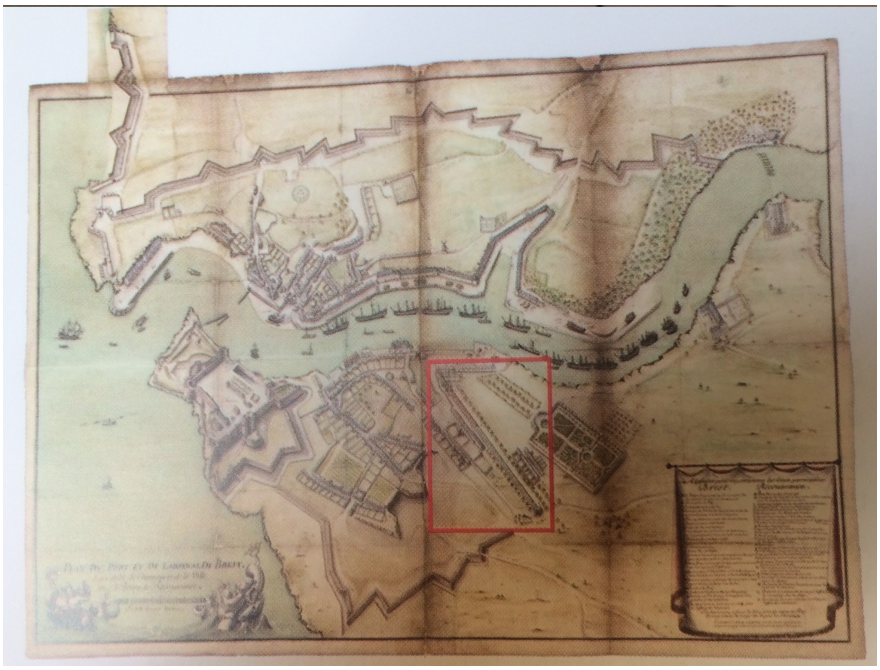


FIGURE 7.2 – Localisation de la première corderie de l'arsenal de Brest (CROS 2015)

longtemps un espace de quinze pieds de large qu'il doit y avoir entre les maisons et la corderie[2]» Le projet est adopté et la construction de la nouvelle corderie aura donc lieu le long de la Penfeld qui selon Desclouzeaux est *«l'endroit le plus affreux du port»* (PETER 1998). Vauban se charge de la conception du bâtiment et cette nouvelle corderie s'avère être la jumelle de celle qu'il a conçue à Toulon. Celle-ci est particulièrement sobre et dépourvue d'inspiration militaire. Vauban accorde une attention toute particulière au choix des matériaux qui selon lui doivent être de grande qualité. Il privilégie également des matières premières de la région afin de diminuer les coûts de construction :

> *«Les parties nobles seront en pierres de taille de Plouarzel, le surplus des murs en moellons tirés de la montagne. L'emplacement nécessaire à la construction de la corderie sera excavé et déblayé. Le dedans du fronton du milieu sera rempli de pierres de Caen pour faire les armes du roi, accompagnées de captifs à côté et de trophées de bas-relief, comme il était d'usage depuis la guerre contre la Hollande. La charpente et le plancher seront de bois de chêne comme les trois portes d'entrée et les trois escaliers, la menuiserie, de planches épaisses, la couverture, de bonnes ardoises d'Angers fines et sans tâches. Les croisées du côté du port seront distantes de sept pieds les unes des autres et celles du côté de la montagne de 18 seulement. Celles du rez-de-chaussée auront huit pieds et demi de haut, celle du 1er étage cinq et demi. Toutes auront quatre pieds de large. L'encadrement des fenêtres, des portes et des croisées, tant extérieures qu'intérieures, sera recouvert de deux couches de peinture jaunes à l'huile*[3]»

La corderie sert en premier lieu de bagne provisoire et accueille en mai 1749 les premiers bagnards Galériens en provenance de Marseille. Quelques années plus tard, en 1752, les 2000 bagnards évacuent les lieux afin de rejoindre le bagne situé juste à côté et conçu par Choquet de Lindu (DUVAL 1953).

La vieille corderie subit un incendie le 30 janvier 1744 à la suite d'une imprudence. En effet, la cheminée du bureau des contrôleurs de la marine prend feu à cause d'un gardien qui avait déjà provoqué ce type d'accident par le passé. La vieille corderie étant hors d'usage il est décidé de construire un nouvel édifice au-dessus de la corderie située sur les bords de la Penfeld. Afin de distinguer les deux bâtiments ont les qualifie alors de «corderie haute» et «corderie basse» (Voir figure 7.3). La dernière corderie ou corderie haute est achevée en 1747. Choquet de Lindu, l'un des architectes les plus prolifiques de l'arsenal de Brest se charge de la conception de la corderie haute. Les deux unités de production industrielle sont relativement semblables du point de vue architectural. Étant également très proches, elles peuvent facilement communiquer entre elles : «*Cette corderie [corderie basse] est le long de ce quai. Elle a deux pavillons à ses extrémités où il y a un escalier ; et au milieu un autre pavillon où il y a un escalier qui est sur le derrière et qui communique à la corderie haute*[4]».

La corderie haute présente quelques différences avec la corderie basse : *«Cette corderie haute à 200 toises et dépasse la corderie basse, à chaque extrémité de 10 toises.»*[6] Les

2. *«Mémoire des établissements qu'il conviendrait de faire dans la ville et port de Brest pour la gloire de dieu et le service du Roy»*, 1726, Archives Nationales Paris, AN MAR D 2 23.

3. *Dépenses faites ou à faire pour les ouvrages du port de Brest (1669-1675).* Archives Nationales de Paris, MAR D2 24 (F° 76 à 83).

4. Choquet de Lindu, *«Description du port et Arcenal de Marine de Brest en tout ce qu'il peuvent contenir»* 8 novembre 1761, Archives Nationales, Paris, AN MAR D 2 23.

5. *«Projet pour bâtir une corderie au-dessous de l'hôpital de la marine»* (détail), 1744, Service historique de la défense, Vincennes, DD2 691 49 A.

6. Choquet de Lindu, *«Description du port et Arcenal de Marine de Brest en tout ce qu'il peuvent contenir»* 8 novembre 1761, Archives Nationale, Paris, AN MAR D 2 23.

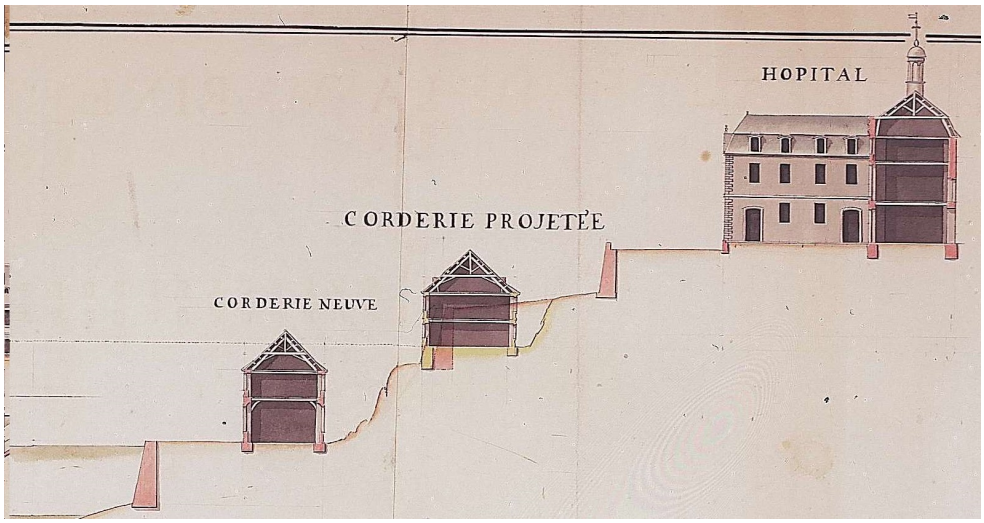


FIGURE 7.3 – Emplacement des deux corderies de l'arsenal de Brest [5]

corderies sont entourées de bâtiments nécessaires pour le bon déroulement de l'activité : des magasins ou «hangars» pour les fils et pour le goudronnage, ainsi qu'une maison de gardien [7]. Selon (LEPELLETIER 1853), la corderie de Brest serait la plus belle d'Europe (Voir figure 7.4).

Étape 3 : Les usages

Grande consommatrice de cordages, la Marine accorde une très grande importance à leur qualité qui assure la sécurité des vaisseaux. La marine a donc toujours construit des corderies dans ses arsenaux de façon à assurer la fabrication par ses propres moyens. Étant la matière première, le chanvre tient une place essentielle dans la construction et le fonctionnement des vaisseaux à voiles c'est pour cela que Mémain déclare : *«Si les bois est le corps du bateau, le chanvre en est l'âme»* (MÉMAIN 1937)». La Bretagne est une région productrice de chanvre : celui-ci est de qualité dans le Trégor, plus médiocre dans le Vannetais et le bassin d'Hennebont. Il arrive parfois que Brest s'approvisionne dans d'autres régions comme dans le Berry, en Champagne, ou en Auvergne. D'après l'ouvrage «l'art de la corderie perfectionné», le chanvre de Tréguier est difficile à travailler et celui de Lannion est le meilleur chanvre de toute la Bretagne. Il est de bonne qualité et propre à faire toutes sortes de manœuvres mais il est tout de même trop grossier pour être converti en fil à voiles.

Duhamel du Monceau est l'un des premiers à s'intéresser aux principes de la fabrication des cordages avec son *«Traité de la fabrique des manoeuvres pour les vaisseaux, ou l'Art de la corderie perfectionné»* (DU MONCEAU 1769). D'après lui, toutes les corderies ont leurs propres façons de procéder : *«La première chose qui m'étonna, fut de voir que chaque corderie suivoit des usages particuliers auxquels elle applaudissoit, condamnant les pratiques des autres corderies»*. Ces usages particuliers concernent le savoir-faire des ouvriers ou les machines utilisées.

7. Choquet de Lindu, *«Description du port et Arcenal de Marine de Brest en tout ce qu'il peuvent contenir»* 8 novembre 1761, Archives Nationale, Paris, AN MAR D 2 23.
8. Arsenal de Brest en Penfeld (Inconnu), Archives municipales de Brest, côte 2Fi14949.

FIGURE 7.4 – Les corderies, l'hôpital maritime et l'ancien bagne [8]

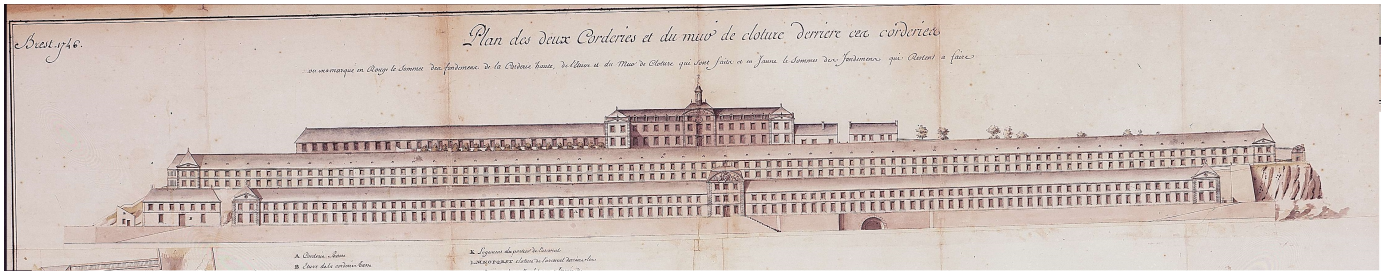


FIGURE 7.5 – Les corderies de l'arsenal de Brest (détail) [9]

Dans le *«Traité de la fabrique des manoeuvres pour les vaisseaux, ou l'Art de la corderie perfectionné»* de (DU MONCEAU 1769) ainsi que dans *«corderie cordages chanvre fils métalliques»* de (ALHEILIG 1893), les différentes étapes nécessaires pour à la fabrication de cordes sont expliquées :

- Le chanvre, qui représente la matière première est extrêmement important car sa qualité va assurer la sécurité des bâtiments de la Marine. Ce sont les producteurs qui s'occupent de préparer le chanvre avant la livraison dans les corderies. Après la récolte il séparent la chenevotte [10] de la filasse. On procède alors au rouissage qui correspond au trempage et à la macération du chanvre dans de l'eau. Cette étape permet d'attendrir et d'assainir les fibres. Selon (ALHEILIG 1893), cette étape est différentes suivant les corderies. En effet, le rouissage peut-être fait directement sur les prés, à l'eau alcaline ou encore à la vapeur. Le chanvre est ensuite séché, soit à l'air libre, soit dans des fours que l'on appelle hâloirs.
- Une fois livré dans les corderies le chanvre est préparé afin de confectionner les cordages. Dans certaines corderies du roi on espade le chanvre, c'est-à-dire qu'on le frappe avec un grand couteau dans le but de le séparer de ses déchets.

9. *«Plan des deux corderies et du mûr de clôture derrière ces corderies»* (détail), 1746,Service historique de la défense, Vincennes, DD2 691 50.
10. La chenevotte est la partie rigide présente dans la tige de la plante.

FIGURE 7.6 – L'étape du peignage dans la Corderie de Karlskrona [11]

- Vient ensuite l'étape du peignage (Voir figure 7.6) qui est essentielle afin de démêler et d'affiner le chanvre. Les peignes sont généralement des tiges en aciers coniques et très fines.
- L'étape du filage consiste avant tout à réunir les fils afin de confectionner des fils de caret qui sont la base de la corde. Cette étape peut-être faite au moyen de rouets qui est une roue actionnée par une manivelle ou une pédale afin de former du fil. Il existe également des fileuses bien plus modernes et mécaniques qui travaillent bien plus vite. Il y a divers modèles de fileuses mécaniques qui ne diffèrent que par quelques détails. Le but est de tordre le fil, de lui donner en même temps une certaine tension qui maintient les fibres ensemble.
- Avant d'être transformé en cordes, le fils de caret doit passer l'étape du goudronnage de le protéger de l'humidité. Il est enroulé sur des tambours et trempé dans des bains de goudron.
- Une fois goudronné le fil de caret est enroulé en bobines
- Le commétage consiste à tordre les fils de caret entre eux. Plus la corde est grosse, plus le nombre de fils à tordre est important. Avant de tordre les fils entre eux, il est nécessaire de passer le chanvre dans une machine appelée «étaleuse» qui est composée de rouleaux métalliques. Ces rouleaux vont permettre d'obtenir des rubans de chanvre homogènes. Vient ensuite l'étape de «l'étireuse» qui est très semblable à l'étaleuse mais qui va permettre d'étirer et de régulariser davantage la fibre. La machine principale pour cette étape est un chariot mobile sur lequel on accroche plusieurs fils qui vont se tordre les uns aux autres au fur et à mesure. Pour fabriquer une corde il est nécessaire de fabriquer des torons qui sont plus épais. Le toron est confectionné de la même manière que le fil de caret, de même que l'aussière qui est encore plus épaisse. L'intérêt est toujours de veiller à tordre les cordes entre elles.

L'évolution de la marine a considérablement bouleversé la façon de travailler ainsi que l'outillage utilisé au sein de l'arsenal. Les corderies n'ont pas échappé à cette révo-

11. Photographie personnelle, Octobre 2017.

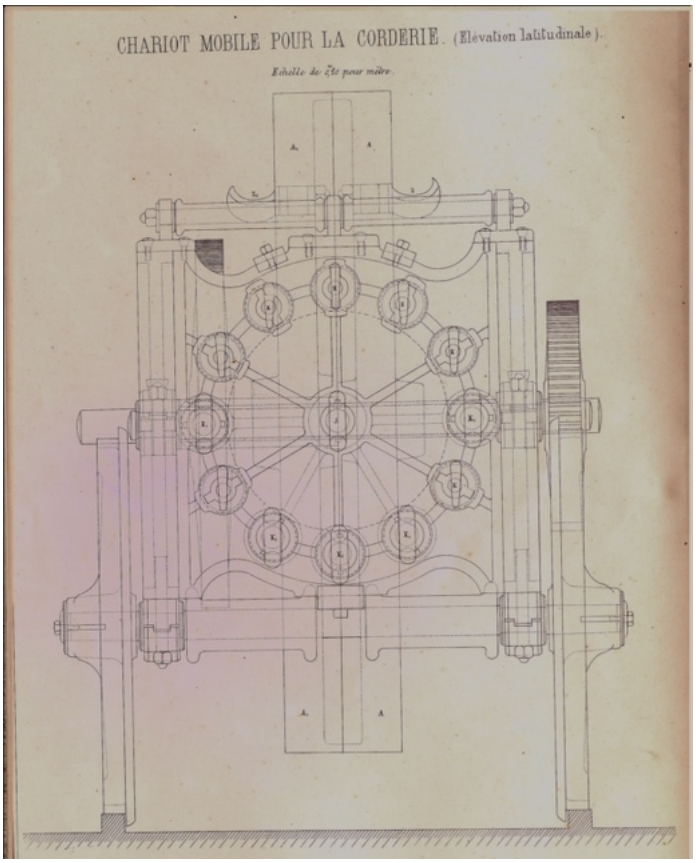


FIGURE 7.7 – Plan du chariot mobile de la corderie de Brest (CHEDEVILLE 1852a)

lution et on constate une mécanisation de l'outillage à partir de 1830 (ABÉGUILÉ-PETIT 2002) afin d'augmenter leur efficacité. Les machines des corderies de Brest sont relativement modernes pour l'époque comme celles conçues par M.Hubert. En 1852 une dépêche ministérielle commande un rapport sur les différents procédés mécaniques utilisés à la corderie de Brest, depuis la mise en place d'une machine à vapeur, comme énergie principale. Cette machine à vapeur est située dans l'étage de la corderie (LEPELLETIER 1853). L'usage de ce type d'énergie faciliterait le travail des ouvriers de la corderie. En effet, d'après (LEPELLETIER 1853) *«Deux hommes font un travail auquel vingt-cinq ou trente pourrait à peine suffire, pour des procédés ordinaires.»* Pour en être bien sûr, Chédeville produit un rapport sur les corderies de Brest, accompagné des plans des machines utilisées (Voir figure 7.7).

Ce rapport relate les différentes transformations que l'on fait subir au chanvre, les machines qui ont été substituées au travail manuel, ainsi que les avantages que ces transformations représentent en termes de rapidité, d'économie, et de régularité. Les machines sont conçues trente ans auparavant par M.Hubert sont pour la plupart conservées mais quelque peu modifiées en raison de l'introduction d'un moteur mécanique. Chédeville précise tout de même à ce sujet : *«Les règles posées [...] par M.Hubert étant consacrés par plus de trente ans d'expérience on les a tenues pour obligatoires.»* (CHEDEVILLE 1852b). La corderie de Brest s'équipe d'un matériel particulièrement moderne et coûteux pour assurer la qualité de ses cordages :

> *«Le 30 mai 1844, un marché fut passé à Londres avec M.Charles de Bergues pour une fourniture d'essai de métiers à filer.Cette fourniture comprenait :Une machine à étaler et à étirer à 2 rubans; Une machine à doubler et à étirer à un seul ruban; Deux machines à doubler et à étirer à 4 rubans; 4 métiers à filer à*

> *6 broches chaque. Cet outillage d'essai, y compris les accessoires, fut livré dans le courant de février 1845, au prix de 30,000 francs mais il ne put fonctionner avec régularité que vers le mois de mai 1847, époque à laquelle les travaux de montage de la machine à vapeur furent terminés*» (CHEDEVILLE 1852b).

Les corderies sont également équipées d'une petite machine particulièrement ingénieuse conçue par M.Reech, ingénieur de la Marine et directeur de l'école d'application du génie maritime à Paris (LEVOT 1864). Cette machine sert à fabriquer les drisses sous forme de tresses, et a la particularité d'imiter le mouvement d'une main d'homme qui tresserait la corde (PRADÈRE 1889). L'intérêt de cette modernisation est d'augmenter la vitesse de production et donc les rendements. Dans son rapport Chédeville explique le fonctionnement des différentes machines présentes dans les différentes étapes de production et fait un état des lieux des avantages et inconvénients d'une mécanisation. Selon lui, des machines mécaniques pour le peignage sont créées à la même époque en Angleterre mais les résultats sont bien meilleurs avec un peignage à la main : *«Un atelier de peignage à la main doit être considéré dans les ports militaires comme une annexe indispensable d'un atelier de filage mécanique*» (CHEDEVILLE 1852b). L'unité de production industrielle est partagée entre l'introduction d'une énergie mécanique sur certains postes et le maintien d'une énergie manuelle pour certaines tâches. Par exemple, lors de la rédaction de ce rapport, l'étape du goudronnage n'est pas encore mécanique mais un ingénieur travaillait sur plusieurs propositions, et le filage s'opérait toujours avec l'aide de machines manuelles par *« crainte de faire une dépense inutile pour des appareils dont la suppression paraissait très prochaine*» (CHEDEVILLE 1852b). Ce rapport était basé sur de nombreux tests effectués sur les différents postes des corderies afin d'évaluer les vitesses des machines et le rendu sur les cordages. Il est indiqué que certaines installations de plus petites envergures sont mises en place pour des phases de test comme la mise en place d'un second chantier de tirage et de commettage en juin 1847. Ces chantiers permettaient la mise en place de chantiers de plus grande envergure si les résultats sont satisfaisants.

Les résultats de ce rapport montrent que l'introduction d'un moteur mécanique dans la corderie de Brest permettait de réduire au maximum les temps d'arrêt de production généralement causés par des ruptures de fils et d'augmenter les rendements : auparavant la corderie bobinait 200 kilos de fil par jour et par hommes contre 500 kilos l'année de la rédaction de ce rapport. D'un point de vue économique, l'introduction d'un moteur mécanique à la corderie de Brest permettrait d'économiser 125.500 francs. Chedeville exprima donc son enthousiasme concernant l'introduction des moteurs mécaniques dans l'unité de production afin d'augmenter la production et les recettes annuelles. Ce constat a également été effectif dans d'autres arsenaux du pays :

> *«Les corderies de Brest et de Rochefort furent les premières à mettre en pratique les nouvelles méthodes qui bientôt se propagèrent dans tous nos ports et dans ceux d'outre-Manche. Grâce aux machines à vapeur dont ces établissements sont maintenant munis, aux appareils spéciaux qu'on y a disposés, quelques ouvriers suffisent pour satisfaire à toutes les exigences; la moins importante de nos corderies prépare en quelques semaines tout le gréement d'un vaisseau, tandis qu'autrefois la corderie de Toulon demandait des mois pour arriver au même résultat* (EYMIN 1865)».

Avec l'arrivée des machines à vapeur seule la corderie haute est conservée avec un personnel d'environ 250 ouvriers, employés pour la préparation du chanvre et à sa transformation (LEVOT 1864).

Les corderies sont des usines où le travail s'effectue selon une organisation rationa-

lisée et centrée sur le produit à manufacturer. Le 3 juillet 1692, 497 ouvriers travaillent dans les corderies de Brest. Cela comprend 156 fileurs, 116 cordageurs et 21 peigneurs. Quelques années plus tard, en 1695, de nouveaux ouvriers arrivent de Saint-Malo, Nantes et des environs de Brest (PETER 1998). Ces ouvriers sont parfois assistés par des enfants qui occupent des postes de manutention (CROS, LITTOUX et RONOT 2005). Le travail des ouvriers des corderies est particulièrement difficile et éprouvant en raison de l'environnement de travail qui est particulièrement poussiéreux et qui favorise le développement de maladies (Voir figure 7.8). De plus, chaque poste est continuellement inspecté par des ouvriers surveillants afin de s'assurer des bonnes conditions de la production.

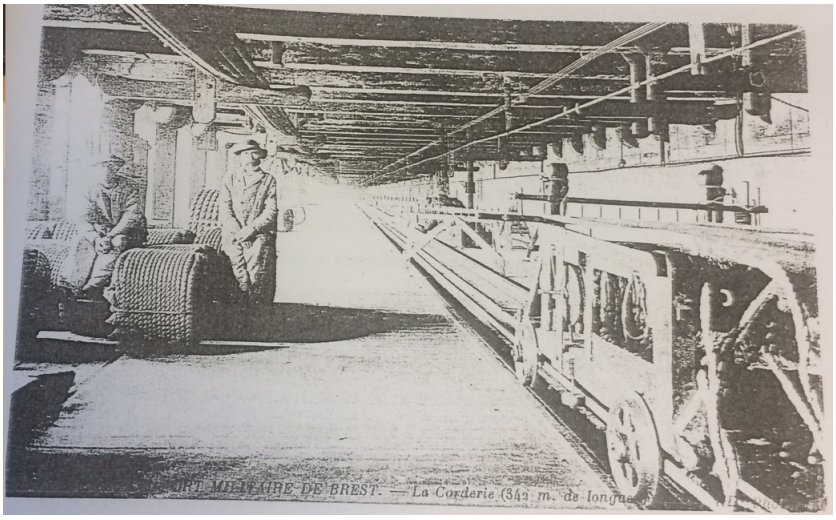


FIGURE 7.8 – Des ouvriers à l'intérieur de la corderie de Brest (ABÉGUILÉ-PETIT 2002)

Étape 4 : Fin d'activité industrielle

La révolution industrielle a véritablement bouleversé l'activité de construction navale au sein des arsenaux. L'industrialisation a entraîné le déclin d'un bon nombre de corderies en France. A partir de 1834, la Marine expérience le câble de fer dont la résistance mécanique est bien plus importante que celle du chanvre : 52kg/mm2 pour le fil de fer contre seulement 7kg/mm2 pour le chanvre. Les corderies de Brest vont tout de même faire figure de rescapée dans le domaine de la production de cordes. En effet, en 1880 seul l'arsenal de Brest continue de confectionner du cordage pour l'ensemble de la Marine française. La corderie basse ne sert au 19e siècle que de magasin de chanvre et non plus d'usine (ABÉGUILÉ-PETIT 2002). Toutefois, l'adoption du câble métallique pour la marine ainsi que l'arrivée de la mécanisation du processus de fabrication des cordes entraînent une baisse radicale de la main-d'oeuvre dans les corderies : on passe de 1000 à 1200 ouvriers (LEVOT 1864) au début du 19e siècle à 350 environ en 1865 (ABÉGUILÉ-PETIT 2002).

Les bâtiments des corderies n'ont pas échappé aux bombardements de 1944 durant le siège de Brest. Bon nombre de corderies françaises ont également connu un destin tragique. la corderie de Dunkerque est ravagée par un incendie en 1868 et disparu complètement du paysage portuaire. Pour exemple, la corderie de Toulon perd sa toiture ainsi que ses combles dans un incendie en 1873. L'ensemble est tout de même reconstruit en employant de nouvelles techniques comme des colonnes en fonte ou une charpente métallique. Les seuls bâtiments existants sont aujourd'hui sont ceux de Rochefort et de Toulon. La destruction des corderies de Brest, au même titre que les autres édifices ont particulièrement affecté les Brestois qui se désolent de voir ce patrimoine disparaître :

> *«Nous nous sommes arrêté hier à l'emplacement de l'ancienne corderie, orgueil du port de Brest, fut le 30 janvier 1744, détruite par un incendie, qui consuma en même temps le magasin général qui se trouvait à l'époque, à peu près à l'emplacement de la grue de 150 t, face aux cales de Pontaniou. Reconstruite en 1747 par Choquet de Lindu, elle occupa jusqu'à 1200 ouvriers avant l'introduction des câbles-chaînes dans la marine. Il est regrettable que, dans les plans de reconstruction de notre arsenal rien n'ait été prévu pour la rénovation de cette corderie sacrifiée au profit de l'industrie privée. A l'emplacement de l'ancienne corderie existe actuellement une baraque qui abrite l'atelier de gréement (voilerie et pavillonnerie).»* [12]

Étape 5 : La mise en patrimonialisation

Il ne reste aujourd'hui plus aucune trace des trois corderies de l'arsenal de Brest. Les archives, plans et sources iconographiques sont les seuls témoins de l'existence de cet édifice qui avait une place centrale au sein de l'arsenal. Mylène et Daniel Larvor, professeurs à la retraite travaillent depuis plusieurs années sur la création de modèles 3D d'édifices symboliques de l'arsenal Brestois qu'ils publient depuis 2008 sur la plateforme collaborative Wiki-Brest. Il se sont intéressés aux corderies de Brest qu'ils ont recréées numériquement à partir de sources iconographiques.

Seules deux corderies françaises ont résisté : Rochefort et Toulon, que l'on peut encore admirer de nos jours. La corderie de Rochefort est aujourd'hui devenue un musée retraçant l'histoire du lieu mais également du savoir-faire des corderies françaises. De la même manière, la corderie de Karlskrona en Suède qui possède encore la plupart de ses machines propose des visites de l'unité de production industrielle (Voir figure 7.6).

L'arsenal de Brest aura eu trois corderies : la vieille corderie, la corderie basse et la corderie haute. L'arsenal de Venise, bien plus ancien, est également doté de cette unité de production industrielle absolument indispensable pour la construction navale.

7.3 Les corderies de Venise

Étape 1 : Émergence d'un besoin, sa traduction en problèmes technologiques, la solution choisie

En 1302, la construction d'un bâtiment où concentrer la filature des cordes ainsi que leur stockage au sein de l'arsenal de Venise est décidée. Cette construction était englobée dans le grand renouvellement économique, culturel et organisationnel de l'arsenal entre le XIIIe et le XIVe siècle. Cela a conduit à la mise en place du premier noyau stable des chantiers navals d'état (CELETTI 2003). Le bâtiment de la «tana» est achevé au début des années vingt du XIVe siècle. A la même époque, un canal artificiel est construit relié à la lagune afin de faciliter le déchargement des marchandises ainsi que la livraison des produits finis (CELETTI 2003). La corderie nécessite des caractéristiques «physiques» et architecturales qui doivent prévoir un rez-de-chaussée pour la réalisation des cordages ainsi qu'un étage permettant de stocker la matière première en attente d'être transformée (CELETTI 2003). Le nouveau bâtiment construit en briques est prêt en 1303 . On l'appelle «caxa del canevo» ou «teza longa de la Tana» [13]. Vers 1440 une explosion au sein de l'en-

12. *De la défunte corderie – orgueil de notre port – aux bâtiments en fer, en passant par les cales du point-du jour et les ruines de l'ancien bagne,* Le Télégramme, 5 décembre 1946.

13. http://www.veneziamuseo.it

FIGURE 7.9 – Emplacement de la corderie de Venise dans l'arsenal [15]

trepôt des poudres aurait endommagé une partie de la Tana, de nombreux travaux sont alors mis en place.

D'après certaines sources, il est attesté de la nécessité d'un travail de réhabilitation de la corderie ou «tana» entre 1564 et 1565 lorsque Giovanni da Zon a proposé un projet reprenant les dimensions de la corderie médiévale qui prévoyait tout de même l'élévation du niveau du sol (CONCINA 1991). Le projet n'a jamais vu le jour et les plans préparatoires ont depuis été perdus. Finalement le projet de remplacer la corderie médiévale refait surface quelques années plus tard. La décision de construire un nouveau bâtiment remonte au 28 septembre 1570 mais le projet est verrouillé pendant quelque temps en raison de la guerre et de la peste qui prolifère. Le projet redémarre sous délibération sénatoriale le 12 mai 1578 avec la rédaction d'un cahier des charges (BELLAVITIS 1983). Antonio Da Ponte [14] l'architecte du pont du Rialto réalisé entre 1588 et 1591 est choisi pour s'occuper de concevoir cette seconde corderie de l'arsenal de Venise.

Étape 2 : De la solution choisie à sa concrétisation

Les travaux commencent en 1579 à l'emplacement de l'ancienne usine, en partant de l'extrémité est du bâtiment en direction de l'ouest, par lots de 20-25 pas (CONCINA 1991). Le projet de Da Ponte a connu de nombreuses modifications par rapport au projet annoncé : certains murs ont été relevés, on élimine la toiture avec les allées, on laisse le passage central libre en le recouvrant d'un revêtement de planches protégées par des balustrades des deux côtés. Les raisons invoquées pour justifier ces modifications étaient avant tout fonctionnelles, puisqu'on reprochait au premier projet de donner peu de lumière aux ouvriers et de ne pas tenir compte de la chaleur excessive de l'environnement de travail pendant la saison estivale (CONCINA 1991). Les travaux s'achèvèrent quatre ans

14. Antonio Da Ponte (1512-1597) est un ingénieur et architecte Suisse-Italien. Il est l'un des architectes les plus connus de la ville de Venise.

15. «*Pianta dell arsenale di Venezia*», Zendrini, Patroni e Provveditori 546, Archivio di Stato Venezia.

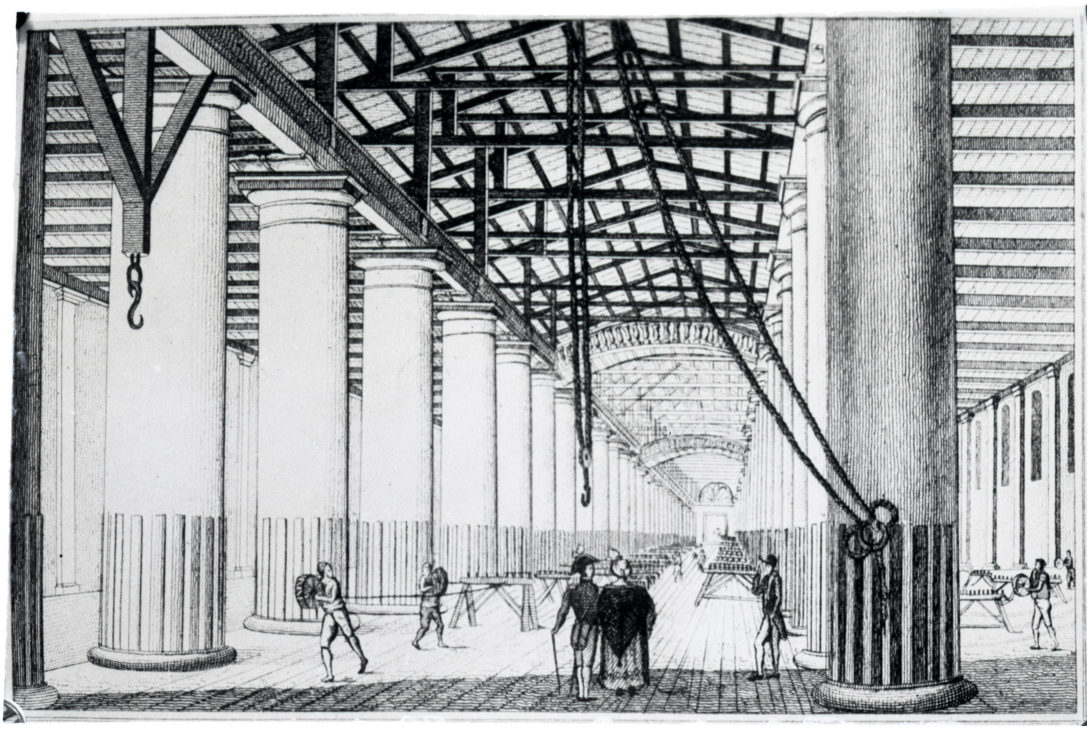


FIGURE 7.10 – Intérieur de la corderie [16]

plus tard en 1583 (Voir figure 7.10).

Étape 3 : Les usages

La construction de la seconde corderie a lieu entre 1579 et 1583 et l'ouvrage est plus imposant et plus commode que l'ancien (LANE 1932). Le bâtiment est plus grand, plus fonctionnel et plus sobre que le premier. Selon (BELLAVITIS 1983) il est *«solennel et presque roman»*.

La fabrique fait 316 mètres de long, avec des colonnes éloignées de 7 mètres l'une de l'autre ; la largeur est de 21 mètres divisée en trois nefs par deux rangées parallèles de 43 grandes colonnes en briques de chaque côté. La hauteur interne du bâtiment, y compris les mezzanines, est d'environ 9,70 mètres par rapport au sous-toit [17]. L'œuvre de Da Ponte est partagée entre la tradition et la modernité. Une attention toute particulière a été apportée à l'aménagement intérieur. Sa longueur particulièrement importante, permet une aération plus adéquate afin de faciliter le travail des ouvriers (BELLAVITIS 1983). Il décide également de croiser cette énorme longueur avec les mezzanines latérales afin de gagner de la place. La corderie est un bâtiment imposant qui occupe une zone relativement importante du sud-est de l'arsenal.

16. Lazzari, Antonio (1798-1834), «*Interno dell'Arsenale. La Tana*» Bibliothèque Nationale Marciana, GEO0001922.

17. http://www.veneziamuseo.it

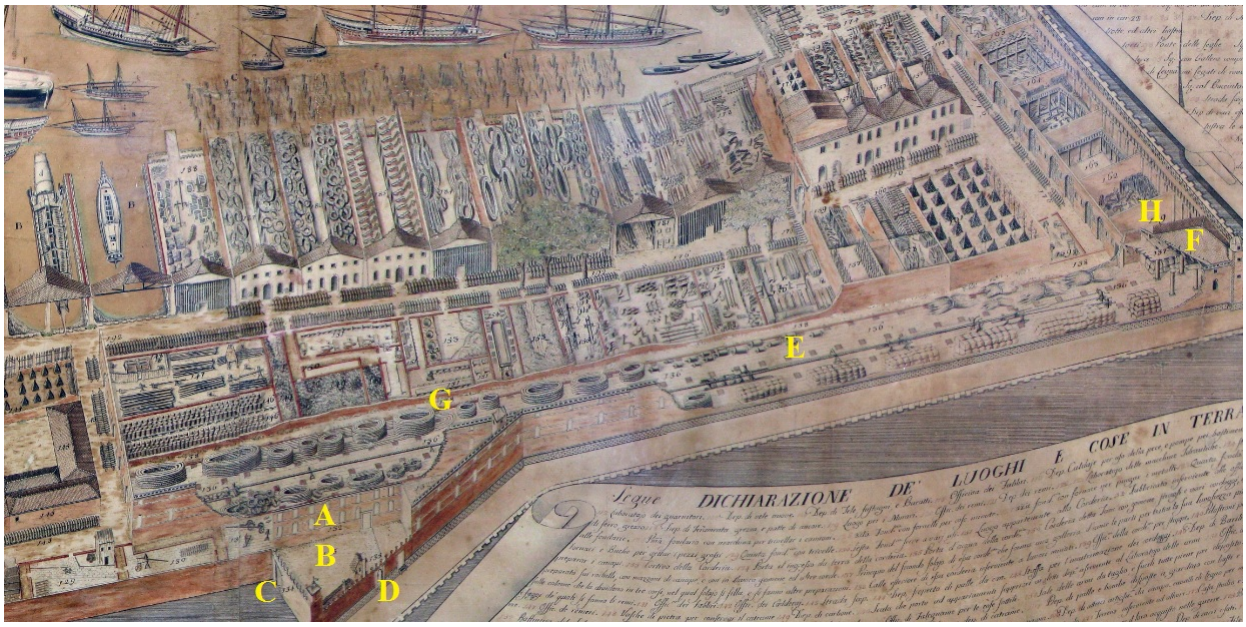


FIGURE 7.11 – Organisation des corderies d'après une partie de la carte de 1797 par Maffioletti [18]

Le plan relief de Maffioletti (Voir figure 7.11) qui date de 1797 est particulièrement riche en informations concernant l'organisation même de l'arsenal de Venise.Nous pouvons y distinguer huit zones essentielles directement liées à la fabrication des cordages :

- **A :** Bâtiment destiné à la fabrication des haussières pour les navires,
- **B :** Cour appartenant aux corderies,
- **C :** «Porta d'ingresso da terra», la porte d'entrée depuis le rivage,
- **D :** «Porta d'acqua», la porte maritime des corderies,
- **E :** Atelier des corderies,
- **F :** Première partie du grenier formant une galerie sur toute la longueur de l'atelier des corderies,
- **G :** Petite route destinée aux petits travaux de la corderie,
- **H :** Atelier pour les stuppes.

Selon (CONCINA 1991), les grandes roues étaient placées au rez-de-chaussée, tandis que des mécanismes similaires mais de proportions plus petites, étaient placés aux étages latéraux. Avec l'apparition de nouveaux types d'énergie et de mécanismes comme les machines à vapeur, de nombreux ateliers de l'arsenal se sont modernisés afin de devenir plus efficaces. En ce qui concerne les machines des corderies il existe très peu d'informations. Nous savons tout de même qu'en 1871, la corderie était toujours «dépourvue de machines à vapeur» et sollicitait toujours des machines classiques à énergie manuelle (ERRERA et ZANON 1872). D'autres corderies italiennes comme celles de l'arsenal de Castellammare utilisaient pourtant des machines à vapeur de fabrication anglaise à la même époque. Dans l'ouvrage de (ERRERA et ZANON 1872) on parle à ce propos de *« fatale decadenza dell'arsenale di Venezia [...] Accade ai veneti quello che negli altri paesi d'Italia non si nota, ed è una soverchia inclinazione alla sfiducia nelle proprie industrie»* (décadence fatale de l'arsenal de Venise [où] on rejette les propositions d'améliorations [...] Ce qui arrive aux Vénitiens est ce qui n'est pas connu dans les autres pays de l'Italie, et c'est un penchant

18. Gian Maria Maffioletti, Mappa dell'arsenale di Venezia, 1797, Musée Naval de Venise.

écrasant à se méfier de ses industries). Le processus de fabrications des cordages étant très souvent expliqués nous partons du principe que les machines utilisées étaient les modèles classiques utilisés dans la plupart des corderies de la même époque. La ville de Venise, en plus d'être dotée d'une corderie à l'arsenal était également dotée de corderies privées comme la corderie Inio sur l'île de la Giudecca. Vers les années 1930, l'usine emploie une quinzaine de personnes. Les machines sont anciennes et peu de moteurs électriques sont utilisés.

FIGURE 7.12 – Les machines de la corderie Inio de la Guidecca (AGOSTINO 2007)

Le chanvre, qui représente la matière première est de très bonne qualité. Il est utilisé pour la fabrication des cordages et pour calfeuter les navires de l'arsenal (CELETTI 2003). La matière première est importée de Bologne et de Montagnana car il s'agit du chanvre le plus qualitatif. Une fois cette matière première livrée à la corderie de Venise, elle doit être entreposée et travaillée séparément [19]. 60 à 80 livres de chanvre (28,8 à 38,4 kilogrammes) pouvaient être travaillés en une journée de travail, ce qui donnait une quantité de produits semis-finis égale, net des déchets, à environ 90 pour cent de la matière première (CELETTI 2003). La production à la journée était donc très importante compte tenu de l'équipement qui était assez rudimentaire.

Les procédures de production de chanvre sont parfaitement codifiées et suivent un modèle précis (CELETTI 2003) :

- Achat de la matière première, du chanvre brut déjà nettoyé et assemblé en bottes. Ces dernières sont alignées devant les entrepôts de la corderie, puis ouvertes et vérifiées dans les deux jours suivants leur réception par le concierge afin de s'assurer de la bonne qualité de la commande.
- Les balles de chanvre jugées satisfaisantes sont ensuite pesées et inventoriées puis entreposées dans les entrepôts de la corderie. Chaque balle a un bulletin regroupant les informations relatives à leur provenance, leur date d'arrivée ainsi qu'à leur poids.
- Les peigneurs réceptionnent les balles afin de séparer les fibres. Pour ce faire, les ouvriers claquent les fibres de chanvre sur les dents d'un peigne afin de séparer la fibre et de la libérer de ses résidus.
- Une fois l'étape du peignage terminé, les fibres sont transmises aux fileurs, qui fabriquent les fils nécessaires à l'élaboration des cordes. Cette étape est considérée comme la partie centrale du processus de production.
- La préparation des cordes consiste à assembler les fils de chanvre en les tordants entre eux. Cette étape est très importante car elle détermine la qualité et la solidité du produit fini.
- Les câbles sont soumis à des tests afin d'évaluer leur solidité. Ils sont ensuite placés dans l'entrepôt des produits finis ou directement livrés au propriétaire de la com-

19. N°54 ««*Canevi*», *Fonds Lodoli, Museo Correr, Venise.*

mande. Le stock de produits finis doit toujours être suffisant afin de répondre aux besoins des équipes militaires et des particuliers.

Il existe plusieurs postes au sein des corderies qui sont soumis à une hiérarchie bien établie. Il y a les «proto» le directeur technique, le «proto auxiliaire», des inspecteurs, un peseur, des chefs d'ouvrage, les maîtres «filacanevi», un «masser» responsable de la gestion du magasin et des scribes chargés de tenir les registres des matières premières. Le choix du «proto», poste particulièrement important au sein de la corderie, appartient aux «Visdomini» et est par la suite approuvé par les «Patroni e Provveditori» de l'Arsenal, qui ont le pouvoir de contrôle au sein de l'arsenal. En 1488, on élit deux maîtres parmi les plus âgés de l'arsenal afin de contrôler le travail des ouvriers [20]. Toute cette équipe est complétée par des apprentis (CELETTI 2003). Les ouvriers travaillant à la «tana» devaient s'acquitter d'une attestation de capacités pour obtenir le droit d'y travailler [21]. Selon (LANE 1932) il s'agit : *«a hybrid form of industrial organization, a mixture of craft tradition and state supervision»*. Mais malgré une organisation particulièrement rigoureuse du travail, la corderie de Venise présente un certain nombre de difficultés :

> *«The grouping of many workers within one structure, where they become factory hands performing tasks set by the minds of other, became a prominent feature of economic life only after Industrial technique came to be dominated by power machinery, but many of the diffculties resulting from the herding together of workers appear in advance of the advent of power-driven machinery»* (LANE 1932)

Les conditions de travail dans les corderies étaient extrêmement difficiles et dangereuses. En effet, l'environnement est particulièrement nocif en raison de l'énorme quantité de poussière que dégage le traitement de la matière première. Pour diminuer la diffusion de la poussière, les locaux des corderies doivent être très grands, avec de grandes ouvertures, afin d'assurer une ventilation adéquate. Les travailleurs souffrent de nombreuses pathologies comme des toux sévères et persistantes, d'asthme ainsi que d'inflammations des yeux (CELETTI 2003).

Étape 4 : Fin d'activité industrielle

Il n'existe très peu d'informations concernant la fin d'activité de la corderie ni aucune indication d'époque quant au démontage des machines. Nous savons tout de même qu'une fois la production stoppée, le bâtiment a subi plusieurs modifications. En effet, au cours du XIXe siècle des cloisons en maçonnerie ont été construites à l'intérieur ne permettant plus d'apprécier la perspective des 316 mètres de longueur de l'usine. Elle aurait ensuite été utilisée comme entrepôt de stockage.

Étape 5 : La mise en patrimonialisation

En 1983 des travaux de restauration de la Corderie de l'arsenal ont été entrepris. Ce projet est mené par la Surintendance de Venise en collaboration avec l'Université d'architecture. Les premières interventions dans la Corderie concernaient la structure même

20. N°54 «*Canevi*», Fonds Lodoli, Museo Correr, Venise.
21. N°542««*Memori intorno ai carcatori e filateri di tana dal 1764 al 1797*», Fond Patroni e provveditori all'arsenale, classeur 31, Archivio di Stato Venezia.

du bâtiment c'est-à-dire le toit ainsi que les fermes presque toutes d'origine, afin de limiter au maximum le remplacement des pièces. Une analyse des phénomènes de dégradation des matériaux est effectuée ainsi qu'un classement des graffiti présents à l'étage supérieur. La Marine italienne a cédé au Ministère de la culture plusieurs bâtiments de l'arsenal afin d'accueillir des évènements de la biennale de Venise. Depuis 1980, l'arsenal est devenu un lieu d'exposition à l'occasion du 1er Salon International d'Architecture. La corderie, après rénovation, est équipée de nouvelles cloisons afin d'y accueillir des évènements culturels. Il ne reste aujourd'hui plus aucune trace des machines ayant occupé la corderie de l'arsenal de Venise. Après la fermeture de la corderie Inio le 30 juin 1993, les machines ont été achetées par la municipalité de Venise. Ces machines sensiblement identiques devraient normalement être exposées au sein de l'arsenal dans le cadre d'un projet de Musée de la Mer.

Les corderies sont particulièrement importantes dans le domaine de la construction navale et permettent d'évaluer l'évolution des techniques et des pratiques à travers les époques. Nous allons à présent nous intéresser à un autre type d'unité de production industrielle employant d'autres technologies et savoir-faire : les forges.

7.4 Les forges de Brest

Étape 1 : Émergence d'un besoin, sa traduction en problèmes technologiques, la solution choisie

Le travail du métal avait une grande importance dans la construction navale, et cela même avant l'apparition des premiers cuirassés. Ces unités de production industrielle ont pour mission la construction de pièces essentielles au bon fonctionnement de la Marine, comme les ancres. Les forges de Brest étaient réparties à différents endroits de l'arsenal : Les forges de la Villeneuve se trouvaient au fond de l'anse de la Penfeld et les autres ateliers à Pontaniou près des formes n°1, 2 et 3. Les forges de Pontaniou furent commencées en 1742 par M. Ollivier et continuées en 1750 par M. Choquet de Lindu.

La zone de Pontaniou a accueilli de nombreux ateliers destinés au travail du métal. En 1743, on y trouve déjà le bâtiment des «grandes forges» (Point A sur la carte) et un projet d'établissement de «nouvelles forges» (Point B sur la figure 7.13) [22].

Dans un plan de Choquet de Lindu datant de 1747, ces mêmes grandes forges tombent en ruine [24]. Sur un plan de 1789, est indiqué l'emplacement de l'ancienne forge de construction qui a été démolie et d'une autre forge à détruire. Cette même année on construit un nouveau bâtiment, les forges neuves [25] qui vont être agrandies en 1833 [26] (Voir figure 7.14).

22. «*Plan d'une partie de l'arcenal*», 1743, Service historique de la défense, Vincennes, 692 23.
23. «*Plan d'une partie de l'arcenal*», 1743, Service historique de la défense, Vincennes, DD2 692 23.
24. «*Plan de l'anse de Pontaniou où sont commencée les nouvelles formes*», 1747,Service historique de la défense, Vincennes, DD2 692 32.
25. «*Élévation de la forge neuve*», 24 juillet 1789, Service historique de la défense, Vincennes, DD2 692 60.
26. «*Projet du prolongement des grandes forges de construction navales,* 1831, Service historique de la défense, Vincennes, DD2 703 II 91 C.

FIGURE 7.13 – Les forges de Pontaniou en 1743 [23]

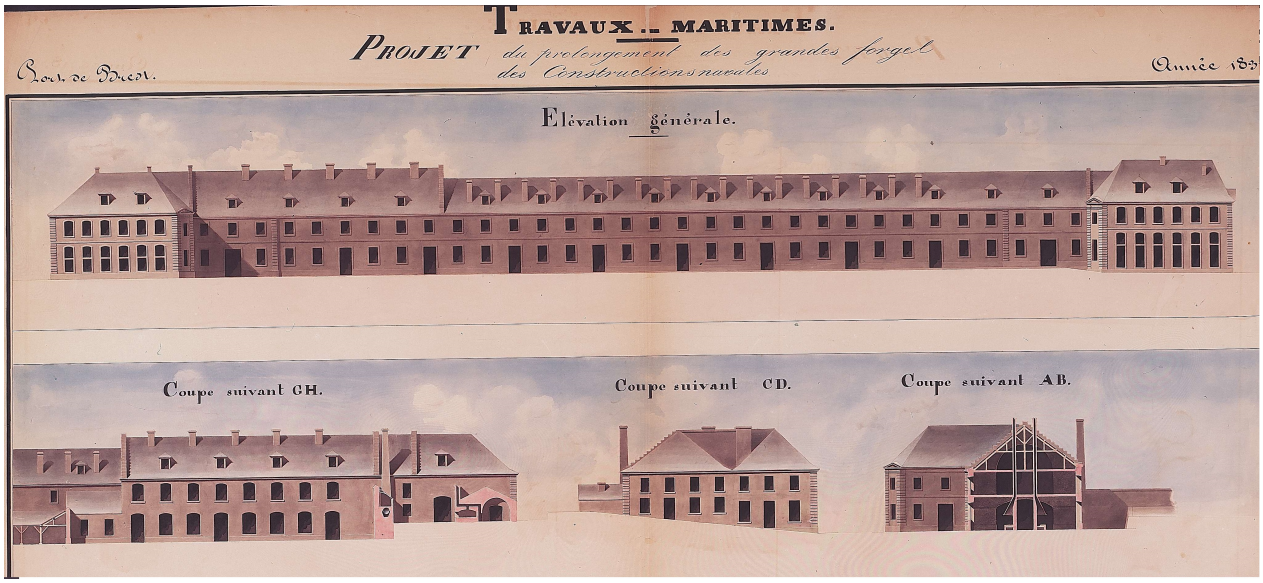


FIGURE 7.14 – Les forges de Pontaniou en 1833 [27]

En 1861, année de construction de l'atelier des machines, la zone de Pontaniou comprend un atelier de construction navale ainsi qu'un atelier des grandes forges [28]. On projette également la construction d'une nouvelle forge de l'autre côté du plateau des capucins.

La Villeneuve est considérée jusqu'à la Restauration comme l'unique entreprise métallurgique du Finistère. L'établissement débute son activité le 1er janvier 1768 sous la

27. *«Projet du prolongement des grandes forges de construction navales,* 1831, Service historique de la défense, Vincennes, DD2 703 II 91 C.

28. *«Projet de construction de nouvelles forges sur le plateau de Bordenave, au nord des ateliers des Capucins»*, 1861, Service historique de la défense, Vincennes, DD2 704 II 152.

forme d'un marché avec la Marine pour une durée de 20 ans. Le site est composé de plusieurs ateliers :

- Une forge destinée à convertir « les vieux fers » en « fers neufs »,
- Une scierie,
- Une fonderie qui produit les « mouleries » en bronze et en fonte,
- Un atelier de mécanique,
- Une buanderie et une teinturerie.

Étape 2 : De la solution choisie à sa concrétisation

En 1787, au terme du traité avec la Marine, l'établissement industriel de la Villeneuve est remis à la direction de l'artillerie de la Marine. La forge poursuit son activité jusqu'en 1881 : *«Avec l'édification dans l'enceinte de l'arsenal, à partir de 1841, des ateliers du plateau des Capucins dépendant des constructions navales, l'arrêt de mort de la Villeneuve est lancé»* (ABÉGUILÉ-PETIT 2002). «La dépêche» qui officialise la fermeture du site date du 17 août 1881 et stipule que l'établissement sera affecté aux pupilles de la Marine (ABÉGUILÉ-PETIT 2002). Les nombreux équipements qui composaient les ateliers sont alors répartis dans les différents services de l'arsenal.

A la suite de cela, les forges de l'arsenal de Brest sont regroupées sur le site de Pontaniou.

Étape 3 : Les usages

L'atelier des forges de Brest est sans conteste l'un des ateliers qui a le plus évolué en fonction de la construction navale et des avancées techniques. Louis Jean Montier Deslongchamps [29] dans son *«Recueil de toutes sortes de machines, d'outils, et d'ustensiles, en usages pour la construction et carène des Vaisseaux et de tout ce qui a rapport à leurs armements dans un Arsenal de Marine, Brest»* fait l'état des lieux des outils utilisés dans les ateliers brestois (Voir figure 7.15).

Dans les forges les outils utilisés sont différents types de tenailles, de cales et de marteaux nécessaires au forgeage des pièces. Ces forges sont équipées de fours en briques munies d'une cheminée pour l'évacuation de la fumée. Les outils présentés sur cette planche du 18ème siècle représentent l'essentiel de l'outillage des forgerons, et nous allons voir que malgré l'évolution des techniques, ces outils n'ont pas totalement disparu. Pour les pièces de plus gros gabarit, les ateliers se munissent d'un engin appelé martinet qui permet de frapper les pièces plus fortement et de manière régulière. Cet outil est l'ancêtre du marteau-pilon qui se développe à partir de 1840.

Dans cette partie nous nous intéresserons aux dernières forges en activité de l'arsenal de Brest qui correspondent aux bâtiments des «grandes forges» sur le plan de la figure 7.16.

Ces forges vont évoluer au fur et à mesure des bâtiments de la Marine mais également des techniques et des technologies en vigueur. Pour la question des usages nous nous intéresserons aux derniers systèmes techniques utilisés dans cette unité de production industrielle.

29. Louis-Jean Montier Deslongchamps (1721-1782) lieutenant des vaisseaux du Roy et du port de Brest
30. *«Projet de construction de nouvelles forges sur le plateau de Bordenave, au nord des ateliers des Capucins»*, Service historique de la défense, Vincennes, DD2 704 II 152.

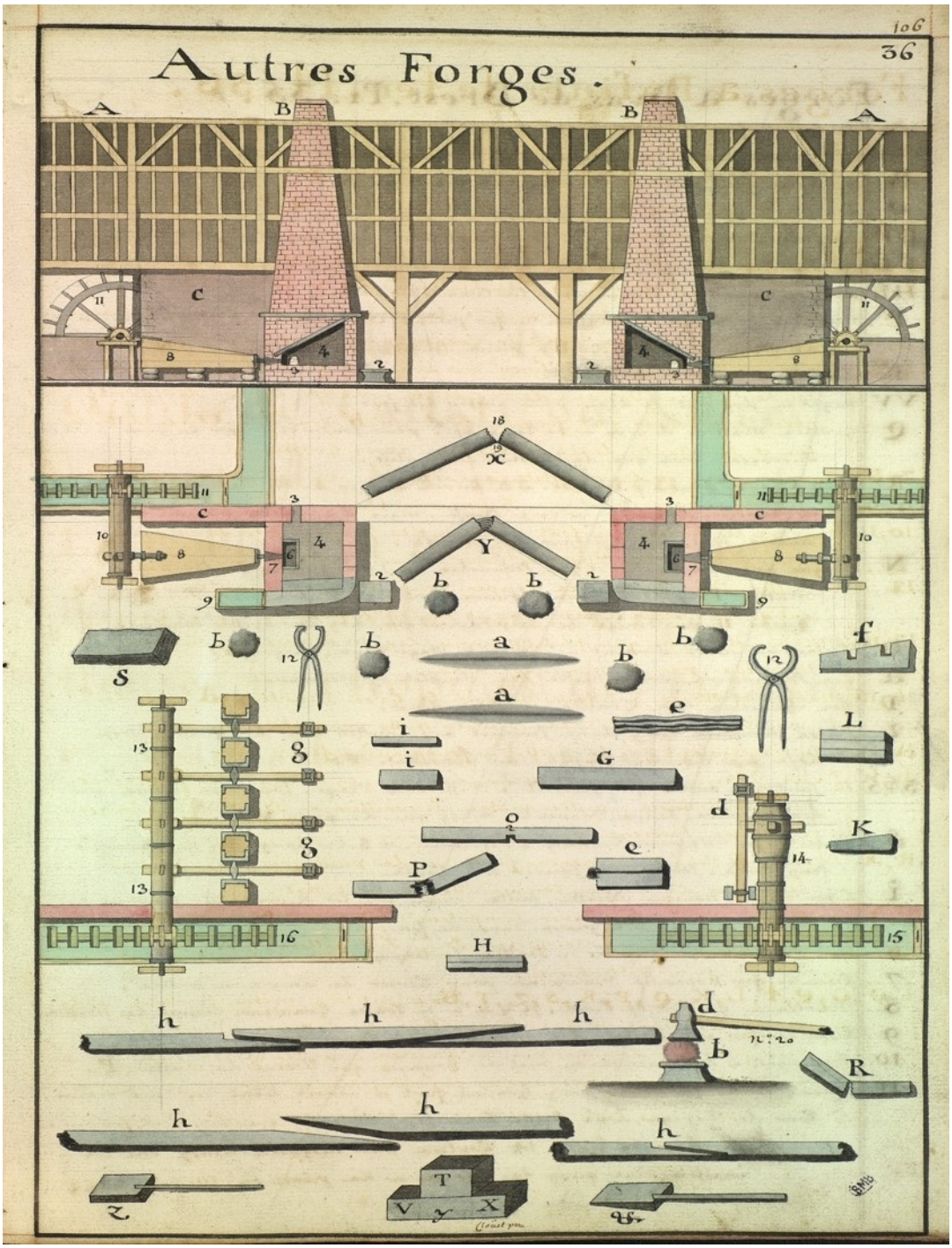


FIGURE 7.15 – Outils utilisés dans les forges (MONTIER DESLONGCHAMPS 1763)

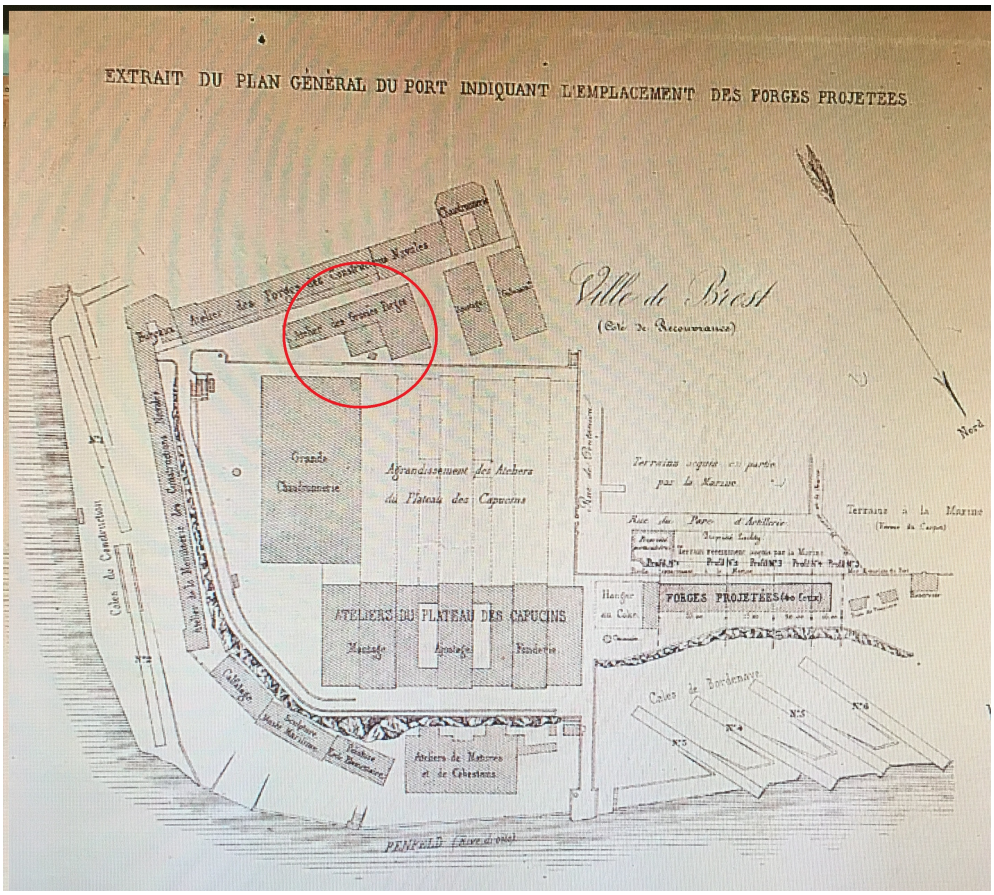


FIGURE 7.16 – Les grandes forges en 1881 (détail) [30]

Les forges de Pontaniou sont équipées d'un certain nombre de systèmes techniques destinés à la fabrication et à la réparation des pièces pour les navires. Celles-ci sont équipées de deux marteaux-pilons, un de 4,5 tonnes, l'autre de 6 tonnes, ainsi que d'une grue. L'atelier était également équipé d'un four. Ces systèmes utilisés dans les forges de Pontaniou à Brest sont représentatifs de la construction navale au sein de l'arsenal de Brest.

Actuellement il n'existe plus de fours au sein des forges de Pontaniou, ils ont tous été démantelés. De 1867 aux années 1970, un four à charbon chauffe les pièces destinées à être retravaillées au marteau-pilon. Robert Vourch a connu cette époque *«il fallait qu'un collègue la veille, le soir, remplisse la benne de charbon, et moi j'allumais un feu de bois le foyer avec un peu de bois, du papier et du gasoil, et du charbon un peu dessus. Et après la nuit c'était en route, ça alimentait tout seul, ça brûlait, ça démarrait le four*[31]*»*. Afin de faciliter le travail des ouvriers, un nouveau four est mis en place entre les deux marteaux-pilons entre 1974 et 1975. Le four est de la marque MGR, Maurice Gérard Rouveyre, fondateur d'une société spécialisée. Il a la particularité de posséder une double ouverture pour pouvoir desservir le marteau-pilon de 6 tonnes, ainsi que celui de 4,5 tonnes . Ce four a tout d'abord fonctionné avec du propane puis du gaz naturel. En pleine activité, le MGR consomme tellement de combustible, que tous les 8 à 10 jours, les ouvriers de l'arsenal doivent remplir la réserve. L'énergie est ensuite changée et le four alimenté par le gaz naturel. Le four MGR peut chauffer jusqu'à 1250°C soit une température idéale de forgeage de l'acier. Un four électrique le remplace ensuite. Un forgeron est chargé de l'allumage du four, le lundi il doit venir une heure et demie avant l'embauche de 8h pour avoir le four à température au début de la journée de travail. Les autres jours de la semaine, il vient à 7h

31. Entretien M.Robert Vourch, 20 janvier 2017, Guipavas.

pour mettre à température le four pour 8h. En pleine semaine, le four reste aux alentours de 500 à 700°C pendant la nuit.

En 1931, les grandes forges de Pontaniou implantent une nouvelle grue. Il s'agit d'une grue-portique de manutention conçue par la Société Strasbourgeoise de Construction Mécanique de Lunéville. Auparavant, les forges de Brest étaient équipées de plusieurs autres types de grues comme une grue à bras en bois de 2,5 tonnes de 1860, une grue de 2 tonnes de 1916 ou encore une grue électrique Magnard et Cie de Fourchambault de 1909[32]. La grue Strasbourgeoise est construite en métal riveté, consolidé par une structure en croix de Saint-André. Elle a une capacité maximale de levage qui atteint 15 tonnes. Cette grue a une portée de 6 mètres, c'est pour cela que par la suite, le four et le marteau-pilon de 4,5 tonnes seront installés dans ce rayon d'action. La grue repose sur un socle qui lui permet de tourner sur elle-même, le poste du grutier est surélevé, offrant une vue surplombante sur l'ensemble de l'équipe de forgerons en action, prévenant ainsi le moindre risque lors de la mise en mouvement de la grue. La machine strasbourgeoise est alimentée par un moteur électrique et un transformateur relié à un tableau d'alimentation actionnant le système d'engrenages. Elle dispose également d'un arrêt d'urgence en cas de problèmes.

Le *«Répertoire des machines-outils de l'atelier des forges»*, de la Direction des constructions navales du port de Brest, datant d'août 1920[33], il est précisé que les forges de Brest étaient équipées de plusieurs machines-outils comme des marteaux-pilons des presses hydrauliques ou des martinets. Ceux-ci sont détruits ou revendus au fil des années comme ce fut le cas pour un marteau-pilon de 1360 kilos construits à Guérigny en 1921 installé aux forges de Brest et revendu à la forge Veillée au Havre en 1976[34].

Le marteau-pilon de 6 tonnes est fabriqué en fonte, on estime à une vingtaine de tonnes sa masse totale. Le marteau brestois culmine à 7 mètres de haut et sa tige du piston mesure 2 mètres de longueur. Le marteau porte plusieurs inscriptions comme son lieu de fabrication : Creusot ; la société : Schneider et Cie ; et son année de conception, 1867. Il est estampillé du numéro 125 qui indique le numéro de série correspondant à la catégorie des marteaux-pilons de type n°4. De manière fréquente, il est surnommé « le 6 tonnes ». Cette expression fait référence à la force maximale de l'impact de la masse tombante sur l'enclume. Ce marteau est commandé par la Marine à l'Usine Schneider afin d'équiper la forge de la Villeneuve à Brest. Quelques années plus tard, en 1881[35], il est démonté et transporté afin d'équiper la forge de Pontaniou où il se trouve encore aujourd'hui (Voir figure 7.17).

Le marteau-pilon est un système technique particulièrement complexe. Le 6 tonnes qui équipe les forges de Brest est un modèle d'une grande puissance qui est composé de différentes pièces et composants qu'il est bon d'étudier. L'étude de ces composants permet de comprendre le fonctionnement global de cette machine-outil (Voir figure 7.18).

32. *«Répertoire des machines-outils de l'atelier des forges»*, Direction des constructions navales, port de Brest, août 1920, archives Naval Group.
33. *«Répertoire des machines-outils de l'atelier des forges»*, Direction des constructions navales, port de Brest, août 1920, archives Naval Group.
34. *«Répertoire des machines-outils de l'atelier des forges»*, Direction des constructions navales, port de Brest, août 1920, archives Naval Group.
35. *«Répertoire des machines-outils de l'atelier des forges»*, Direction des constructions navales, port de Brest, août 1920, archives Naval Group.
36. Archives Naval Group.

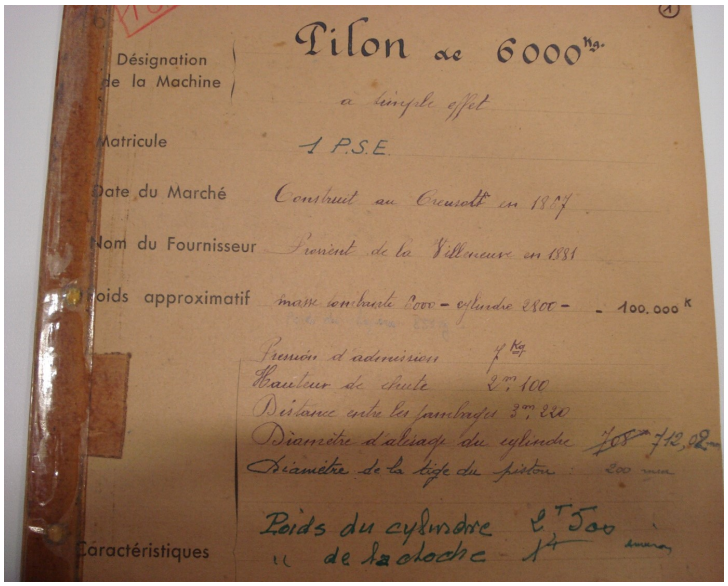


FIGURE 7.17 – Livret d'entretien du marteau-pilon attestant de son premier emplacement [36]

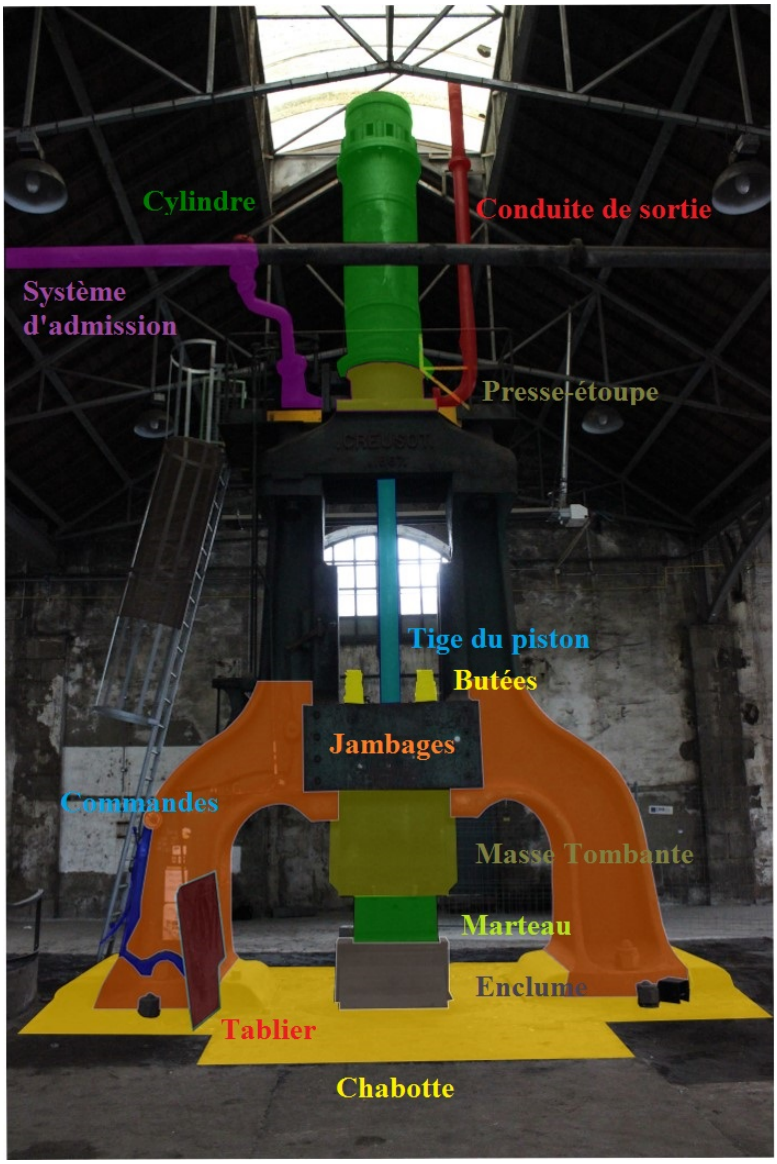


FIGURE 7.18 – Les différents composants du marteau-pilon [37]

1. Le marteau-pilon repose sur une **chabotte**. Il s'agit d'une structure composée d'une masse de fonte qui supporte l'enclume et d'une structure de bastaings en bois entrecroisés, permettant une élasticité de la structure et un encaissement des chocs contrairement au béton qui casserait. L'ensemble s'appuie sur une fondation rocailleuse. La chabotte n'est pas visible, elle était recouverte par de la terre battue. On peut tout de même la deviner par la présence de très grosses vis qui ont pour objectif de fixer la chabotte au marteau, ainsi que des renforts de part et d'autre des deux jambages.
2. Pour le marteau-pilon, les **jambages** permettent un ancrage sur la chabotte, ils sont tous les deux reliés par deux plaques métalliques rivetées destinées à consolider le marteau-pilon.
3. Le **presse-étoupe** qui surplombe ces deux parties de l'artefact permet de rendre étanche la partie du cylindre à l'aide de tresses en amiante.
4. Le sommet de l'outil de forge est composé d'un **cylindre** qui permet à la tige du piston de remonter. C'est également en son cœur que la vapeur ou l'air comprimé pousse le piston.
5. Le **système d'admission** est le conduit qui permet d'amener la vapeur ou l'air comprimé dans le cylindre.
6. A l'inverse, pour faire évacuer le contenu une **conduite de sortie** est prévue.
7. La **masse tombante** est la partie qui entraîne le marteau.
8. Les deux **butées** sont en bois, cerclées par des anneaux en ferrailles, elles ont pour rôle de stopper la course de la tige comme un frein. En ce qui concerne **la tige du piston**, elle est le lien entre la masse montante et le piston qui se trouve dans le cylindre.
9. Le **marteau** est la partie qui va frapper la pièce de métal
10. Reposant comme le marteau-pilon sur la chabotte, **l'enclume** est la partie qui emmagasine la force de la masse tombante. Cette enclume est dotée de deux tôles en appui sur elle, qui permettent d'éviter que des petits morceaux de calamines (petites particules chaudes de métal), ne tombent sur la chabotte en bois, et ne la brûlent.
11. Le **poste de commande** se compose de trois commandes. Le levier, la pédale ainsi que l'arrêt d'urgence. La pédale permet de sortir au niveau d'une des glissières un linguet, qui est une sorte de cale qui s'ouvre pour bloquer la masse tombante en position haute. En appuyant sur la pédale, le linguet s'ouvre, en appuyant de nouveau, le linguet se referme. Le levier, permet à l'air comprimé ou la vapeur d'arriver ou de sortir du cylindre. En tirant le levier vers le haut, la masse tombante monte, à l'inverse en baissant le levier, l'air est évacué et la masse chute.
12. Le **tablier** protège le pillonier ainsi que le poste de commande de la projection de calamine.

Pour un marteau-pilon à vapeur ou à air comprimé, il existe deux systèmes de fonctionnement, simple effet ou double effet. Cette machine-outil utilise le simple effet, de manière simplifiée, l'air ou la vapeur n'agit que dans un sens. Le système à simple effet se présente de la même manière sur l'ensemble des marteaux-pilons, il y a un système d'admission par lequel arrive l'air ou la vapeur, puis un échappement où l'air ou la vapeur est évacué. Pour le n°125 type 4 de Brest, lors de l'admission de l'air, le piston subit

37. Photographie CFV/CERV décembre 2016, traitement de l'image Guillaume-Sallah Thomas.

une poussée par le dessous entraînant une montée de la masse tombante. Puis quand on atteint la hauteur souhaitée, on expulse l'air par le conduit de sortie ce qui a pour effet de laisser tomber la masse tombante en chute libre. Le système de simple effet est ainsi nommé, car il y a seulement l'air ou la vapeur qui agit dans un sens, toujours de bas en haut. Pour un marteau à double effet, comme celui de 4,5 tonnes présent aux forges de Pontaniou, l'air agit sur la montée du piston et de la masse, mais aussi dans la phase de chute. Pour un double effet la masse tombante est soumise à la chute libre mais avec une poussée de l'air ou de la vapeur de haut en bas. Au moment où le piston est à sa position la plus basse sur un double effet, l'air ou la vapeur est évacué. Près du marteau-pilon est situé un manomètre de pression. Le manomètre de pression est crucial, car de 6 bars à 7 bars 5 le marteau-pilon était utilisable par l'équipe de forgerons, en dessous de 6 bars il ne fallait surtout pas s'en servir. Le risque encouru était la perte de contrôle du marteau.

L'évolution majeure qu'a connue l'artefact de « 6 tonnes », est le changement d'énergie dans les années 1920, passant de la vapeur d'eau à l'air comprimé. La vapeur d'eau nécessitait une chaudière en amont pour pouvoir la créer. Il fallait donc un temps de chauffe important pour pouvoir utiliser le marteau-pilon. L'arrivée de l'air comprimé apporte plusieurs avantages. Pour beaucoup d'entreprises et de structures comme les arsenaux, l'air comprimé est plus économique. Il n'y a pas de contraintes pour la mise à température, on peut directement forger, le forgeage est linéaire et constant. Dans l'atelier des forges, un tuyau conduit l'air comprimé, qui est distribué par deux cuves qui se trouvent à l'extérieur au pied de la falaise. Durant ses années d'exercice, le marteau-pilon a subi quelques améliorations dans le but de garantir la sécurité ainsi que le confort des ouvriers comme la mise en place d'un système d'arrêt d'urgence afin de prévenir les accidents. Il est également modifié au niveau de la commande afin de faciliter le travail du pilonnier[38].

L'artefact de 6 tonnes des forges de Pontaniou a été endommagé pendant les bombardements américains en septembre 1944 (Voir figure 7.19). D'après le rapport des réparations du marteau-pilon daté du 10 décembre 1945 :*«Pendant le siège de Brest, Tige émoussée par les éclats, jambage fêlé par l'établissement, la tige a été réparée sur place, refait le joint du cylindre*[39]*.»*

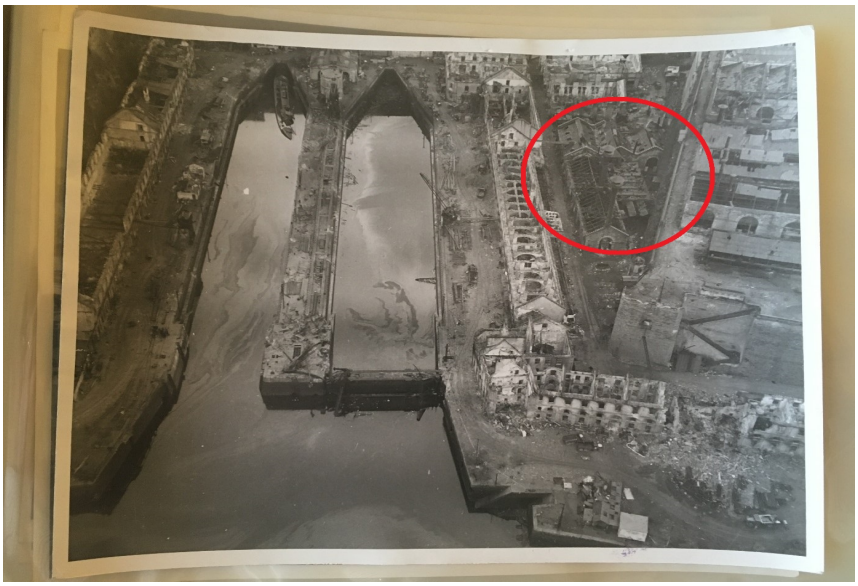


FIGURE 7.19 – Les forges de Pontaniou à la fin de la guerre [40]

38. Courrier de l'entreprise TMO (Thiers mécanique Outillage à l'attention de M.Rouet, 28 juin 1985, Archives Naval Group.

39. Livret *«Pilon de 6000kg»*, Archives Naval Group.

FIGURE 7.20 – Outils manuels des forges [43]

Dans un autre document datant du 29 octobre 1949 il est stipulé concernant la casse de la tige du marteau :

> *«La fêlure ancienne a pu se produire soit pendant la guerre, d'octobre 1939 à juin 1940, période pendant laquelle le pilon a été utilisé de façon intensive de jour et de nuit pour des travaux très durs tels que le matriçage [...] soit pendant le siège de Brest en 1944 pendant laquelle de nombreuses explosions ont eu lieu à proximité du pilon, en particulier une bombe de fort calibre a explosé à 10 mètres de lui, un de ses jambages a d'ailleurs été fêlé pendant cette période*[41]*.»*

En activité de 1867 à 2013, le marteau-pilon de 6 tonnes de Brest à eu une carrière particulièrement impressionnante de 146 ans. Malgré son ancienneté les forgerons s'accordent à dire qu'il s'agissait d'une machine-outil particulièrement performante :*«Le marteau-pilon était très chargé, pendant toute ma carrière c'était le poste le plus chargé de l'atelier. C'est là qu'il y a avait le plus de demandes. C'était un ancêtre le marteau-pilon, mais malgré tout bah il rendait service à plein de monde si on peut dire parce là il était très sollicité*[42]*.»*

En complément des machines-outils que nous venons de présenter, les forgerons utilisent également des outils manuels semblables à ceux utilisés depuis des siècles pour le travail du métal (Voir figure 7.20).

Chaque forge possède ses propres outils car suivant les travaux effectués ils peuvent être adaptés. Il existe deux types d'outils manuels, les outils de forgeage et les outils de manutention. Voici les outils de forgeage les plus couramment utilisés dans les forges de Brest :

- Le compas d'épaisseur : il permet au forgeron de prendre les mesures sur un objet en cours de forgeage. Ils peuvent être de différentes tailles. Grâce aux longues branches de 40 à 60 cm de long, l'ouvrier se protège d'une potentielle brûlure par son positionnement à distance de la pièce.
- L'emporte-pièce : c'est une pièce ronde possédant un trou en son milieu. Elle permet de percer une pièce à l'aide d'un poinçon.
- Le poinçon : il s'agit d'un objet correspondant au trou de l'emporte-pièce pour pouvoir chasser la partie du métal à l'aide des multiples frappes du marteau-pilon.
- La matrice : c'est une empreinte en creux dans un bloc dans la forme de la pièce que l'on veut obtenir, c'est le même principe que l'étampe mais avec une empreinte plus complexe et fermée.

40. Service Historique de la Défense de Vincennes, MV 5 COLL 28.
41. Livret *«Pilon de 6000kg»*, Archives Naval Group.
42. Entretien M.Jean-Pierre Roué, 26 janvier 2017, Guipavas.

- Les cales : ce sont des repères de forgeage à froid que l'on positionne à côté de l'objet porté à température sur l'enclume. Elles permettent de savoir quand la pièce est forgée à la bonne épaisseur.
- La soufflette : elle est connectée à la prise d'air du marteau-pilon qui est alimentée en air comprimé. La couche de calamine formée sur le métal est soufflée grâce à elle.
- Le marbre : c'est une table sur laquelle les pièces chauffées sont disposées et dressées à l'aide de valets.
- Les valets : ce sont des instruments en fer qu'on frappe pour serrer l'objet contre le marbre.

En compléments de ces outils de forgeage les forgerons utilisent des outils de manutention :

- Les tenailles : ce sont les pinces de forgerons qui existent dans plusieurs tailles, formes et avec des coquilles différentes adaptées à la pièce en forgeage.
- Les manilles : c'est une pièce d'acier forgée reliant, le plus souvent dans la forge de Pontaniou, les chaînes entre-elles pour maintenir le bloom [44] au vireur de la grue.
- Le ringard : c'est un crochet de grande longueur qui est utilisable à la main, principalement pour mettre ou retirer des pièces du four.
- Le manipulateur de forge (Voir figure 7.21) : Le manipulateur mobile automoteur de forge est une machine-outil ressemblant à un chariot élévateur, cependant il dispose d'une grosse pince à la place des traditionnelles fourches. Il s'agit d'une acquisition effectuée en 1990, à la suite de la visite d'une forge qui disposait de cette machine. Dès lors, le manipulateur de forge est un outil d'aide pour le travail quotidien dans les forges. Il peut soulever une charge atteignant 500 kilogrammes, voir quelques fois 600 ou 700 kilogrammes. Le manipulateur permet de tenir la pièce à l'aide de deux mâchoires, pour limiter ainsi le contact direct des forgerons avec la pièce qui est travaillée. Cette machine-outil est très appréciable pour les ouvriers, qui peuvent manœuvrer la pièce suivant leurs besoins.

Les pièces qui sont le plus souvent forgées au sein de l'arsenal de Brest sont des brides, des manilles, des arbres et des pièces façonnées comme des clavettes. Mais la zone des forges sert également au traitement et à la réfection des chaînes de bateau. En fonction de l'état de la chaîne les ouvriers procèdent à un grenaillage, c'est-à-dire qu'ils projettent un abrasif en grains à haute pression d'air dessus afin d'enlever la peinture. Les chaînes sont ensuite passées dans un bain de coaltar, une sorte de goudron, afin de les remettre pratiquement à neuf.

Pour le travail des pièces métalliques destinées à la construction navale, les ouvriers utilisent un nombre relativement important d'outils ayant chacun leurs spécificités. L'intérêt du forgeage est d'augmenter la pureté et donc la dureté du métal, c'est pourquoi il est préférable de forger les pièces de cette façon plutôt que de fabriquer des pièces usinées directement dans l'acier.

Le processus de fabrication d'une pièce se déroule sensiblement toujours de la même manière.

1. Les forgerons reçoivent en premier lieu le plan de la pièce à fabriquer, ils calculent son poids, et font en sorte de garder un peu plus de matière pour l'usinage car il y a de la perte de matière au feu.

44. Un bloom est un grand bloc rectangulaire servant à la fabrication des grandes pièces métalliques.
45. Photographie de M.Robert Vourch.

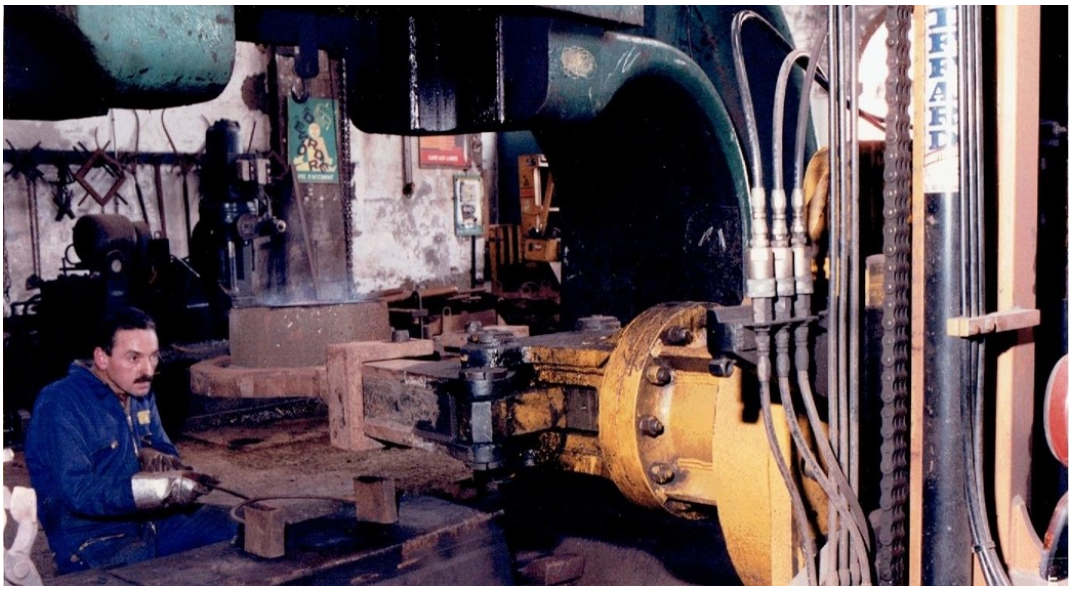


FIGURE 7.21 – Le manipulateur de forge [45]

2. Les ouvriers coupent un morceau d'acier, en fonction de son poids. Généralement, ils travaillent sur une forme carrée, car elle est plus facile à forger et à décalaminer. Pour forger les pièces métalliques de grande taille, on utilise un bloom, c'est-à-dire une grande pièce rectangle servant de base.
3. Afin de le transporter le bloom est fixé à une queue de forge qui est elle-même suspendue grâce au vireur de la grue. Les forgerons dirigent et maintiennent la pièce à l'aide de la queue de forge.
4. Le bloom est placé dans le four à une température de 1250°. Généralement il est placé dès la veille pour être sûr qu'il soit à bonne température pour le début de l'activité de forgeage. Avec l'expérience, les forgerons savent à l'œil si la température est assez haute pour pouvoir commencer le travail. Plus la pièce est blanche et vive plus la température est haute. Quand la pièce retrouve une couleur rouge, il faut la remettre dans le four.
5. Une fois à bonne température la pièce est prête pour être forgée. On la sort du four et on la dirige vers le marteau-pilon. Plusieurs ouvriers sont nécessaires pour cette procédure : Suivant le poids du bloom une dizaine de personnes pour la diriger, et une personne pour conduire la grue qui commande le vireur sur lequel il est attaché.
6. Quand le bloom est positionné, le pillonier commence à actionner le marteau-pilon afin de commencer le forgeage. Des forgerons sont positionnés de chaque côté de la pièce afin de s'assurer du bon déroulement de la manoeuvre. Un ouvrier s'occupe d'enlever la calamine de la pièce à l'aide d'une soufflette. Quand la pièce change de couleur, on la repositionne dans le four avant de poursuivre le forgeage (Voir figure 7.22).
7. Quand la pièce est terminée, celle-ci est mise à refroidir pour environ 24h.
8. Une fois ces procédures terminées, la pièce part à l'usinage.

Il existe différents postes au sein des forges de l'arsenal de Brest :

46. Image extraite du film *«La dernière journée»* d'Olivier Bourbeillon.

FIGURE 7.22 – Les ouvriers en plein forgeage d'une pièce [46]

- **Le pilonnier :** Il s'agit de la personne qui active le marteau-pilon. Ce poste est extrêmement difficile à assimiler, très peu de forgerons sont formés à ce poste . Il faut environ un an pour se former parfaitement à ce poste.
- **Le conducteur de grue :** Ce poste-là consiste à diriger la grue afin de transporter les pièces de métal depuis le four jusqu'au marteau-pilon. Certains forgerons peuvent également occuper ce poste si besoin.
- **Le forgeron :** Ce poste consiste à travailler la pièce, à gérer les coups du marteau et à donner la forme voulue à la pièce.
- **Le chef d'équipe :** Il réorganise les équipes en cas d'absence d'un des forgerons, la polyvalence des ouvriers était indispensable pour pallier les maladies ou les périodes de congés
- **Le chef de forge :** Assure plusieurs charges, il a la responsabilité de contacter les ateliers de réparations pour les machines en panne, il délivre les ébauches aux clients. Il a la charge d'accueillir les différents clients des forges de Pontaniou : DCNS, les marins et les représentants.

Les ouvriers ont appris le métier de forgeron par la pratique comme le matelotage. Certains comme par exemple M. Jacky Patry que nous avons rencontré pour ce projet, avait déjà été préalablement formé aux forges de Guérigny. Les forgerons les plus expérimentés des forges de Pontaniou étaient chargés de transmettre leurs savoirs et leurs connaissances aux novices. En moyenne il était nécessaire d'avoir 6 mois de formation avant d'être apte à travailler au marteau-pilon, en revanche pour le poste de pilonnier, une année était requise. Les gestes techniques demandent un long apprentissage pour les assimiler, c'est une des principales bases de ce métier. M. Robert Vourch précise qu'il a eu une formation de 6 mois : «*Ça a été très dur au départ, au début je tenais que les pannes, c'est tout, et je n'avais pas le droit aux tenailles encore*[47]. Il n'était pas question qu'il manipule les tenailles, car elles exigeaient une technique bien particulière pour la prise en main et le positionnement du corps, sous peine de se fracturer les poignets avec les chocs du marteau-pilon sur l'objet à forger. Pour le système du marteau-pilon, les forgerons étaient aptes à se servir aussi bien de la grue, du four ou du marteau-pilon. Par

47. Entretien M.Robert Vourch, 20 janvier 2017, Guipavas.

contre, très peu de forgerons pouvaient occuper le poste de pilonnier.

Travailler dans les forges est un métier particulièrement éprouvant en raison de l'environnement de travail. Les principaux risques rencontrés sont les suivants :

- Le bruit : L'atelier des forges est un lieu de travail extrêmement bruyant. En effet, le bruit des coups du marteau-pilon (120 décibels) sont complété par le bruit de la grue, et le ronronnement du four. On observe alors le développement de gros troubles auditifs chez les ouvriers des forges.
- La chaleur : Le four chauffe les pièces à une température de 1250°. La température dans l'atelier est donc particulièrement importante et d'autant plus quand les portes du four sont ouvertes pour y entreposer les pièces. Ces dégagements de fortes chaleurs durcissent les conditions de travail notamment pendant les périodes estivales.
- Les brûlures : Celles-ci sont particulièrement fréquentes, notamment à cause de la calamine qui se dégage de la pièce lorsqu'on la frappe.
- La poussière : Les multiples déplacements des ouvriers engendrent de la poussière en raison de la terre battue qui est présente dans une partie de l'atelier qui a pour objectif d'absorber les vibrations du marteau-pilon. De plus, le forgeage au marteau-pilon provoque la formation d'une poussière au moment du choc contre l'objet métallique, qui est directement inhalé par les ouvriers.
- Les vibrations du sol : La force de frappe de 6 tonnes du marteau-pilon engendre des vibrations récurrentes qui peuvent parfois déstabiliser les ouvriers pendant une manoeuvre. Lors de l'utilisation du marteau, l'ouvrier tenant les tenailles encaisse la force de l'impact qui peut provoquer à terme des complications physiques. Lors des entretiens, R. Vourch nous a confié avoir mis au moins 6 mois pour s'habituer à ces vibrations. Il a lui-même été blessé pendant une procédure de forgeage : «*Moi, j'ai eu une fracture du scaphoïde vous voyez j'ai été fracturé là, un contrecoup avec un bloom [...] Et il y a eu un coup de pilon malheureux, et moi j'avais les mains encore sur [...] l'embout, la queue qu'on appelait cela, et j'ai pris un choc et fracture du scaphoïde*[48]».
- L'amiante : Celle-ci est présente à la fois dans les portes du four afin de garantir l'étanchéité et dans l'équipement des forgerons comme les gants les tabliers et les guêtres.

Les ouvriers, vu leur activité, ne peuvent pas s'équiper de casques anti-bruits car ils les empêchent de communiquer entre eux durant les procédures. Les lunettes de protection sont également inutilisables en raison de la forte chaleur de l'atelier qui provoque de la buée sur les verres. Ils ne sont alors équipés que de simples bleus de travail, de chaussures de sécurité, et parfois de tabliers en cuir.

Étape 4 : Fin d'activité industrielle

L'activité déclinant au sein de l'arsenal de Brest, les travaux des forges diminuent en conséquence. A partir de 2005 l'atelier n'est plus utilisé que pour la réparation des ancres et des chaînes. Il ferme ses portes définitivement en 2013. Certains équipements comme les fours et des marteaux auto-compresseurs ont été ferraillés ou revendus. Les deux marteaux pilons, la grue, et un certain nombre d'outils manuels sont conservés.

48. Entretien M.Robert Vourch, 20 janvier 2017, Guipavas.

Étape 5 : La mise en patrimonialisation

Nous ne savons actuellement pas si la forge et ses outils vont être détruits ou valorisés. Des projets ont alors été mis en place avec de nombreux organismes dont le centre François Viète afin de conserver ce patrimoine culturel industriel de l'arsenal de Brest.

En 2005 un court métrage de 12 minutes a été tourné par Olivier Bourbeillon et produit par Paris Brest Productions et la Cinémathèque de Bretagne. Le but de ce film était de montrer les derniers forgerons en activité travailler au contact du marteau-pilon qui allait stopper la fabrication des grosses pièces. Ce projet montre les forgerons au contact des machines, on peut ainsi observer leur savoir-faire, leurs techniques, mais également découvrir leur environnement comme les vestiaires ou la salle de pause. Ce document est d'une grande importance car il représente une archive vidéo du passé industriel de l'arsenal de Brest mais également du savoir-faire des ouvriers qui est voué à disparaître.

Les 15 et 16 juillet 2014 le marteau-pilon a été scanné grâce à la technologie LIDAR (Voir chapitre 12). Cette opération a été effectuée grâce à un partenariat entre Brest Métropole, l'Université de Bretagne Occidentale, la DRAC Bretagne, Naval Group, la Marine Nationale, IMT Atlantique, Le CERV ainsi que l'Institut Universitaire Européen de la Mer (IUEM). Le but de cette modélisation 3D est de conserver numériquement des «traces» de ce patrimoine industriel. Cette modélisation 3D constitue «l'enveloppe» d'un outil numérique consacré à la médiation culturelle (Voir chapitres 9, 10, 11 et 12). Les entretiens menés auprès des anciens utilisateurs du système ont permis d'alimenter les connaissances sur le domaine.

Une mission de sauvegarde du petit outillage [49] a été mise en place en avril 2018 afin de garder une trace de ce patrimoine. Cette mission dans le cadre d'un projet DRAC-CFV a pour objectif de photographier ces outils, de les classer par typologies et de réaliser des scans 3D. De nombreuses photographies en 360° ont également été réalisées dans l'atelier ainsi qu'à l'extérieur. Des scans en trois dimensions des postes de commandes des marteaux et de la grue ont également été réalisés (Voir figure 7.23). Avant de déplacer les outils, ceux-ci sont divisés en lots en fonction de leurs emplacements afin de faciliter leur inventaire. Cette mission a permis de garder des traces de ce petit outillage indispensable au travail des forgerons.

Afin de compléter tous les travaux effectués sur les forges de Brest, une rencontre avec les forgerons a eu lieu le 12 juillet 2018 dans les forges. Une petite vidéo a été tournée afin de faire l'état des lieux sur l'outillage encore présent dans le but de compléter les informations déjà recueillies.

L'arsenal de Brest créé au 17e siècle, a été doté de plusieurs ateliers de forge afin de satisfaire les besoins en termes de construction navale. L'arsenal de Venise est également doté de ces unités de production industrielle destinées à la fabrication et à la réparation des pièces métalliques, nous allons donc maintenant nous intéresser aux forges de Venise.

49. Mission effectuée par Mathilde Vilette (DRAC-CFV), Frédéric Devillers (CERV), Sylvain Laubé (CFV) et Marie-Morgane Abiven (CFV).

50. CFV/CERV.

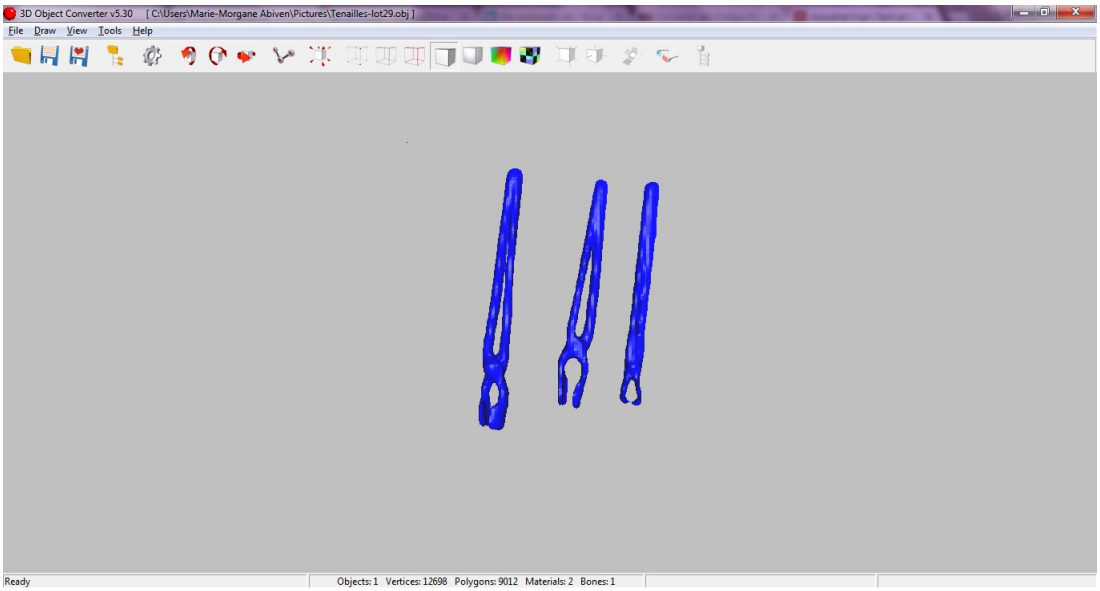


FIGURE 7.23 – Scans 3D de tenailles [50]

7.5 Les forges de Venise

Étape 1 : Émergence d'un besoin, sa traduction en problèmes technologiques, la solution choisie

L'arsenal de Venise possède plusieurs forges réparties sur l'ensemble de la zone de l'arsenal. Ces forges se trouvent dans deux zones bien distinctes de l'arsenal. La première se situe dans l'arsenal Novissima et la seconde dans la Darsena nova (Voir figure 7.24).

Étape 2 : De la solution choisie à sa concrétisation

Les deux forges que nous étudions dans ce chapitre sont celles de l'ottochentesce c'est-à-dire qu'elles correspondent à la période de l'occupation autrichienne de Venise au milieu du 19e siècle. Nous n'avons pour le moment aucune information précise sur la construction des bâtiments.

Étape 3 : Les usages

Ce qui fait la particularité de Venise c'est que l'arsenal possède plusieurs ateliers de forges qui ont leur spécialisation. Une des forges est consacrée à la fabrication des bâtiments blindés, et l'autre travaille davantage sur les pièces destinées aux sous-marins .

Au même titre que les forges de Brest, les forges de Venise sont équipées de nombreux outils manuels. Il reste encore des outils sur place comme des tenailles ou encore des enclumes autrichiennes. Ces forges sont équipées de fours à charbons et électriques. Les petits fours sont de fabrication française, Clayet et datent de 1889 (Voir figure 7.25) et les fours électriques sont détruits au même titre que ceux de Brest. Les hottes des fours sont appelées « les hottes des doges » en raison de leur forme de chapeau des doges.

51. http://vela.avmspa.it
51. Discussion avec M.Alessandro Ervas, forgeron et acteur du projet de valorisation des forges de Venise, 22 juin 2018, Venise.

FIGURE 7.24 – Localisation de deux des forges de Venise [51]

FIGURE 7.25 – Les fours des forges de l'arsenal de Venise [52]

L'arsenal de Venise aurait également possédé un marteau-pilon pour le forgeage des grosses pièces métalliques. Le marteau, ou maillet était entreposé dans un bâtiment que l'on appelait le bâtiment « marteau », situé non loin des cales sèches, une place stratégique entre les forges et les bassins de carénage. Ce système technique servait à la fois à la fabrication et à la rénovation des pièces métalliques. On connaît également la présence d'un martinet de forgeage pour des grandes pièces dans une des forges de l'arsenal. Sa forme rappelle beaucoup les premiers modèles de martinets utilisant la force hydraulique. Ce marteau de fabrication Neuer Schwantz Hammer date de 1857 (Voir figure 7.26). Il n'existe, à notre connaissance, aucune photographie de cet outil mais un schéma se trouve au Kriegsarchiv de Vienne.

Il y a également des presses qui modèlent le métal par pression. Les presses sont généralement utilisées pour forger de grandes pièces telles que des arbres d'hélice, des plaques pour les coques etc. Beaucoup de grandes machines ne sont pas récentes et sont alors mo-

52. Photographie personnelle, juin 2017.

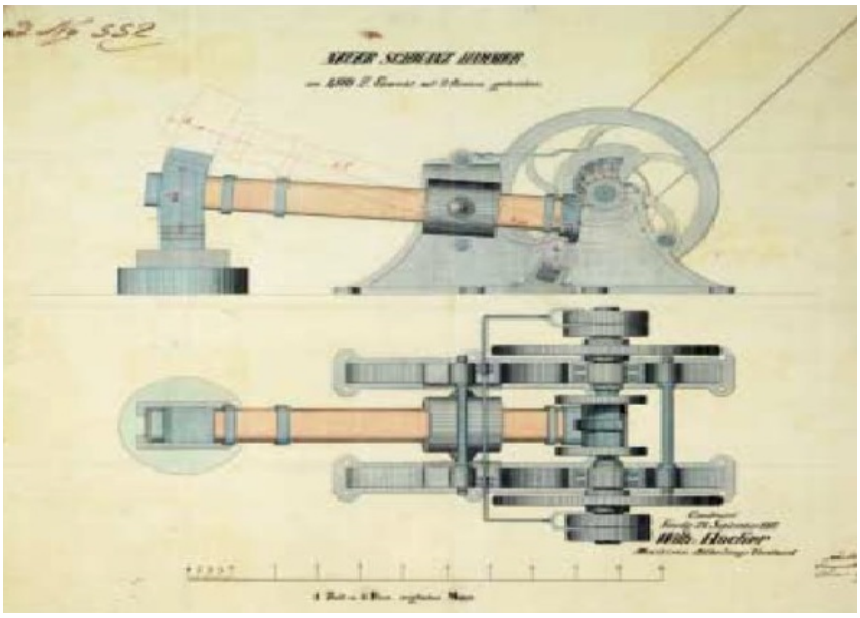


FIGURE 7.26 – Schéma d'un martinet des forges de Venise (VENTRICE non daté)

difiées. C'est le cas du marteau pour forger qui a est réadapté avec une plateforme d'ancre afin d'augmenter le tonnage. Il existe toujours un marteau auto-compresseur des années 1930-40 de la marque Pensotti (Voir figure 7.27). Il fonctionne à l'électricité et la masse qui tombe fait 250 kg. Ces marteaux sont très semblables à ceux utilisés à Brest.

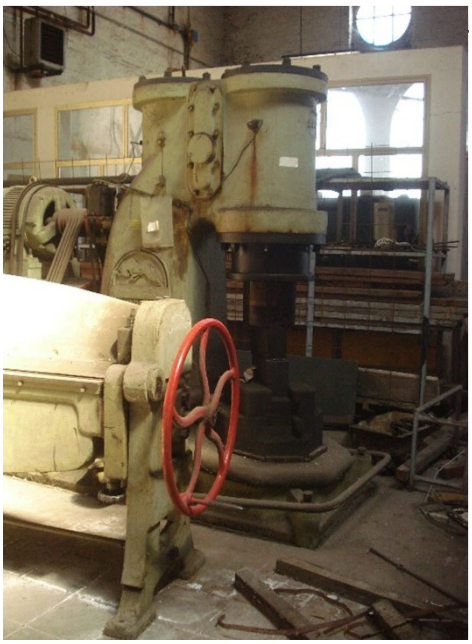


FIGURE 7.27 – Marteau auto-compresseur des forges de Venise [53]

Les outils étant relativement semblables aux forges de Brest nous pouvons partir du principe que les usages, les savoir-faire, ainsi que les risques étaient les mêmes.

53. Photographie personnelle juin 2017.

Étape 4 : Fin d'activité industrielle

L'arsenal de Venise cesse son activité plus tôt que l'arsenal de Brest. En effet, les forges ferment leurs portes dans les années 1970. .

Étape 5 : La mise en patrimonialisation

Un grand projet a été amorcé il y a quelques années pour valoriser à la fois, l'arsenal, les ateliers, mais également les outils et le savoir-faire des travailleurs. Deux organismes y travaillent depuis une dizaine d'années pour faire naître ce projet : l'Archéoclub, un organisme œuvrant dans le domaine du patrimoine culturel ainsi que le Forum Futuro Arsenale, un réseau d'une trentaine d'associations vénitiennes qui a pour objectif de transformer l'ancien centre de construction navale de Venise en pôle des civilisations maritimes d'intérêt mondial. La première proposition concerne la restauration de ces zones qui étaient occupées jusqu'à il y a quelques années par la maintenance navale et aujourd'hui complètement abandonnée. Le projet comprend également la récupération des «Forges historiques ». L'intérêt de ce projet est de transformer l'arsenal en un lieu de culture et d'innovation capable d'attirer de nouvelles personnes et de faire revivre cette partie de la ville. Toutes les activités mises en place dans ce projet sont compatibles avec l'histoire du lieu et principalement liées à l'idée générale de «civilisation de la mer», afin de considérer l'arsenal comme un bien commun mais également de valoriser les savoir-faire. L'intérêt est d'ouvrir les portes de certains ateliers de l'arsenal comme les forges afin de transmettre des connaissances et de valoriser le lieu. Des démonstrations (Voir figure 7.28) peuvent être organisées par des forgerons bénévoles et le lieu peut également être mis à disposition d'artistes pour la fabrication de pièces ou pour des performances en partenariat avec la biennale.

FIGURE 7.28 – Démonstration à l'intérieur des forges de Venise [54]

L'intérêt de ce projet de valorisation des forges est multiple :

- Valoriser le lieu,

53. Discussion avec M.Alessandro Ervas, forgeron et acteur du projet de valorisation des forges de Venise, 22 juin 2018, Venise.

54. Photographie personnelle de M.Alessandro Ervas

- Rendre l'arsenal accessible au public,
- Repeupler l'arsenal des œuvres qui l'ont caractérisé,
- Communiquer et transmettre sur le savoir-faire des forgerons et de la construction navale de la Sérénissime,
- Favoriser des projets avec des artistes et créer un réseau avec la Biennale,
- Encourager des projets avec des chercheurs.

Certains évènements ont déjà été organisés dans les forges de l'arsenal, en effet quelques forgerons ont rallumé le feu dans un des fours toujours en état de fonctionnement dans les ateliers pour donner des cours d'archéo-métallurgie, à des élèves provenant de différentes écoles. Ce projet a été en grande partie instauré par M. Alessandro Ervas, forgeron et restaurateur avec une formation d'orfèvre. Avec ces quelques manifestations, il a clairement été établi que l'aspect éducatif du projet fonctionne parfaitement. Ce projet de valorisation des ateliers des forges vise à préserver une tradition technique composée de milliers d'années d'expérience afin de la maintenir vivante.

7.6 Premières conclusions

Les corderies et les forges sont des unités de production intéressantes à étudier quand il s'agit de bâtir une histoire comparée. En effet, celles-ci sont fortement liées à l'activité de construction navale ainsi qu'à l'évolution des techniques ainsi que des pratiques. La corderie est étroitement liée à la marine à voile, et l'activité de fabrication des cordes représente une activité centrale dans les arsenaux. La forge est quant à elle davantage liée au développement des cuirassés qui font de ces unités de production, de véritables centres névralgiques dans les arsenaux.

Les chapitres 6 et 7 ont pour objectif d'étudier les indicateurs au moyen d'une méthodologie spécifique : le méta-modèle ANY-ARTEFACT. Cette étude, qui n'a pas pour vocation d'être une étude exhaustive des arsenaux de Brest et Venise, est une étape essentielle des travaux en HN et en médiation, mais permet également de démontrer la pertinence de cette méthodologie.

Après avoir présenté les indicateurs, nous allons à présent procéder à une synthèse d'histoire comparée entre les arsenaux de Brest et de Venise.

Références chapitre 7

ABÉGUILÉ-PETIT Catherine (2002), « Marine et industrie en Bretagne: l'arsenal de Brest et les établissements sous-traitants aux XVIIIème et XIXème siècles », thèse de doct., Rennes 2.

AGOSTINO Cortese (2007), « La corderia Inio : storia di una secolare tradizione veneziana », *Laguna Mare*, t. N°36, p. 26–29.

ALHEILIG A (1893), *Corderie: cordages en chanvre et en fils métalliques*, Gauthier-Villars et fils [etc](Paris).

ANDRÉ Bernard (2006), « Entre "réaffectation économique" et sens des lieux : retour sur des expériences passées et en cours », in, *Les friches industrielles, point d'ancrage de la modernité*, Histoire, mémoire et patrimoine, Lavauzelle.

ANGOT Céline (2013), « Gestes accomplis et paroles ouvrières: approche anthropologique du travail au plateau des Capucins à l'arsenal de Brest: culture ouvrière et savoir-faire entre mutations et patrimonialisation », thèse de doct., Brest.

ARMSTRONG William George (1859), « De l'emploi de l'eau comme moteur pour la manoeuvre des grues et autres appareils de ce genre destinés au chargement et au déchargement des fardeaux par M.William George Armstrong », *Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, t. Tome 6.

ARTI Venezia (2016), « A Rusty Issue; or, the Strange Case of a Victorian Crane in Venice », *Venezia Arti*, p. 81.

BALLETTI Caterina, CALZAVARA Mauro, GUERRA Francesco et MAZZANTI Massimo (2013), « Walking through historical maps of Venice », *e-Perimetron*, t. 8, n° 4, p. 200–208.

BALLETTI Caterina et FERRIGHI Alessandra (2013), « ARSENALE, Another story, a new case study », *Giornale IUAV*, n° 123, p. 10–12.

BALLETTI Caterina et GUERRA Francesco (2016), « Historical Maps for 3D Digital City's History », *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, t. 51, n° 3, p. 115–126.

BELLAVITIS Giorgio (1983), *Arsenale di Venezia: storia di una grande struttura urbana*, Marsilio.

BETTIOL Giulia et al. (2010), « Preliminary Studies for the Recovering of the Armstrong, Mitchell & Co. Hydraulic Crane of the Arsenal of Venice », in *Advanced Materials Research*, t. 133, Trans Tech Publ, p. 519–524.

BLOCH-SÉE Lise (1935), *Le groupe des industries de l'acétylène et de la soudure autogène: ses organismes centraux*, Institute de Soudure Autogène.

BORGNIS J-A (1818), *Traité complet de mécanique appliquée aux arts: Des machines employées dans les constructions diverses. 1818*, t. 3, Bachelier.

CAMBRY Jacques (1835), *Voyage dans le Finistère, ou, Etat de ce département en 1794 et 1795*, Come.

CASONI Giovanni (1829), *Guida per l'Arsenale di Venezia*, Giuseppe Antonelli.

CASSAR Michael (2016), « The dockyard 160-ton hydraulic crane, guns, and an unlikely connection with Venice ».

CELETTI David (2003), « La canapa nell'economia veneta del cinque-seicento », thèse de doct., Université de Vérone.

CHEDEVILLE (1852a), *Atlas des dessins et croquis joints au rapport sur la corderie du port de Brest*, Toulon: lithographie du génie maritime.

— (1852b), *Rapport sur la corderie du port de Brest, par Mr Chedeville, ingénieur de Marine*, Toulon: lithographie du génie maritime.

COAT P (2005), *L'arsenal de Brest*, Editions Sutton.

CONCINA Ennio (1991), « La casa dell'arsenale », *Storia di Venezia. Il mare, a cura di A. TENENTI, U. TUCCI, voi. XII, Roma*.

COUDURIER Marcel (1935), « ouverture du grand pont », *La Dépêche de Brest*, t. 49.

CROS Bernard (1984), *Les Formes de Pontaniou dans l'arsenal de Brest 1683-1904*.

— (2015), « Les corderies de la Marine Française aux XVIIe et XVIIIe siècles », *Neptunia*, t. 278, p. 35–44.

CROS Bernard, LITTOUX Jacques et RONOT Jacques (2005), *Brest face à la mer: trois siècles de marine et d'arsenal*, Éd." Le Télégramme.

DE PROXY Daniel (1857), *Brest*, F. Alléguen.

DELOURMEL Louis (1923), *Histoire anecdotique de Brest: à travers les rues*, Editions de Bretagne.

DOYÈRE Ch (1895), *Notions élémentaires de mécanique du navire*, t. 2, A. Challamel.

DU MONCEAU Duhamel (1769), *Traité de la fabrique des manoeuvres pour les vaisseaux: ou, L'art de la corderie perfectionné*, chez Desaint.

DUVAL Marcellin (1953), *Mémoire sur le choléra-morbus asiatique : description du bagne de Brest : relation d'une épidémie de choléra*, impr. de E. Anner (Brest).

EMPORIO-PITTORESCO (1869), « Ponte levatoio di Brest », *L'emporio pittoresco e l'illustrazione universale giornale illustrato*, t. X, p. 358–359.

ERRERA A et ZANON G (1872), *L'industria navale e le sue industrie attinenti alla esposizione marittima di Napoli del 1871*.

EYMIN E (1865), *Les Ports militaires de la France: Brest*, t. 1, Challamel ainé Arth.Bertrand.

EYROLLES Léon (1911), *Exposition internationale des industries et du travail de Turin 1911: groupe VI, classe 35,36,37 ; Travaux publics; République française; ministère du commerce et de l'industrie*, Comité français des expositions à l'étranger.

FRASCA Francesco (2012), *Il potere marittimo in età moderna. Da Lepanto a Trafalgar*, Lulu. com.

GASNIER Marina (2006), « Une approche territoriale des friches industrielles », in, *Les friches industrielles, point d'ancrage de la modernité*, Histoire, mémoire et patrimoine, Lavauzelle, p. 125–130.

GÉNIE-CIVIL (1885), « Grues hydrauliques mobiles », *Le Génie civil : revue générale des industries françaises et étrangéres*, p. 363–364.

GRANIER H (1992), « Le lieutenant de vaisseau Charles Gervaise et l'ingénieur du Génie Maritime Victor Gervaise », *Le monde de Dinan*, t. XII.

GRÉHAN Amédée (1855), *La France maritime*, Dutertre.

HATOT Thierry (1999), *Bâtisseurs au Moyen âge*, t. 2, L'Instant durable.

HAUSER A (1886), *Cours de construction navale professé à l'École d'application du génie maritime*, Imprimerie E. Bernard et Cie, Paris.

HERSENT H (1895), *Exposition internationale universelle d'Amsterdam*, Impr.de Chaix,Paris.

HOCQUET Jean-Claude (2011), « L'arsenal de Venise. Créations, modernisations, survie d'une grande structure industrielle », *Dix-septieme siecle*, n° 4, p. 627–638.

LANE Frederic Chapin (1932), *The rope factory and hemp trade of Venice in the fifteenth and sixteenth centuries*.

LAUBÉ et SIRE Stéphane (2007), « Histoires autour de la maquette du pont tournant de Brest », *Neptunia*, t. 247, p. 48–53.

LEMOINE Bertrand (1983), *Le grand Oeuvre. Photographies des grands travaux, 1860-1900*.

LEPELLETIER Almire (1853), *Voyage en Bretagne, illustré de vues prises sur les lieux : avec un résumé des fastes de cette province, une histoire générale des bagnes et l'iconographie des principaux types de forçats étudiés à la chiourme de Brest*, Plon freres (Paris).

LEVOT Prosper Jean (1864), *Histoire de la ville et du port de Brest*, t. 1, Selbstverl.

MARINI N (1876), « La fabbrica di Sir William Armstrong », *Rivista Marittima*, t. 1.

MARTINI Felice (1877), *Progetti e lavori pel riordinamento ed ingrandimento dell'Arsenale marittimo di Venezia*, Stabilimento tipografico di G. Antonelli.

MÉMAIN René (1937), *La marine de guerre sous Louis XIV: Le Matériel. Rochefort, arsenal modèle de Colbert*, Hachette.

MONTIER DESLONGCHAMPS Louis Jean (1763), *Recueil de toutes sortes de machines, d'outils, et d'ustensiles, en usages pour la construction et carene des Vaisseaux et de tout ce qui a rapport à leurs armements dans un Arsenal de Marine, Brest*, Toulon: lithographie du génie maritime.

LA-NATURE (1893), « La grue de 160 tonnes de Toulon », *La Nature*, t. 21, p. 197–198.

NAVIGAZETTE (1906), « Chroniques Marine Militaire », *Navigazette*, p. 4–5.

NOTICE-EXPOSITION-UNIVERSELLE (1862), *Notices sur les modéles, cartes et dessins relatifs aux travaux publics, réunis par les soins du ministére de l'agriculture, du commerce et des travaux publics / Empire français ; Exposition universelle à Londres en 1862*, E. Thunot et Cie (Paris).

OPPERMAN CA (1867), *Visites d'un ingénieur à l'exposition universelle de 1867, notes et croquis, chiffres et faits utiles*, t. 2, J. Baudry.

OZANAM Jacques (1691), *Dictionnaire mathématique ou idée générale des mathématiques. Dans lequel l'on trouve outre les termes de cette science, plusieurs termes des arts et des autres sciences*, Michallet.

PETER Jean (1998), *Le port et l'arsenal de Brest sous Louis XIV*, Economica.

PRADÈRE Onésime (1889), *Brest: son château, son port, sa rade et ses environs; guide du touriste*, Dumont.

RIVISTA Marittima (1878), « Sistemazione dell'alberatura », t. 2.

RIVISTA-MARITTIMA (1876), « La grua da 160 tonnellate », *Rivista Marittima*, t. 2.

ROHOU Bruno (2018), « Modélisation des ports de Brest (France), Rosario et Mar del Plata (Argentine) en tant que macro systèmes technologiques complexes: application à la modélisation des connaissances pour l'histoire des sciences et des techniques », thèse de doct.

SEIGNOBOS Charles (1909), *La méthode historique appliquée aux sciences sociales*, t. 12, F.Alcan.

VENTRICE Pasquale (non daté), « Arsenale museo d'arte e di sperimentazione tecnico-scientifica: conservare con l'inserimento di nuove tracce ».

Chapitre 8

Synthèse d'histoire comparée entre les arsenaux de Brest et Venise

8.1 Introduction

Après avoir présenté les méthodologies en HST (Chapitre 5), les indicateurs liés à la mobilité (Chapitre 6) et les unités de production industrielle (Chapitre 7) nous allons à présent procéder à une synthèse d'histoire comparée entre les arsenaux de Brest et de Venise.

8.2 Synthèse d'histoire comparée des indicateurs liés à la mobilité

Dans le cadre de l'étude d'indicateurs liés à la mobilité, deux types d'artefacts sont étudiés : Les grues ainsi qu'un pont tournant. Les engins de levage sont des cas d'études pertinents pour permettre une histoire comparée des paysages industriels des arsenaux de Brest et Venise. En effet, ces systèmes techniques sont de bons indicateurs pour étudier l'évolution des techniques mais également des activités.

L'arsenal de Brest s'est équipé au fil des époques de systèmes de levage adaptés à l'activité de construction navale :

- Des grues à mâter fonctionnant à énergie manuelle
- Une grue à bigue également à énergie manuelle
- Une grue à vapeur qui est ensuite électrifiée
- Une grue à énergie hydraulique
- Une grue électrique

Toutes ces grues ont équipé l'arsenal de Brest sur une période allant de 1681 [1] à 1978 [2].

L'emplacement de ces grues le long de la rivière Penfeld est stratégique (Voir figure 8.1). Les grues à mâter au pied du château se trouvent proches de l'embouchure de la rivière ce qui facilite donc l'amarrage des bateaux, opération qui nécessite une place importante. La grue du viaduc, quant à elle permet le transport des charges jusqu'aux ateliers des Capucins. Sur la rive droite de la Penfeld, à quelques centaines de mètres de la grue du viaduc est positionnée la grue hydraulique. Cet emplacement s'explique par la proximité de l'atelier de l'artillerie qui a grandement besoin d'un engin de levage puissant pour déplacer les canons. La grue électrique se trouve elle, du côté gauche de la Penfeld, près des formes de constructions et de la porte Tourville. Son emplacement relativement central et proche des voies ferrées, est idéal pour les services généraux de l'arsenal.

Les systèmes techniques présentés dans le cadre de cette étude emploient des types d'énergie différents représentatifs de l'époque où elles sont installées (Voir figure 8.2). Les machines à mâter, ainsi que la grue à bigues du viaduc fonctionnent à l'énergie manuelle. Ce type d'énergie nécessite une main-d'oeuvre considérable et des procédures longues et parfois dangereuses. Ces types d'engins de levage ont leurs limites car leur puissance ne dépasse pas les 50 tonnes. L'évolution des techniques et l'arrivée de nouvelles technologies comme celle du moteur à vapeur ouvrent de nouvelles perspectives dans le domaine de la construction navale. En effet, ces technologies permettent le développement

1. Année de mise en fonctionnement de la première machine à mâter.
2. Année de destruction de la grue électrique.
3. D'après *«Plan de Brest pour servir aux projet [sic] de 1768»*, 1768, Bibliothèque nationale de France, département Cartes et plans, GE D-15718.

FIGURE 8.1 – Emplacements des engins de levage au sein de l'arsenal de Brest [3]

de systèmes bien plus performants, solides et nécessitant une main-d'oeuvre moins importante.

	Grues à mâter	Grue à bigues viaduc	Grue Gervaise	Grue hydraulique	Grue électrique
Epoque	1681-1877	1857-1863 (?)	1863-1956	1881 – 1944	1910-1978
Matériaux	Bois/chanvre	Bois/Chanvre	Fonte/Fer	Fonte/Fer	Fer
Type d'énergie	Force humaine	Force humaine	Vapeur puis électrique	Hydraulique-vapeur	Electrique
Mécanismes	Cabestans	Couronnes de galets-Cabestans	Moteurs vapeur puis triphasé	Pompes/Générateurs	Moteur électrique
Puissance de charge	38 tonnes	50 tonneaux	Environs 80 tonnes	160 tonnes	150/160 tonnes
Utilisation	Matâge/dématage	Matâge/Dématage/transport de charges	Transport de charges	Transport de charges armement	Grue armement/Service général
Main d'œuvre	Environs 200 personnes	Environs 64 personnes (rien que pour actionner le cabestan)	20 personnes	Moins de 10 personnes	Moins de 10 personnes

FIGURE 8.2 – Tableau comparatif des grues de Brest

Toutes les grues de Brest ont connu différents cycles de vie allant de l'émergence d'un besoin à l'obsolescence du système. Particulièrement différents les uns des autres, tous ces systèmes de levage n'ont pas connu la même «carrière» au sein de l'arsenal. En effet, certains de ces systèmes ont été utilisés pendant une période relativement longue et d'autres ont très rapidement rencontré une phase d'obsolescence comme ce fut le cas pour la grue à bigues du viaduc. L'un des indicateurs brestois relatifs à la mobilité résume à lui seul ces différents cycles de vie : la grue du viaduc. En effet, depuis le premier projet au démontage de la grue vraisemblablement en 1956, nous pouvons mettre en lumière quatre étapes distinctes :

- La première étape entre 1839 et 1848 est celle de l'émergence d'un besoin et de la conception d'un système technique. La grue à mâter en usage à l'époque dans le port de Brest ne correspondait plus aux besoins de la Marine. Elle nécessite trop de main-d'œuvre et elle n'était pas assez puissante pour pallier à l'évolution des bâtiments. Un premier pré-projet pour une grue proche du plateau des Capucins a alors vu le jour.
- La seconde étape entre 1848 et 1857 est celle de la réalisation du projet. Un môle est construit et équipé d'une grue à bigues.
- La troisième étape, la plus longue, qui débute entre 1857 et qui va au moins jusqu'en 1940 correspond à l'utilisation du système technique. Cette étape comprend l'utilisation du système, mais également ses modifications. Pendant cette période, on remplace la grue à bigues par une machine plus perfectionnée à vapeur que l'on complète par une seconde grue plus petite. Une fois que la grue à vapeur devient insuffisante, on modifie son type d'énergie pour l'électricité vers 1912.
- La quatrième et dernière étape marque le déclin du système technique, son obsolescence, voire sa destruction. Vers 1940 la grue n'est plus utilisée car l'arsenal s'est doté d'autres grues bien plus performantes. La grue reste en place jusqu'en 1956 avant d'être détruite.

Au même titre que l'arsenal de Brest, l'arsenal de Venise s'équipe également d'engins de levage absolument indispensables pour l'activité de construction navale. Parmi ces engins de levage nous pouvons entre autres citer :

FIGURE 8.3 – Emplacements des engins de levage au sein de l'arsenal de Venise [6]

- La tour à mâter Porta Nuova
- La grue Fairbairn
- La grue hydraulique Armstrong Mitchell et Cie

Ces trois grues ont équipé l'arsenal (Voir figure 8.4) italien sur une période allant de 1813 [4] aux années 1950 [5].

L'organisation globale des arsenaux ainsi que l'emplacement des systèmes techniques ne sont jamais le fruit du hasard. De la même manière que les machines à mâter de Brest, la tour Porta Nuova doit être placée dans une zone facilitant l'accès des navires. Celle-ci est alors construite proche de la porte du même nom. Les grues Fairbairn et Armstrong sont également proches des ateliers afin de faciliter les transports de charges entre les navires et les unités de productions industrielles.

La période étudiée en ce qui concerne ces trois systèmes de levage est relativement importante, ce qui explique en grande partie les différents types d'énergie employés : l'énergie manuelle avec la tour à mâter, manuelle puis sans doute motorisée pour la grue Fairbairn et hydraulique pour la grue Armstrong. Les systèmes évoluent pour contrer l'obsolescence des précédents systèmes et pour répondre à une demande de la construction navale qui nécessite des engins à la fois puissants et peu gourmands en termes de main-d'oeuvre.

Les grues de l'arsenal de Venise sont également soumises à des cycles de vie qui sont à la fois dépendants de l'activité de construction navale mais également des technologies en vigueur.

Dans cette étude sur les engins de levage nous pouvons nous rendre compte que les besoins sont similaires. En effet, dans les deux arsenaux il s'avère indispensable de se doter d'un engin de levage capable de poser et d'enlever les mâts des navires. Brest se dote de machines à mâter, Venise d'une tour. Le choix d'une tour à mâter présente à la fois des avantages et des inconvénients. En effet, la tour, contrairement aux machines à mâter comme celles de Brest, est doté de bigues bien plus petites ce qui lui permet d'être davantage maniable. De plus, l'édifice est bien plus solide et nécessite beaucoup moins d'entretien qu'une grue entièrement en bois comme à Brest. L'investissement est bien plus considérable mais permet d'être utilisé pendant un période plus longue. Les

4. Année de mise en fonctionnement de la tour à mâter Porta Nuova.
5. Année d'arrêt de fonctionnement de la grue hydraulique Armstrong.
6. D'après Venipedia.it.

	Tour à mâter Porta Nuova	Grue Fairbairn	Grue Armstrong Mitchell
Epoque	1813-1840	1874- (?)	1885-Années 50
Matériaux	Bois/briques/pierre d'Istrie	Fonte/Fer	Fonte/Fer/Pierres/maçonnerie
Type d'énergie	Force humaine	Probablement manuelle puis motorisée	Hydraulique
Mécanismes	Cabestans	Engrenages	Moteur hydraulique
Puissance de charge	16 tonnes	35 tonnes	160 tonnes
Utilisation	Matâge/dématage	Transport de charges	Transport de charges
Main d'œuvre	Environs 96 personnes	Moins de 10 personnes	Moins de 10 personnes

FIGURE 8.4 – Tableau comparatif des grues de Venise

autres intérêts de ce genre de système technique sont également de pouvoir travailler sur des navires plus grands et plus rapidement, de ne pas être tributaire de la marée mais également de nécessiter une main-d'œuvre moindre.

Ces deux systèmes de levage bien que différents, ont tous deux vécus la même destinée et sont devenus obsolètes en raison de l'évolution rapide de la construction navale. Afin de suivre l'évolution des navires, les appareils de levage doivent également muter afin de devenir toujours plus efficaces. On exprime également le besoin de se doter de systèmes techniques nécessitant une main-d'œuvre moins conséquente. Les machines et la tour à mâter d'une puissance de 38 (Brest) et 16 tonnes (Venise), se trouvent rapidement obsolètes. L'arsenal de Brest va donc se doter d'un nouveau type de grue à bigues d'une puissance de 50 tonnes et l'arsenal de Venise d'une grue Fairbairn de 35 tonnes en 1874. Ces systèmes, plus puissants que les précédents, ne suffisent pourtant pas pour certaines activités. Les deux arsenaux se tournent alors vers des types de grues beaucoup plus puissants et particulièrement innovants pour l'époque : les grues hydrauliques. Ces deux grues ont toutes les deux une capacité de charge de 160 tonnes et ont pour fonction le chargement et le déchargement des navires ainsi que la mise en place des canons sur les bâtiments. La main-d'œuvre nécessaire pour ce genre d'engin n'est plus que d'une dizaine d'hommes. Malgré un choix bien différent pour les systèmes consacrés au mâtage des navires, les deux arsenaux se tournent cette fois-ci vers un engin de levage particulièrement similaire ce qui laisse entendre que les besoins et les problématiques sont les mêmes dans les deux arsenaux.

Un arsenal est un système technologique complexe composé d'un certain nombre d'artefacts comme les engins de levage qui sont soumis à des cycles de vie. Ces différents cycles correspondent à différentes étapes comme l'émergence d'un besoin, l'utilisation de l'artefact, la modification de cet artefact comme solution à un problème et l'obsolescence du système technique. Ces cycles que vivent les systèmes techniques se traduisent par des évènements particuliers comme l'évolution des technologies de l'époque, des savoirs mais également des besoins des arsenaux. A première vue bien différents, les arsenaux de Brest et de Venise présentent de très nombreux points communs en ce qui concerne l'étude de leurs systèmes techniques liés à la mobilité. Les systèmes techniques employés connaissent tous une phase d'obsolescence causée par l'évolution des bâtiments de la marine mais également des technologies qui permettent le développement de systèmes toujours plus performants. Les besoins des deux arsenaux sont les mêmes,

les problématiques également, ce qui engendre des cycles de vie semblables entre les systèmes techniques des deux arsenaux.

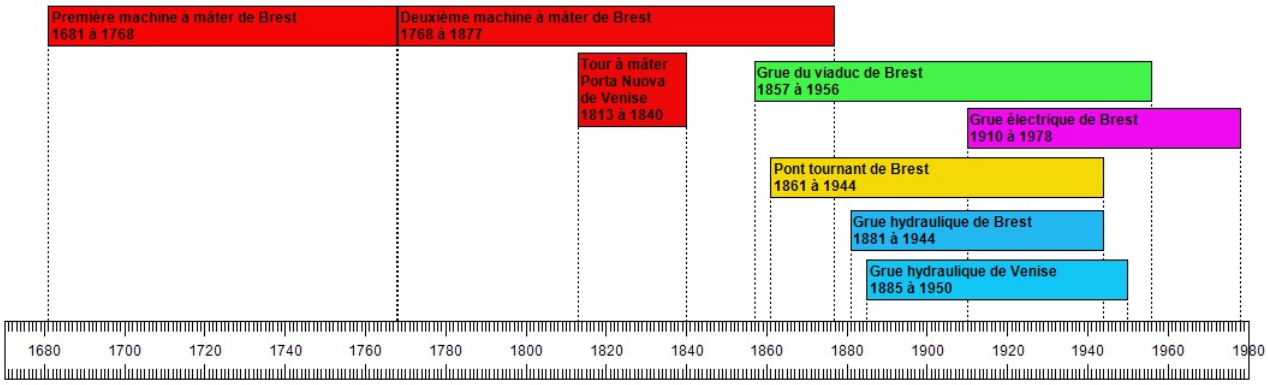


FIGURE 8.5 – Frise chronologique des différents indicateurs liés à la mobilité

Sur la frise chronologique de la figure 8.5 nous pouvons nous rendre compte que les engins de levage qui ont été utilisés le plus longtemps sont les machines à mâter. En effet, ces systèmes techniques sont utilisés dans les deux arsenaux de cette étude sur une période allant de 1681 à 1877. Malgré cette longue période, il est aisé de se rendre compte de la courte vie de la machine à mâter de Venise qui est devenue obsolète très rapidement. Cela s'explique sans doute par sa construction tardive quelques années avant l'arrivée des cuirassés. Deux des indicateurs brestois, le pont tournant et la grue hydraulique ont eu une fin de vie prématurée en raison des bombardements de 1944. Il s'agit là d'un évènement indépendant du fonctionnement des artefacts. Les deux indicateurs les plus semblables de cette étude sont sans aucun doute les deux grues hydrauliques : l'une française, l'autre anglaise. Ces deux engins de levage très semblables en termes de fonctionnement, ont également équipé leurs arsenaux respectifs sur la même période. L'un en 1881 et l'autre en 1885 ce qui permet de se rendre compte que les besoins étaient les mêmes d'un arsenal à l'autre.

Le pont tournant est un artefact particulier dans l'histoire de Brest mais également dans l'Histoire des Sciences et des Techniques. En effet, il s'agit d'une véritable innovation technologique qui a bouleversé le quotidien des Brestois et par la même occasion celui de l'arsenal. Ce pont est un indicateur lié à la mobilité car il est fortement lié aux axes de communication (routier, piétons, navires). L'étude de cet artefact et de l'activité associée permet par la même occasion de découvrir de nouvelles procédures et métiers fortement liés à l'arsenal. L'arsenal de Venise a également possédé des ponts tournants mais ceux-ci étaient bien plus petits et donc très différents de ceux de Brest. Toutefois, il n'est pas inintéressant de préciser que le Pont tournant de Brest a été étudié par des ingénieurs italiens[7] dans le but d'en concevoir un dans l'arsenal de Tarente. Le pont Francesco di Paola, long de 400 mètres, est inauguré en 1887 et est toujours en activité.

Le pont tournant de Brest et les engins de levage sont des indicateurs spécifiques pertinents qui permettent de comprendre l'évolution technologique des arsenaux mais également l'activité associée. Nous allons à présent nous intéresser au deuxième type d'indicateur de cette étude, les unités de productions industrielles et plus particulièrement les corderies et les forges.

7. Cervellera Alfredo, *«Rapporto tra arsenale e citta'»*, *5 octobre 2009 : http://www.comune.taranto.it*

8.3 Synthèse d'histoire comparée des unités industrielle

Les corderies et les forges représentent des indicateurs pertinents pour étudier l'évolution des techniques et des pratiques industrielles au sein d'un arsenal. La corderie est une unité de production industrielle représentative de la marine traditionnelle à voile, et même si les forges participaient à équiper également ces navires, elles sont surtout représentatives de la construction navale en fer.

L'arsenal de Brest a eu trois corderies : la vieille corderie, la corderie basse et la corderie haute. Ces corderies équipent l'arsenal de Brest entre 1686 et 1944. Au même titre que l'arsenal de Brest, l'arsenal de Venise a également été doté de plusieurs bâtiments des corderies. La première fut achevée vers 1320 et la seconde en 1583. L'arsenal de Venise étant bien plus ancien que l'arsenal de Brest, il est donc parfaitement compréhensible que la corderie de Venise soit aussi ancienne. D'un point de vue architectural les deux corderies étaient semblables. Il s'agissait de très longs bâtiments en pierres dont la localisation est particulièrement stratégique afin de faciliter le transport des matières premières et des produits finis. Même s'il n'existe que très peu d'informations sur les machines utilisées dans les corderies vénitiennes nous pouvons émettre l'hypothèse que les machines principales comme les fileuses sont similaires entre Brest et Venise. Les machines utilisées se sont modernisées afin de faciliter les procédures mais également d'augmenter les rendements. Il existe de nombreuses analogies entre ces deux unités de production en ce qui concerne le fonctionnement général du lieu. En effet, une attention toute particulière est accordée au choix de la matière première qui est extrêmement surveillée et codifiée afin de garantir la solidité des cordes produites. De plus, dans les archives respectives, il est stipulé à de nombreuses reprises que le travail des ouvriers est extrêmement réglementé et surveillé. Comme ce fut le cas pour un certain nombre d'indicateurs relatifs à la mobilité, les corderies de Brest ont été détruites pendant les bombardements de 1944. La corderie de Venise est quant à elle toujours présente au sein de l'arsenal mais dépourvue de ses machines.

La construction navale en fer est le résultat de nombreuses évolutions techniques, mais aussi le fruit complexe de connaissances techniques et scientifiques, alliant l'expertise métallurgique et mécanique pour participer à la fabrication et à la création de produits complets. Les forges de l'arsenal de Brest et de Venise sont les témoins de ce savoir-faire industriel. Depuis sa création, l'arsenal de Brest s'est doté de plusieurs ateliers de forges répartis dans plusieurs zones de l'arsenal : les grandes forges, la forge aux ancres, les forges neuves etc. Chaque atelier à sa propre spécificité et parfois même un matériel particulier comme ce fut le cas pour la forge aux martinets. Le schéma est relativement le même à Venise. En effet, il n'existe pas un seul et même atelier des forges mais plusieurs, répartis sur différentes zones et ayant leur spécialisation. Au niveau des usages, nous pouvons nous rendre compte que le savoir-faire est très semblable d'un arsenal à l'autre. En effet, les techniques de chauffe et du travail du métal s'effectuent au moyen d'outils semblables comme des enclumes, des tenailles ou encore des marteaux. Les deux unités de productions industrielles se sont modernisées afin de suivre l'évolution des techniques et des constructions navales en vigueur et de renforcer la sécurité des ouvriers. Le matériel est devenu plus puissant avec des outils comme des presses hydrauliques. Cela laisse entendre que les techniques de travail, ainsi que les procédures étaient les mêmes. Dans les deux arsenaux certains bâtiments des forges existent encore aujourd'hui. Il est très intéressant de constater que le patrimoine industriel relatif aux forges occupe une place très importante à Brest comme à Venise.

«La limite entre le désir de conservation et celui de donner une meilleure lisibi-

> *lité au site est toujours délicate à cerner, d'autant qu'elle dépend de la subjectivité de chacun dont les intérêts diffèrent parfois : entre historiens , architectes et élus, les priorités ne sont pas les mêmes. La difficulté est de savoir où s'arrêter pour ne pas effacer ou détourner la fonction de l'édifice, tout en prolongeant son existence sans figer les éléments in situ mais en continuant à faire vivre les lieux»*

Comme le précise Marina (GASNIER 2006), un projet de patrimonialisation consiste veiller à ce que la mission principale de cet édifice soit visible en veillant à faire vivre le lieu pour le rendre accessible au public. Dans le cas des forges, les projets mis en place sont de nature différente mais ont tout de même des points communs :

- Une véritable prise de conscience de l'importance de ce patrimoine industriel
- La volonté de conserver ce patrimoine
- Une volonté de transmettre ce patrimoine industriel, le savoir-faire des arsenaux et des ouvriers.

8.4 Conclusion générale de l'étude des indicateurs

Un arsenal est un macro-système complexe ainsi qu'un lieu de culture matérielle et de pratiques technologiques et scientifiques. L'hypothèse de recherche qui a été travaillée dans cette thèse et particulièrement dans ce chapitre, est que l'on peut périodiser l'arsenal au moyen d'indicateurs spécifiques pertinents.

Dans le cadre de ces travaux, ces indicateurs spécifiques sont de deux types : les indicateurs liés à la mobilité comme des engins de levage et un pont tournant et des unités de production industrielle comme les corderies et les forges. La méthodologie que nous avons employée dans ces travaux nous a permis de mettre en lumière plusieurs étapes des cycles de vie des artefacts afin de comprendre ces systèmes technologiques mais également l'activité associée. L'étude d'indicateurs semblables entre les deux arsenaux nous permet de bâtir une histoire comparée afin de mettre en lumière des points communs ou au contraire, de fortes disparités entre les deux lieux.

A travers cette étude, nous avons pu nous rendre compte que l'on pouvait aisément mettre en lumière des cycles de vie semblables entre différents indicateurs. En effet, en ce qui concerne les engins de levage, les besoins sont les mêmes (besoins de puissance et moins de main-d'oeuvre) et les phases d'obsolescences sont généralement causées par les mêmes raisons (évolution des techniques et des navires).

Même si les deux arsenaux de cette étude sont, à première vue, particulièrement différents de par leur époque de création et de leur organisation spatiale, nous constatons que les besoins en termes de systèmes techniques et les problématiques sont relativement similaires. L'activité elle même est organisée sur le même schéma. Cette notion d'activité tient une place particulièrement importante dans les projets de patrimonialisation mis en place autour des forges brestoises et vénitiennes. L'intérêt de ces projets est de valoriser le lieu mais surtout les connaissances, le savoir-faire et la gestuelle des ouvriers :

> *«The existence of industrial heritage is not limited to the mere physicality of those structures, but it is intrinsically linked with the human capital of a place, formed by countless lives and families. Workers shaped the history and economic development just as much as those initiating it and managing at the top levels» (*ARTI *2016).*

Il y a quelques années, la conservation du patrimoine industriel n'était perçue que du point de vue de la «mise en tourisme» devenant ainsi un argument touristique (ANDRÉ 2006). La sauvegarde et la conservation du patrimoine industriel sont bien plus complexes d'où une prise de conscience de l'importance des savoirs humains liés à ce patrimoine. Cela n'est pas sans rappeler la notion de patrimoine immatériel issue de la Convention pour la sauvegarde du patrimoine culturel immatériel qui fut adoptée par l'UNESCO en 2003. Cette notion, plus récente que celle de patrimoine matériel a pour définition :

> *«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*[8]*.»*

Au-delà du patrimoine culturel matériel que représentent les systèmes techniques ou les unités de production industrielle que nous avons étudiés, nous nous sommes également intéressés au patrimoine culturel immatériel relatif aux savoir-faire, aux connaissances, ou encore à la gestuelle des ouvriers.

Dans ce chapitre consacré à l'étude des arsenaux de Brest et Venise, une méthodologie spécifique a été mise en place afin de procéder à une étude comparative de deux macro-système technologiques complexes. Pour cela, le modèle HST-ARSENAL présenté dans le chapitre 5 a été utilisé. Construit à partir du modèle d'évolution des ports HST-PORT, HST-ARSENAL a pour objectif de construire une analyse historique et de permettre une périodisation des arsenaux en identifiant les cycles de vie des artefacts.

Ces cycles de vie permettent d'identifier des étapes importantes dans la vie d'un artefact comme l'émergence d'un besoin, les usages des systèmes techniques ou encore leur fin d'activité. Cette étude comparative étant ciblée sur l'activité humaine, implique également une étude des notions d'ANY-ARTEFACT c'est-à-dire les notions d'activité, d'artefact, d'acteur et de savoir.

L'étude des indicateurs est rendue possible grâce au recueil de données historiques (Voir chapitre 5). Une étude historique nécessite, comme le signale (SEIGNOBOS 1909), une méthode spécifique :

> *«Comme toute autre méthode scientifique [la méthode historique] comporte deux séries d'opérations : 1° Étudier le document pour déterminer quels ont été les faits particuliers passés dont le document est la trace. 2° Après avoir établi ces faits, les grouper en une construction méthodique pour découvrir les rapports entre eux»*

Cette construction méthodique qu'évoque Seignobos est, dans le cadre de l'étude comparative des arsenaux de Brest et Venise, effectuée au moyen d'HST-ARSENAL qui offre un cadre à l'étude pour n'omettre aucune information liée à l'artefact et à l'activité associée. Cette étude comparative entre les arsenaux de Brest et Venise effectuée au moyen d'HST-ARSENAL s'est révélée pertinente dans le cadre de ce projet de recherche. Cette méthodologie pourrait parfaitement être employée pour d'autres paysages culturels industriels dans le cadre d'une étude comparative basée sur des indicateurs.

Malgré l'intérêt évident de cette méthodologie, celle-ci présente tout de même des limites. En effet, pour effectuer une histoire comparée au moyen d'HST-ARSENAL, les données historiques nécessaires pour l'étude des indicateurs sont relativement importantes

8. https://ich.unesco.org/

afin de pouvoir couvrir les 5 cycles de vie du modèle. Lors des recherches effectuées sur les indicateurs de Brest et Venise, il s'est avéré que certains indicateurs étaient très peu présents dans les archives ce qui peut représenter un frein pour l'étude comparative. Dans le cadre de l'étude des indicateurs brestois, ce problème s'est posé en ce qui concerne la grue électrique (Voir figure 6.35). En effet, malgré des informations sur la commande et la construction de la grue, très peu de données historiques nous permettaient d'effectuer une étude poussée sur les usages, et donc, par conséquent, l'activité. Quand cela est possible, il est nécessaire de pouvoir rencontrer d'anciens utilisateurs du système dans le but de combler ces lacunes. Ce fut le cas pour cette grue grâce aux entretiens des anciens conducteurs (Voir annexes). En cas de manque, il est également possible de procéder à des comparaisons avec d'autres systèmes techniques semblables, comme ce fut le cas pour les tours à mâter de Karlskrona et de Copenhague lors de l'étude de la Torre Porta Nuova de Venise (Voir figure 6.16).

Le méta-modèle ANY-ARTEFACT n'est pas figé et pourrait faire l'objet d'améliorations. En effet, dans le cas d'une étude d'une unité de production industrielle (une manufacture par exemple), il serait possible d'aborder l'étude de la production. Cela permettrait de mettre en lumière des informations sur les matières premières (fournisseurs, exploitants, vendeurs), les processus de fabrication ou encore la vente (acheteurs, revendeurs, sous-traitants) et l'exportation du produit fini. Ces informations ont été en partie développées dans le cadre de l'étude des forges et des corderies mais pourraient faire partie intégrante d'ANY-ARTEFACT.

L'équipe de recherche dirigée par le docteur Miguel Angel de Marco [9] travaillant avec le Centre François Viète a intégré à ses recherches le modèle ANY-ARTEFACT dans le cadre d'études comparatives de ports en impliquant les notions de relation avec la ville et la région, d'impact environnemental et de développement durable. La composante HST-PORT évoquée dans le chapitre 5 et dans la thèse de Bruno (ROHOU 2018) met en évidence les «artefacts pertinents» qui expliquent l'évolution dans le temps des différents ports. Ce modèle en construction est appelé HST-CPR (Cuidad Puerto Regional) [10] en fonction des recherches effectuées par le laboratoire. L'équivalent des artefacts dans le modèle HST-CPR sont des «événements pertinents» qui permettront une périodisation.

Les chapitres 6, 7 et 8 ont permis d'établir et de comparer les cycles d'évolution et les pratiques des deux arsenaux du point de vue scientifique et technologique. Ces travaux ont également pour ambition de démontrer la pertinence du modèle HST-ARSENAL décrit dans le chapitre 5. Cette étude des indicateurs est également nécessaire aux travaux en HST des chapitres 9, 10 et 11. En effet, dans le cadre de l'élaboration de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O qui est consacrée aux paysages culturels industriels, les cycles de vie du modèle HST-ARSENAL sont représentés (Voir chapitre 10). Les chapitres 6, 7 et 8 permettent donc de valider cette méthodologie et non de produire une étude exhaustive des arsenaux. L'étude des forges de Brest a également participé au développement de l'ontologie «Forge-o» (Voir chapitre 11) et la création de scénarios de médiation (Voir chapitre 12).

9. IDEHESI-CONICET, Instituto de Historia UCA, Rosario, Argentine. https://ciudadport.hypotheses.org/

10. JOFRE J.-L., *«El modelo ANY-ARTEFACT para el estudio de las Ciudades Portuarias Regionales. El caso de la Ciudad ferro-portuaria de Palmira, Mendoza, Rep. Argentina»*, (Coloquio Internacional sobre Patrimonio Cultural Portuario, La Boca, Buenos Aires, 10-11 juillet 2019), A paraître.

Après avoir détaillé les méthodologies en HST appliquées à l'étude des arsenaux, nous allons à présent nous intéresser aux méthodologies en HN ainsi qu'aux travaux en ingénierie des connaissances.

Références chapitre 8

ANDRÉ Bernard (2006), « Entre "réaffectation économique" et sens des lieux : retour sur des expériences passées et en cours », in, *Les friches industrielles, point d'ancrage de la modernité*, Histoire, mémoire et patrimoine, Lavauzelle.

GASNIER Marina (2006), « Une approche territoriale des friches industrielles », in, *Les friches industrielles, point d'ancrage de la modernité*, Histoire, mémoire et patrimoine, Lavauzelle, p. 125–130.

ROHOU Bruno (2018), « Modélisation des ports de Brest (France), Rosario et Mar del Plata (Argentine) en tant que macro systèmes technologiques complexes: application à la modélisation des connaissances pour l'histoire des sciences et des techniques », thèse de doct.

SEIGNOBOS Charles (1909), *La méthode historique appliquée aux sciences sociales*, t. 12, F.Alcan.

Troisième partie

Paysages culturels et Activité en Humanités Numériques et ingénierie des connaissances

La troisième partie de cette thèse nommée *"Paysages culturels et Activité en Humanités Numériques et ingénierie des connaissances"* est composée de quatre chapitres :

- **Chapitre 9 :** Contexte et état des lieux des travaux en Humanités Numériques
- **Chapitre 10 :** Le processus de conception du Lab in Virtuo
- **Chapitre 11 :** Une ontologie spécialisée : l'exemple de "Forge-o"
- **Chapitre 12 :** Les usages du Lab in Virtuo en médiation

Ces chapitres ont pour objectif de présenter les travaux dans le domaine de l'ingénierie des connaissances et de la RV pour le développement du Lab in Virtuo. Cet outil est consacré à la conservation et/à la ou valorisation du patrimoine, mais également à l'apprentissage des connaissances. Afin d'expliciter au mieux ces travaux, le chapitre 9 reprendra le contexte de ces recherches.

Le chapitre 10 s'intéressera au processus de conception du Lab in Virtuo en adoptant un point de vue générique.

Le chapitre 11 se spécialise sur le développement d'une ontologie appliquée au cas des forges de Brest, démonstrateur du Lab in Virtuo.

Le chapitre 12 s'appuiera également sur le cas d'usage des forges de Brest pour faire un état des usages de ce genre d'outil en médiation culturelle.

Chapitre 9

Contexte et état des lieux des travaux en Humanités Numériques

9.1 Introduction

Dans la partie II intitulée *«Paysages culturels et activité en Histoire des Sciences et des Techniques»* nous nous sommes intéressés aux travaux en HST en nous penchant sur les méthodologies utilisées s'appuyant sur le méta-modèle ANY-ARTEFACT, un premier modèle dérivé d'HST-PORT ou encore les méthodes de recueils de données. A partir des résultats concernant l'histoire comparée des arsenaux de Brest et Venise ainsi que les activités associées aux indicateurs sélectionnés, il s'agit de proposer une première architecture du Lab in Virtuo (QUERREC, LAUBE et al. 2018), c'est-à-dire un Environnement Virtuel Informé (EVI) et de nouvelles méthodologies dédiées à la conservation, la valorisation des paysages culturels (et des activités) industriels, et leurs médiations.

L'hypothèse de recherche est que la RV permet, au-delà des approches classiques en Sciences Humaines et Sociales, de développer des méthodes et des pratiques de recherches qui permettraient de faciliter la compréhension, la restitution et l'apprentissage d'informations historiques dans le domaine de la médiation culturelle. Nous considérons que le Lab In Virtuo en tant que lieu de médiation est un lieu d'apprentissage. En effet, la médiation, au sens de médiation culturelle, signifie la mise en relation d'un public avec une offre culturelle dans le but de transmettre des connaissances. Selon (BURKHARDT 2010), *«La notion d'apprentissage se réfère aux processus de construction ou de réorganisation des connaissances mis en œuvre soit par des sujets individuels, soit à l'intérieur d'un collectif, voire à l'échelle d'un système sociotechnique»*. Il précise qu'il existe deux types d'apprentissages : «l'apprentissage par l'action» et «l'apprentissage par instruction».

Dans le domaine des EIAH peuvent être utilisés des environnements virtuels que l'on appelle «pédagogiques» (LOURDEAUX 2001). Ces Environnements Virtuels (EV) utilisent des scénarios pédagogiques ayant pour objectifs de transmettre des connaissances à l'utilisateur (connaissances théoriques, procédurales, ...). De même, les activités de médiation dans un EV impliquent des scénarios spécifiques. Considérant, par ailleurs, que le processus de médiation dans le Lab in Virtuo est très similaire au processus de formation en EV, les résultats de recherche en EIAH (comme précisé dans le chapitre 4) seront appliqués ici.

La partie III de cette thèse, *«Paysages culturels et Activité en Humanités Numériques et Ingénierie des connaissances»* a pour objectif de présenter les travaux effectués dans les domaines de l'ingénierie des connaissances et de la RV pour la création d'un Environnement Virtuel Informé (EVI) et son usage pour la médiation (Voir chapitre 4) et dans le cadre du projet de recherche Lab in Virtuo.

Ce chapitre présente les objectifs, les problématiques ainsi que les contributions de ces travaux.

9.2 Les objectifs

Le Lab in Virtuo est un EVI (Environnement Virtuel Informé) destiné à l'acquisition et à la restitution de connaissances relatives à l'activité technologique ou scientifique dans un système technologique donné où sont impliqués des acteurs et un système de savoirs (factuels, procéduraux, théoriques).

Les objectifs principaux des travaux présents dans cette thèse sont :

- Élaborer une première architecture du Lab In Virtuo (centré sur l'activité industrielle) à partir d'un démonstrateur (ici dans les forges de Pontaniou) et valider les méthodologies associées

- Développer, tester et valider des scénarios d'usage dédiés à la médiation culturelle (Voir chapitre 12).
- Produire un premier guide méthodologique consacré au Lab in Virtuo et destiné notamment aux acteurs de l'histoire et du patrimoine industriel (Voir chapitre A).

9.3 Problématique

Pour rappel, en référence aux parties I et II, l'activité de l'usager (chercheur, professionnel du patrimoine, médiateur en histoire et/ou patrimoine, ...) préconisée ici implique :

- D'appliquer au domaine étudié le méta-modèle d'activité en HST ANY-ARTEFACT pour la constitution d'un corpus numérique de référence établi à partir de différents types de sources, qu'il s'agisse d'archives, d'entretiens ou encore de collectes d'artefacts (Voir Chapitre 6).
- De mettre en place des activités de médiation dans un EVI (Voir chapitre 12) concernant les activités industrielles en pouvant interroger le corpus de données historiques constituées selon la méthode ANY-ARTEFACT [1].

Cette problématique nous a conduits à des questions plus spécifiques dans le champ des HN :

- Comment construire des ontologies de domaine alignées sur CIDOC-CRM [2] et adaptées à la question des paysages culturels au sens de l'UNESCO dans le domaine des sciences et des techniques? L'objectif étant de produire des corpus numériques de références et interopérables.
- Comment développer un Environnement Virtuel Intelligent (EVI) reposant sur le principe de la modélisation des connaissances et la RV, EVI dédié à la restitution des paysages culturels industriels incluant les activités humaines [3].

En résumé, la problématique du Lab in Virtuo est donc de pouvoir générer un EVI modélisant un paysage culturel industriel (ou un lieu industriel) incluant les activités associées à partir d'un corpus de données historiques constituées et interprétées par la recherche et de pouvoir générer des scénarios de médiations culturelles dans cet EVI.

Trois verrous scientifiques ont été identifiés :

- Le premier verrou : Passer du corpus de données historiques issues du méta-modèle d'activité humaine ANY-ARTEFACT en histoire à la production d'un corpus numérique interopérable basé sur le web sémantique ce qui implique la production d'une ontologie que nous appellerons ANY-ARTEFACT-O avec la contrainte d'un alignement avec CIDOC-CRM compte tenu des travaux menés dans le cadre du consortium Data for History [4]. Ce point constitue une première étape de modélisation des connaissances.

1. Le terme «données historiques» est abordé plus en détail dans le chapitre 5.
2. Le CIDOC CRM, développé par le Comité International pour la DOCumentation (CIDOC) de l'International Council of Museum (ICOM) est une ontologie de référence pour le patrimoine culturel. http://www.cidoc-crm.org/
3. Nous appelons cet EVI «Lab in Virtuo» car il s'agit d'un espace de travail virtuel, interactif et collaboratif (éventuellement à distance) présentant la mise à disposition d'un jeu d'outils spécifiques pour les usagers.
4. http://dataforhistory.org/ : «The consortium aims to build up an international community of historians and computer scientists to first develop and then maintain a common ontological model that

- Le deuxième verrou : Générer cette représentation formelle de manière automatique dans l'EVI, ce qui nécessité d'aligner la méta-ontologie ANY-ARTEFACT-O avec le méta-modèle MASCARET dédié à l'activité technologique et aux procédures industrielles. Ce point constitue la seconde étape en termes de modélisation des connaissances. L'intérêt est par ailleurs pour l'usager de proposer une solution afin d'organiser les données historiques de façon à la fois simplifiée et générique.
- Le troisième verrou : Valider une méthode de production de scénarios de médiation culturelle au sein de l'EVI sur un domaine spécialisé en HST. Il s'agit à partir de la résolution des verrous 1 et 2 de produire : i) une ontologie spécialisée adaptée au domaine étudié en HST (par exemple l'activité dans les forges de Pontaniou) permettant de générer un corpus numérique de référence ; ii) générer des scénarios dans l'EVI, liés aux connaissances produites en HST par la méthode ANY-ARTEFACT (activité technologique, histoire comparée ...) et à l'aide de MASCARET.

9.4 Contributions

Ces travaux impliquent donc les domaines de l'HST, l'ingénierie des connaissances, la RV ainsi que le médiation. Afin de répondre à la problématique ainsi qu'aux trois verrous présentés précédemment, nous proposons les solutions suivantes qui représentent les contributions à une première architecture du Lab In Virtuo :

1. La méta-ontologie, «ANY-ARTEFACT-O» issue du méta-modèle en HST ANY-ARTEFACT qui permet de décrire les activités dans les paysages culturels industriels [5].
2. L'alignement entre la méta-ontologie formelle «ANY-ARTEFACT-O» et MASCARET, modèle d'activité développé au CERV permettant la simulation de systèmes techniques et des activités dans l'EVI [6].
3. Une ontologie spécialisée, «Forge-o» déclinée à partie de «ANY-ARTEFACT-O», en HST consacrée au domaine pris comme démonstrateur (les Forges de Pontaniou) [7].
4. en termes d'application et de démonstrateur, la production de différents types de scénarios en environnement virtuel dédiés à la médiation.

Ces contributions constituent les supports pour la rédaction d'un guide, appelé KM-ACIL («***K**nowledge **M**odelling dedicated to **A**ctivities in **C**ultural **I**ndustrial **L**andscapes*»), explicitant chacune des étapes permettant de concevoir un EVI pour le domaine de la médiation culturelle à partir de données recueillies par les historiens.

Les contributions 1 et 2 participent à la résolution du premier verrou, les contributions 3 et le 4 à la résolution du second verrou , et enfin le 5 à celle du 3e verrou.

9.5 Conclusion

Ce premier chapitre consacré aux travaux en HN a pour ambition de présenter les objectifs, les problématiques de recherches, mais également les contributions de ces travaux consacrés à la conservation et/ou à la valorisation du patrimoine et de l'activité associée.

would allow for domain specific, semantically robust data integration and interoperability. The consortium aims to build this model in the conceptual framework of the CIDOC CRM, in order to integrate to a broader cross-disciplinary modelling and data community.»

5. En collaboration avec Sylvain Laubé, Serge Garlatti, Ronan Querrec et Marlène Gilles.
6. En collaboration avec Ronan Querrec, Sylvain Laubé et Marlène Gilles.
7. En collaboration avec Marlène Gilles.

Dans le chapitre 10 nous présentons la démarche globale de conception du Lab in Virtuo s'appuyant essentiellement sur les deux méta-modèles et illustrant d'un point de vue conceptuel les différents outils utilisés ainsi que les étapes à suivre pour l'usager (historien, etc.). Dans ce chapitre nous proposons également l'ontologie générique ANY-ARTEFACT-O permettant de créer des ontologies spécifiques consacrées aux paysages culturels industriels et enfin nous montrerons, à partir de l'alignement entre cette ontologie et MASCARET, comment il est possible de procéder à une traduction automatique d'une ontologie spécifique rédigée à partir de l'ontologie générique et de l'EVI permettant de réaliser des activités dans le cadre d'une étude sur les paysages culturels industriels.

Dans le chapitre 11 nous proposons une ontologie spécifique correspondant au démonstrateur choisi (les forges de Pontaniou, dans l'arsenal de Brest).

Le chapitre 12 est consacré aux recherches effectuées sur les usages des EVI dans un contexte d'apprentissage. Pour cela, nous proposons trois types de scénarios de médiation en Environnement Virtuel dédiés l'acquisition de connaissances.

Nous opérationnalisons tous ces apports sous la forme du guide KM-ACIL qui précise les étapes de conception ainsi que les outils permettant de les réaliser (Voir annexes A).

Références chapitre 9

BURKHARDT Jean-Marie (2010), « Conception, utilisation et formation: trois perspectives sur l'apprentissage en ergonomie des technologies émergentes », *Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Université de Provence*.

LOURDEAUX Domitile (2001), « Réalité virtuelle et formation: conception d'environnements virtuels pédagogiques », thèse de doct., École Nationale Supérieure des Mines de Paris.

QUERREC Ronan, LAUBE Sylvain et al. (2018), « Lab in Virtuo: un Environnement Virtuel Intelligent pour l'histoire et le patrimoine des paysages culturels industriels ».

Chapitre 10

Processus de conception du Lab in Virtuo

10.1 Introduction

Dans le chapitre précédent nous avons décrit les objectifs, les verrous scientifiques, ainsi que la problématique de recherche pour la conception d'une première architecture du Lab in Virtuo. Ces travaux pluridisciplinaires impliquent de croiser des méthodologies en HST (chapitres 5, 6, 7 et 8) et en HN (chapitres 10,11 et 12).

La méthodologie en HST basée sur ANY-ARTEFACT concerne de fait une histoire comparée des activités humaines en technologie dans les paysages culturels industriels où celles-ci sont considérées comme des procédures (donc dépendantes du temps sur une durée donnée) situées temporellement et spatialement et où sont à questionner plusieurs aspects pour les décrire et les comprendre : les acteurs, le système technologique et les savoirs, d'une part,et d'autre part, la nature de leurs rôles dans l'activité.

Pour aborder les verrous 1 et 2 et développer une première architecture de l'EVI, plusieurs choix ont été effectués en termes de modélisation des connaissances :

- Afin d'assurer l'opérabilité des données historiques et de contribuer ainsi aux travaux du Consortium Data for History [1], le méta-modèle (informatique) ANY-ARTEFACT-O (méta-ontologie) dérivé du méta-modèle (HST) ANY-ARTEFACT (Voir chapitre 5) doit être compatible avec l'ontologie CIDOC-CRM. Cependant, bien que le concept d'activité existe dans CIDOC-CRM, cette ontologie n'est pas adaptée pour modéliser une activité technologique avec la précision, en termes de détails, et la finesse, en termes de temps notamment, exigées par les besoins scientifiques du projet de recherche.
- Pour assurer cette précision et cette finesse, le méta-modèle UML (informatique) MASCARET (dédié aux activités technologiques et industrielles) est bien adapté et celui-ci est validé par de nombreux travaux. Par ailleurs, MASCARET, dédié originellement à la formation pour l'industrie avec la production de scénarios d'activités pédagogiques pour l'EVI (voir dans le paragraphe suivant), permet de construire des scénarios de médiation dans le domaine de l'HST et du patrimoine industriel. Par contre, il n'a été pas été conçu pour produire un corpus numérique de données historiques interopérables avec CIDOC-CRM.
- Afin d'assurer la modélisation très fine d'une procédure (au sein de l'EVI) dans le cadre de la recherche en HST et patrimoine avec la possibilité d'interroger (toujours au sein de l'EVI) le corpus de données historiques dans le cadre des scénarios de médiations, nous avons choisi un couplage entre les deux méta-modèles informatiques. ANY-ARTEFACT-O prenant en charge :

  1. La nature de l'activité ainsi que la date, la durée et le lieu de cette activité.
  2. La modélisation des acteurs, des systèmes d'artefacts et des savoirs.
  3. L'implication des acteurs, artefacts et savoirs dans l'activité.
  4. Le sourçage des données historiques [2]. MASCARET modélisant les différentes étapes de la procédure de manière fine spatialement et temporellement à partir des données historiques.

  Ce choix implique la vérification préalable d'une concordance des concepts dans l'un et l'autre des deux méta-modèles informatiques afin de pouvoir les aligner.

1. http://dataforhistory.org/
2. Par exemple : le formage d'une pièce dans les forges de Pontaniou sur une durée de 26 minutes à partir d'une vidéo enregistrée en 1996.

Comme indiqué plus haut MASCARET est dédié à :

- La modélisation de systèmes technologiques et des activités associées.

- La construction des scénarios pédagogiques pour le domaine de la formation industrielle.

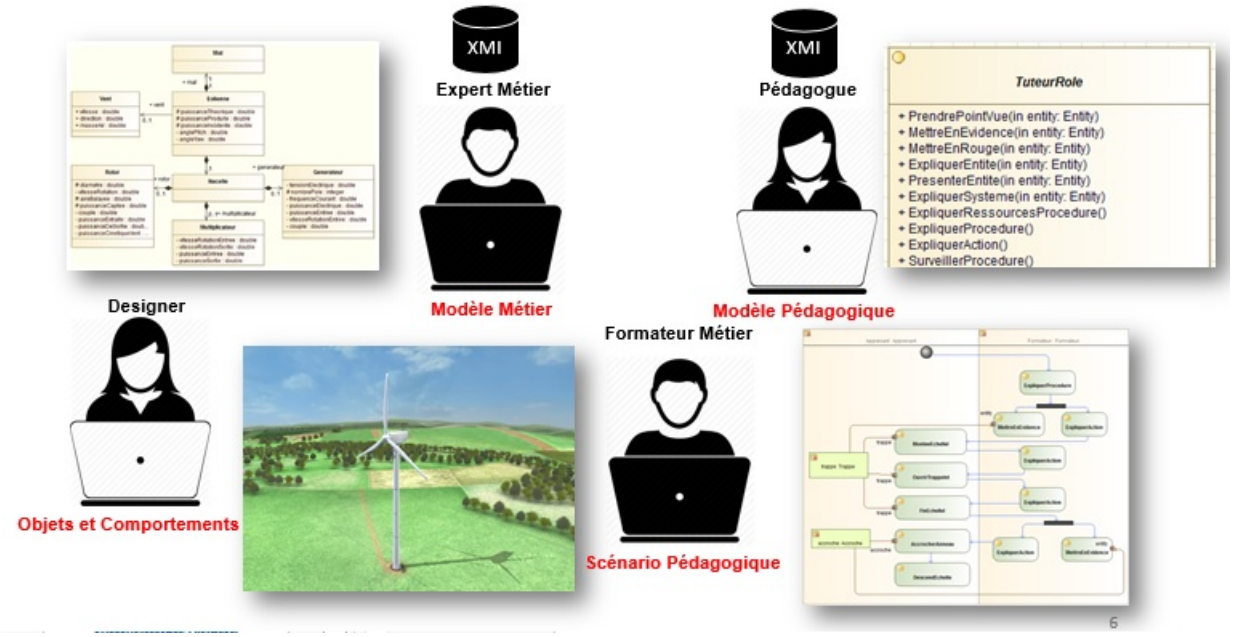


FIGURE 10.1 – Les rôles de MASCARET

Les rôles nécessaires pour la construction de ces scénarios pédagogiques (Voir figure 10.1) comprennent quatre profils : un expert métier chargé du modèle métier, un pédagogue pour le modèle pédagogique, un designer pour l'environnement virtuel ainsi qu'un formateur métier pour le scénario pédagogique.

L'expert métier est celui qui possède les connaissances sur le domaine concerné, le pédagogue est celui qui gère l'aspect pédagogique global du processus de formation, le designer gère les interactions avec les objets dans l'EV ainsi que les comportements, et enfin, le formateur métier est celui qui va mettre au point le scénario pédagogique avec les objectifs de formation qu'il faut remplir.

Cette organisation présente une analogie avec celle du Lab in Virtuo. Trois rôles sont nécessaires comme précisé sur la figure 10.2 :

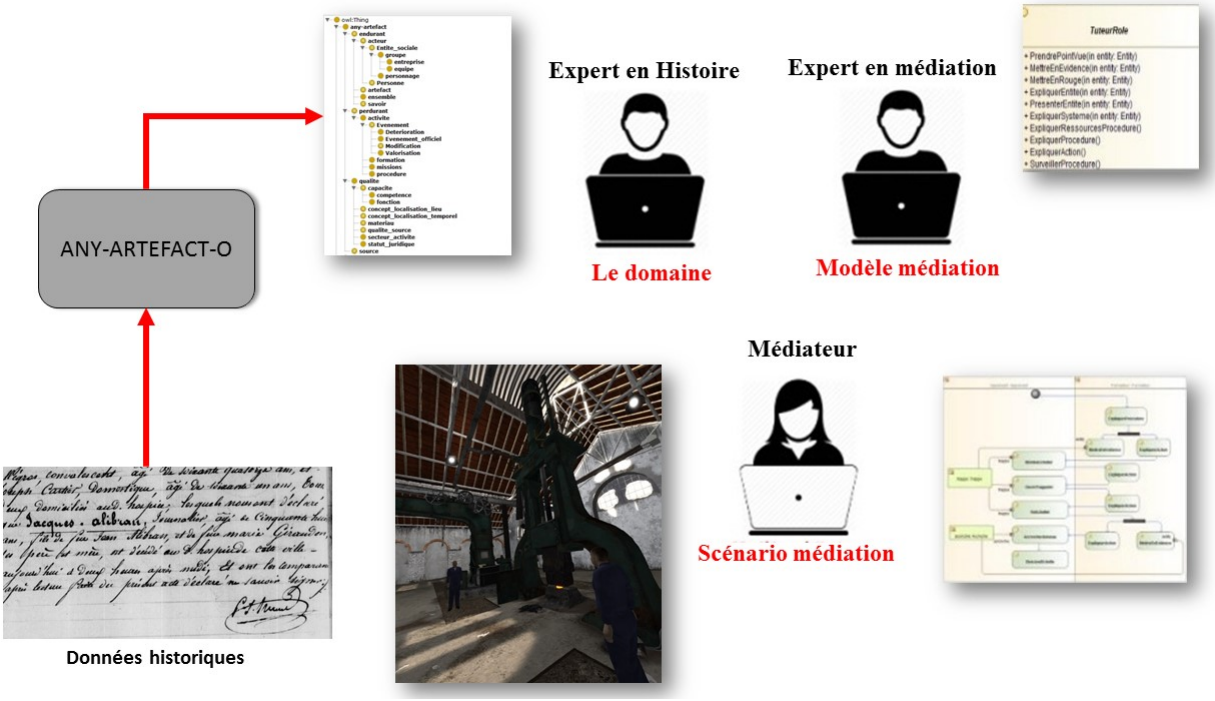


FIGURE 10.2 – Les rôles du Lab in Virtuo

- **L'Expert en histoire** est spécialiste du domaine de recherche et possède des connaissances sur la notion de paysages culturels industriels. A partir des connaissances du domaine (concernant un paysage culturel donné) et de la méta-ontologie ANY-ARTEFACT-O, il crée une ontologie spécifique du domaine qui est automatiquement aligné avec MASCARET. Ce rôle est associé au rôle d'expert métier dans MASCARET.
- **L'expert en médiation** possède des connaissances haut niveau en histoire et en HN. Il définit ainsi des actions génériques de médiations possibles pour guider ou corriger l'utilisateur dans l'environnement. Ces actions sont génériques. Dans le cas de MASCARET, il s'agit du rôle de pédagogue.
- **Le médiateur**. A partir des données de l'expert en histoire et du spécialiste médiateur, il élabore des scénarios de médiation (ensemble de situations dans lesquelles l'utilisateur va mener des actions et des interactions avec les objets de l'environnement). Ces scénarios de médiation impliquent l'apprentissage de connaissances ou de procédures et sont adaptés selon les publics concernés. Le rôle de médiateur dans le Lab in Virtuo correspond au rôle de formateur métier dans MASCARET.

Du point de vue utilisateur, un premier objectif est de «faciliter« le travail de l'expert en histoire ou en médiation pour générer un environnement virtuel à partir des données historiques.

L'objectif principal de ce chapitre est de présenter et expliciter :

- La démarche globale de conception du Lab in Virtuo c'est-à-dire le flux de conception ainsi que les outils nécessaires.
- La méthode de construction de la méta-ontologie (ontologie générique) ANY-ARTEFACT-O ainsi que son alignement avec le méta-modèle MASCARET.
- Une application basée sur la recherche concernant les activités dans les forges de Pontaniou en tant que démonstrateur.

10.2 Démarche globale de conception du Lab in Virtuo

La figure 10.3 présente les concepts impliqués dans la conception d'un Lab in Virtuo. Le niveau méta-modèle (Partie bleue sur les figures 10.3, 10.4 et 10.6) est le coeur du Lab in Virtuo. Les deux méta-modèles d'activité (ANY-ARTEFACT-O et MASCARET) et leur alignement constituent le socle «stable» et générique à partir duquel est mis en oeuvre le processus de conception pour l'application à un domaine donné (par exemple le démonstrateur «forges de Pontaniou»).

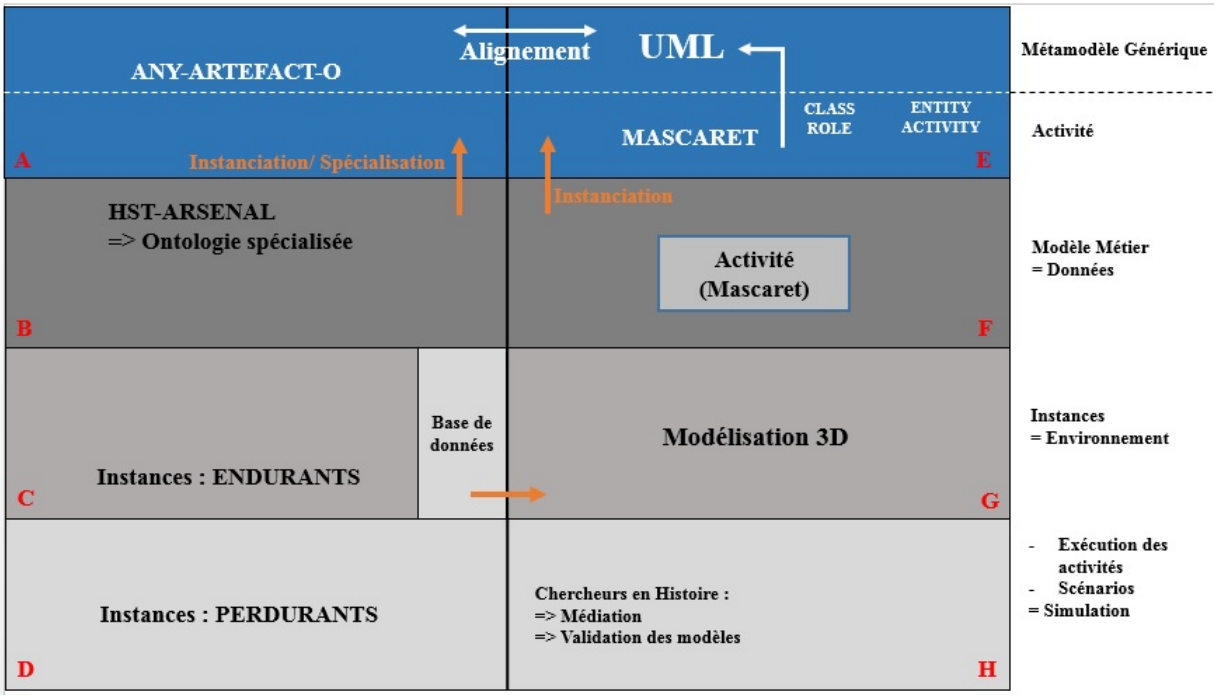


FIGURE 10.3 – Les concepts du Lab in Virtuo

La partie méta-modèle générique est complétée par un modèle métier décrivant à travers des données historiques et une ontologie de domaine :

- Les activités dans MASCARET ;
- Les instances correspondant aux informations relatives au sujet étudié qui sont générées dans l'environnement 3D
- Une partie exécution des activités qui correspond à la création de scénarios de modélisation des activités et de médiation.

Le processus de conception retenu implique deux parties spécifiques :

- Une partie en ingénierie des connaissances à partir du méta-modèle HST ANY-ARTEFACT pour produire l'ontologie correspondante ANY-ARTEFACT-O (i.e. sa traduction informatique) puis sa spécialisation de domaine (par exemple les forges de Pontaniou) comprenant l'ontologie correspondante (Forge-o) et les instances des concepts (acteur, artefact, savoirs, activité, etc.)
- Une partie Environnement Virtuel Informé (EVI) avec le méta-modèle de représentation d'activité MASCARET permettant la mise en place d'actions ainsi qu'un environnement 3D cinétique.

Avant de présenter ces concepts plus en détail, nous allons avant toutes choses présenter le flux de conception du Lab in Virtuo..

10.2.1 Le flux de conception

Le flux de conception du Lab in Virtuo implique cinq tâches comme il est spécifié sur la figure 10.4.

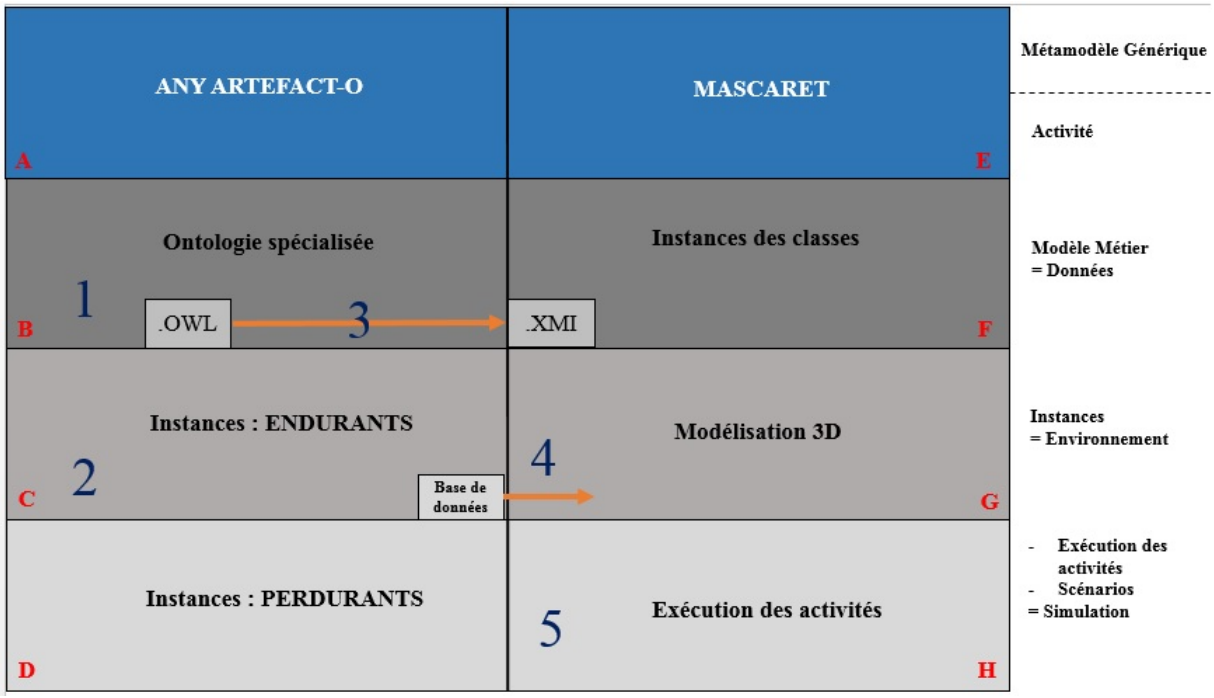


FIGURE 10.4 – La chaîne de production

Tâche 1 (Figure 10.4, B) La tâche 1 du flux de production du Lab in Virtuo concerne le chercheur en histoire et a pour objet l'élaboration d'une ontologie spécialisée du domaine étudié en HST.

Le chercheur en histoire doit travailler sur le recueil de données historiques afin de regrouper un maximum d'informations sur le domaine étudié. Pour cela, le chercheur utilise les méthodologies développées en HST qui sont présentées dans les chapitres 5 et 6.

Ces méthodologies ont recours au modèle ANY ARTEFACT qui implique l'étude des notions d'artefact, d'acteur et de connaissances afin d'étudier l'activité, ainsi que le modèle HST pour identifier les cycles d'évolution. Une fois le recueil de données effectué, le chercheur peut procéder à un travail préparatoire à l'aide de cartes conceptuelles semblables à celle de la figure 10.5. Ce type de représentation graphique des connaissances permet de mettre en évidence des classes ainsi que les liens qui les unissent. Il s'agit ici de mettre en exergue les informations que l'on souhaite intégrer à l'ontologie. L'usage des cartes conceptuelles s'avère utile pour les chercheurs en histoire qui n'ont pas, ou peu, de connaissances en matière de construction d'ontologies.

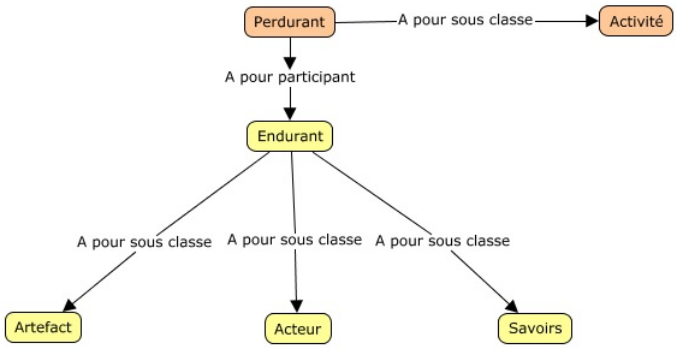


FIGURE 10.5 – Exemple de carte conceptuelle

Une fois la carte conceptuelle créée, il est nécessaire de passer à la construction de l'ontologie spécialisée sur le domaine étudié. Cette ontologie spécialisée est une extension de l'ontologie ANY ARTEFACT-0 (Figure 10.4, A), elle reprend donc les concepts de l'ontologie générique. L'intérêt est d'utiliser les classes génériques de ANY-ARTEFACT-0 pour construire l'extension et la spécialiser sur un domaine d'étude en particulier (par exemple les forges de Pontaniou).

Tâche 2 (Figure 10.4, C) Au même titre que la tâche 1, la tâche 2 est également attribuée au chercheur en histoire. Une fois l'ontologie spécialisée construite, il est nécessaire d'instancier l'ontologie sur le sujet concerné par le Lab in Virtuo. Il est possible de le faire directement dans le logiciel de création d'ontologie ou dans une interface web permettant de créer des bases de données. Ces interfaces web permettent, grâce à des formulaires construits sur l'ontologie choisie, de rentrer aisément des informations afin de compléter la base de données du Lab in Virtuo. Le recours à ces formulaires permet de masquer la complexité des ontologies.

Tâche 3 (Figure 10.4 lien entre B et F) La tâche 3 de la chaîne de production du Lab in Virtuo implique une action automatique permettant de faire un lien entre l'ingénierie des connaissances et l'EVI. Cette tâche permet de traduire l'ontologie en informations compréhensibles par l'EVI via MASCARET. L'ontologie spécialisée est au format OWL (*Web Ontology Language*) et doit être traduite en format XMI (*XML Metadata Interchange*). Pour cela, les informations sont rentrées dans un modeleur UML. Les diagrammes UML permettent de mettre en évidence les relations, les acteurs et les systèmes.

Tâche 4 (Figure 10.4,G) La tâche 4 implique également une procédure automatique entre la partie ingénierie des connaissances du Lab in Virtuo et l'environnement virtuel informé (EVI). Comme il a été spécifié dans la tâche 2, les instances concernant le domaine étudié sont stockées dans une base de données. Il est nécessaire de pouvoir interroger cette base de données afin «d'alimenter» l'EVI.

Tâche 5 (Figure 10.4, H) Le développement du Lab in Virtuo permet l'exécution d'activités, de scénarios de médiation ainsi que de simulations. Le chercheur en histoire qui possède toutes les connaissances sur le domaine, se charge de la création de scénarios de médiation pour la mise en place d'activités de médiation (LE CORRE et al. 2014). Il peut y avoir deux types de scénarios : l'acquisition de connaissances ou l'acquisition de procédures. Pour élaborer ces scénarios il est également nécessaire de se pencher sur le rôle du guide virtuel au sein de l'EVI et sur les actions possibles au sein de l'environnement

comme mettre en évidence des objets, afficher de la documentation ou changer de point de vue.

La démarche de conception du Lab in Virtuo nécessite des outils spécifiques que nous allons à présenter.

10.2.2 Les outils logiciels

Les outils[3] utilisés sont destinés à répondre aux problématiques posées pour la création du Lab in Virtuo. La figure 10.6 présente le schéma de conception du Lab in Virtuo ainsi que les différents types d'outils nécessaires pour chaque niveau.

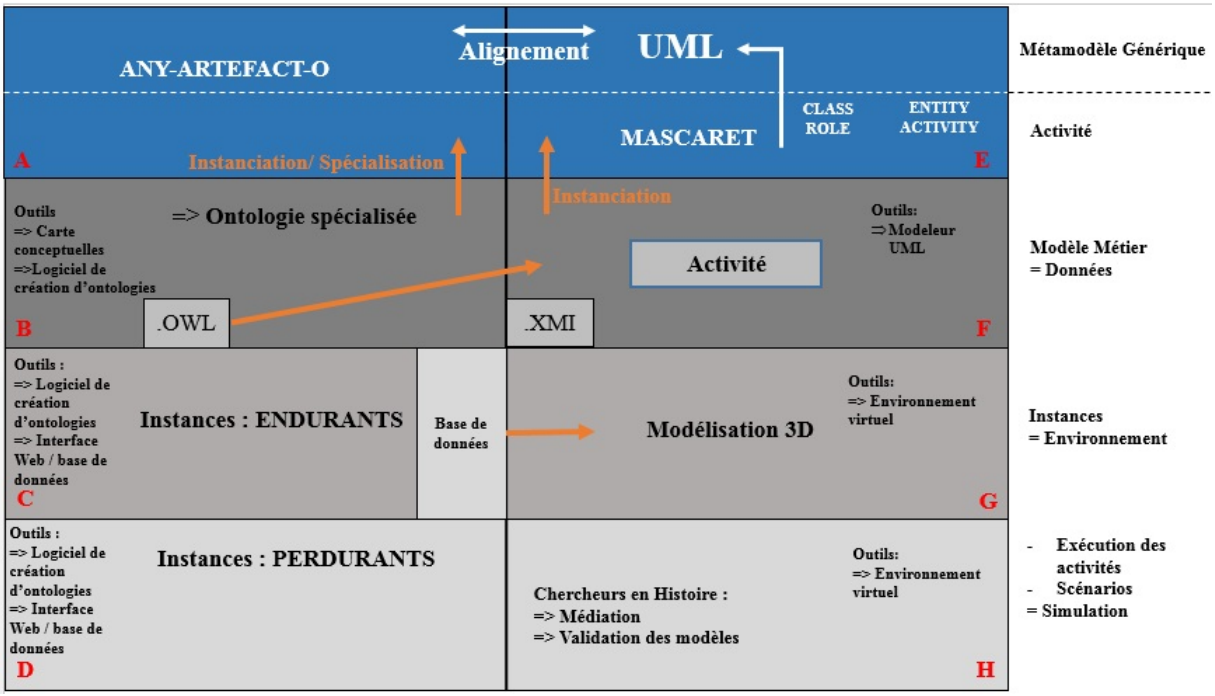


FIGURE 10.6 – Les outils employés pour la conception du Lab in Virtuo

Un certain nombre d'outils sont nécessaires pour répondre aux différentes tâches appliquées à la création d'un Lab in Virtuo :

1. Un logiciel de création de cartes conceptuelles permettant de repérer les différentes classes du domaine et d'organiser les données. Avant de se lancer dans la création d'ontologies, il est possible de commencer à travailler au moyen de cartes conceptuelles. Il s'agit d'un mode de représentation graphique de concepts reliés sémantiquement entre eux. (Figure 10.6, B)
2. Un logiciel de création d'ontologies (Figure 10.6, B,C,D) permettant la modélisation des connaissances sur le domaine.
3. Une base de données permettant de stocker les informations mais également de récolter de nouvelles données sur le domaine. (Figure 10.6, C,D)
4. Un logiciel d'environnements 3D (Figure 10.6, G,H). L'environnement 3D constitue «l'enveloppe» du Lab in Virtuo

3. Les outils utilisés dans le cadre du Lab in Virtuo appliqué aux forges de Brest seront présentés dans le guide méthodologique (Voir chapitre A).

5. Un modeleur UML (Figure 10.6, F) permettant de représenter les activités dans MASCARET.
6. Une base de données 3D permettant de stocker les modélisations et de permettre leur conservation.

Ces outils participent à la chaîne de production d'un Lab in Virtuo.

10.3 L'ontologie générique ANY-ARTEFACT-O

10.3.1 La conception de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O

ANY ARTEFACT-O a pour objectif d'être une ontologie générique à partir de laquelle il est possible de produire une ontologie spécialisée en référence à un paysage culturel donné. S'il s'agit d'une «CORE-Ontologie» ou «ontologie-noyau» c'est-à-dire une ontologie fournissant les concepts structurants d'un domaine (ici les activités dans les paysages culturels industriels) et décrivant les relations entre ces concepts issus du méta-modèle HST ANY-ARTEFACT, elle s'appuie aussi sur les concepts définis dans un un article de Kassel faisant référence de manière explicite à des ontologies hautes de type DOLCE [4] (CHARLET, BACHIMONT, MAZUEL et al. 2009).

La méthodologie retenue ici présente à la fois des analogies avec celle présentée dans la thèse de Bruno (ROHOU 2018) mais également des différences notables. Dans cette dernière, le principe avait été de produire un modèle en histoire HST-PORT plutôt centré sur les indicateurs de l'évolution du port (quais, grues, etc.) à partir d'ANY-ARTEFACT puis de construire une ontologie à partir des concepts issus du CIDOC-CRM. Ici, l'idée est de construire :

- Une première ontologie appelée ANY-ARTEFACT-O 0.1, «traduction» du méta-modèle HST ANY-ARTEFACT à partir des concepts développés par Kassel. Elle est indépendante à priori de CIDOC-CRM tout en s'inspirant en partie de certains concepts.
- Une seconde ontologie ANY-ARTEFACT-O 0.2 à partir de l'alignement de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O 0.1 avec CIDOC-CRM

Il s'agira ensuite de produire à partir d'ANY-ARTEFACT-O 0.2 une ontologie spécialisée du domaine étudié (ici notre démonstrateur sur les activités dans les forges de Pontaniou).

10.3.2 Les différents niveaux de conception

D'ANY-ARTEFACT à ANY-ARTEFACT-O 0.1

Cette étape implique la «traduction» des concepts du méta-modèle ANY-ARTEFACT décrit dans le chapitre 5. Celui-ci présente deux composantes :

- Un modèle d'évolution spatio-temporel avec des étapes inscrites dans une chronologie avec l'objectif de construire une périodisation comparée des macro-systèmes technologiques à partir d'indicateurs pertinents.
- Étudier pour chaque étape, les activités humaines en s'appuyant sur les acteurs, les artefacts et les savoirs associés (Voir figure 10.7).

4. En opposition à la «top ontologie» dont le niveau est plus haut et dont la conception dépend de réflexions philosophiques.

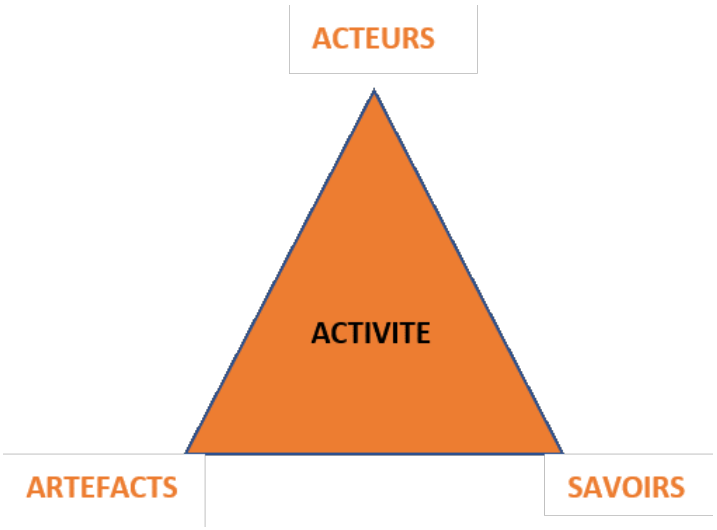


FIGURE 10.7 – Le méta-modèle d'activité ANY ARTEFACT

La composante méta-modèle d'activité d'ANY-ARTEFACT implique l'étude et la définition des concepts suivants définis précédemment :

- **Le concept d'acteur :** c'est-à-dire :
  1. L'être humain en tant que personne
  2. Les groupes, c'est-à-dire plus de deux individus présentant une organisation sociale
  3. Les personnages qui représentent des statuts ou des postes occupés (par exemple : forgeron).
- **Le concept d'artefact :** Il s'agit d'une production humaine ayant une fonction c'est-à-dire une capacité à réaliser une action, ainsi qu'un usage.
- **Le concept de savoirs :** Concerne les savoirs théoriques ou procéduraux.
- **Le concept d'activité :** L'activité est vue comme une succession d'événements (uniques ou répétitifs) impliquant des acteurs, des artefacts ainsi qu'un système de savoirs. L'activité se déroule dans le temps et est également située spatialement (ROHOU 2018). Dans le cadre du développement de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O, nous appellerons «pratiques culturelles industrielles» l'ensemble des activités industrielles :
  1. Les activités industrielles routinières (situées dans le temps et l'espace, associées à une durée) que nous appellerons «procédures» technologiques ou scientifiques impliquant des acteurs, des artefacts et des savoirs (par exemple : la forge d'une pièce [5].
  2. Des évènements uniques (création d'un atelier, panne, accident, etc.)

  Une «Pratique culturelle industrielle» est donc située dans le temps et l'espace (par exemple l'ensemble des activités de la forge de Pontaniou au XVIIIe siècle dans l'Arsenal de Brest). Une «procédure» est une chaîne opératoire qui sera considérée comme stable et identique sur la période concernée (par exemple : la procédure de forge des ancres à Brest entre 1710 et 1760). Elle a donc eu lieu de manière répétitive. Des évènements uniques seront représentatifs de cette procédure (la forge d'une ancre le 16 janvier 1730, le 6 février 1755, etc.)

5. A rapprocher de la notion de «chaîne opératoire» ; voir (BALFET 1991))

A l'instar de (BORGO et al. 2014), nous considérons l'article de G. (KASSEL 2009) comme un cadre théorique inspirant où sont «jetées» *«Les bases d'une ontologie formelle permettant de rendre compte de la nature générale des artefacts. L'objectif visé par une telle ontologie est d'aider à structurer des ontologies d'application dans des domaines où des artefacts spécifiques sont présents, autrement dit pratiquement tout domaine d'activité!»*. Par ailleurs, il part du constat que :

> *«Les notions d'artefact, d'auteur et de fonction sont absentes de DOLCE. Élaborer une telle ontologie d'application nécessite donc d'introduire ces concepts d'un niveau intermédiaire. Une analyse de l'existant concernant le traitement des artefacts dans les ontologies montre que des concepts généraux de ce domaine sont présents dans des ontologies de haut niveau comme OpenCyc3 ou SUMO4, cependant les principes sous-tendant leur structuration ne sont pas explicités et les concepts sont définis sans référence à la littérature sur ce domaine. [...] Une telle situation nous a motivé à définir une ontologie formelle d'artefacts qui spécialise l'ontologie DOLCE et qui soit fondée sur la littérature récente sur le domaine (*KASSEL *2009).»*

L'objectif pour nous n'est pas de produire une ontologie formelle qui spécialise DOLCE mais une première ontologie, ANY-ARTEFACT-O 0.1, indépendante d'ontologies hautes mais s'inspirant des concepts philosophiques qui sont définis dans (KASSEL 2009) à partir des concordances que nous observons concernant les quatre concepts à l'oeuvre dans le méta-modèle ANY-ARTEFACT (artefacts, acteurs, savoirs, activités) [6].

(KASSEL 2009) introduit une première définition : *«Les artefacts sont donc à considérer comme des entités artificielles (préalablement) intentionnellement produites et possédant un auteur»* qui s'affine ensuite : *«En résumé, nous assimilons un artefact à une entité produite intentionnellement comme faisant partie d'un certain type d'artefact et se voyant par là même attribuer la (ou les) fonction(s) communément attachée(s) à ce type d'artefact»*.

Par ailleurs, il propose pour les notions de fonction et d'entité fonctionnelle, d'adopter les définitions suivantes :

- *Une fonction est la capacité à permettre de réaliser une action.*
- *Une entité fonctionnelle est une entité ayant la capacité à permettre de réaliser une action.*

La notion de capacité étant par ailleurs définie : *«En dressant un parallèle avec la notion de compétence et celle d'agent, couramment définies en Intelligence Artificielle comme suit :*

- *Une compétence est la capacité à réaliser une action,*
- *Un agent est une entité ayant la capacité à réaliser une action.*

Le terme « capacité » indique un potentiel qui est exploité lors de la réalisation d'une action et rend cette dernière possible. En tant que potentiel, la compétence est à distinguer de l'action à laquelle elle se rapporte et du fait que cette action réussisse ou échoue, donc du fait que le résultat visé existe ou pas» (KASSEL 2009).

Pour établir le lien avec la définition de (RABARDEL 1995) vue précédemment [7], nous

6. La deuxième étape qui consiste à aligner les concepts du domaine ANY-ARTEFACT-0 0.1 avec CIDOC-CRM conduira à ANY-ARTEFACT-O 0.2.

7. *«Nous lui donnerons un contenu plus précis que celui de "chose ayant subi une transformation d'origine humaine». En effet, ce qui nous intéresse, c'est la chose susceptible d'un usage, élaborée pour s'inscrire dans des activités finalisées. [...] L'artefact concrétise une solution à un problème ou à une classe de problèmes socialement posés (*RABARDEL *1995)»*

proposons la correspondance suivante :

- La fonction (la capacité à réaliser une action) constitue un problème ou une classe de problèmes à résoudre et identifié par l'auteur (au sens de Kassel)

- L'artefact constitue une entité fonctionnelle constituant une solution aux problèmes.

Comme l'indique Kassel, des entités philosophiquement justifiées et base du domaine DOLCE ont été mises en évidence (MASOLO et al. 2003).

- **Les endurants** qui sont des entités qui «endurent» dans le temps, comme par exemple les objets, les hommes ou les concepts.

- **Les perdurants** qui sont des entités qui se «déroulent» dans le temps comme par exemple des évènements ou des activités

Les endurants participent alors aux perdurants. Les deux entités que sont les endurants et les perdurants sont également complétés par des qualités.

- **Les qualités** qui correspondent aux caractéristiques des entités (comme par exemple leur forme ou leur couleur).

A partir de ces définitions, nous considérons que les concepts d'«Artefact», «Acteur» et «Savoir» sont bien recouverts par celui d'«endurant», le concept d'activité par «perdurant», le concept de «capacité» par celui de «qualité». en termes d'ontologie, l'ontologie ANY-ARTEFACT-0 0.1 se traduit donc par trois classes principales (Voir figure 10.8) :

- Les endurants ayant pour sous-classes les concepts «acteur», «artefact» et «savoir» du méta-modèle ANY-ARTEFACT. Nous introduisons par ailleurs le concept d'«ensemble» en tant que sous-classe d'endurant en considérant qu'un ensemble d'artefacts faisant système est un artefact (par exemple ; l'atelier des forges de Pontaniou composé de marteau-pilon, de grue, de four, d'outils...), de même pour les acteurs et les savoirs. De manière plus large, sur le principe posé dans ANY-ARTEFACT qu'une activité industrielle repose sur l'implication des trois sous-classes «acteur», «artefact» et «savoir», nous considérons qu'ils constituent un «ensemble» d'endurants (i.e. un ensemble d'endurants est un endurant).

- Les perdurants ayant comme sous-classe le concept d«activité» auquel nous associerons désormais en tant qu'équivalent le concept de «pratique culturelle industrielle» décrit plus haut qui comprend l'ensemble des activités (procédurales ou uniques) sur une période donnée et spatialement située.

- Les qualités ayant par exemple comme sous-classe «capacité».

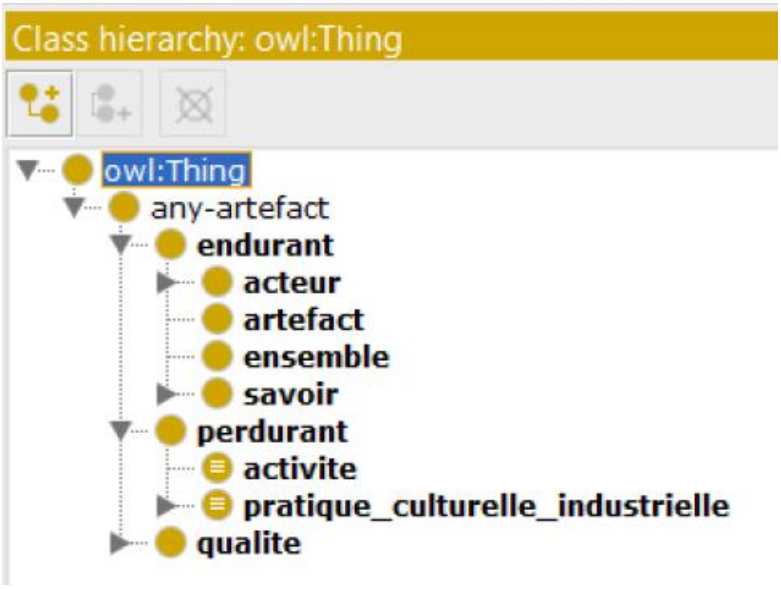


FIGURE 10.8 – L'ontologie ANY-ARTEFACT-O 0.1. «traduction» du modèle ANY-ARTEFACT

Détaillons à présent les différentes composantes de l'ontologie :

- **Perdurant :** Comme indiqué plus haut, le concept de «pratique culturelle industrielle» est pour nous équivalent à «activité humaine», ceci permet d'éviter en outre pour la suite toute analogie ou confusion avec le concept «activité» dans CIDOC-CRM (Voir figure 10.9).

FIGURE 10.9 – Les classes des perdurants dans l'ontologie ANY-ARTEFACT-O

Nous rappelons que nous considérons que deux types d'activités sont à prendre en compte. D'une part, des évènements qui présentent un caractère unique (comme la création des forges de Pontaniou, le remplacement d'une pièce, l'arrêt de l'activité des forges) qui sont situés dans l'espace et le temps et, d'autre part, les procédures qui en diffèrent dans le sens où il s'agit d'activités récurrentes avec une certaine fréquence représentant une stabilité sur une période donnée (par exemple, la forge des ancres au XVIIIe). etc..

- **Endurant/Acteurs :** La figure 10.10 montre les deux sous-classes de la classe «acteurs» : «entité sociale» [8] et «individu». .

8. Voir par exemple (RAMOGNINO 2014)

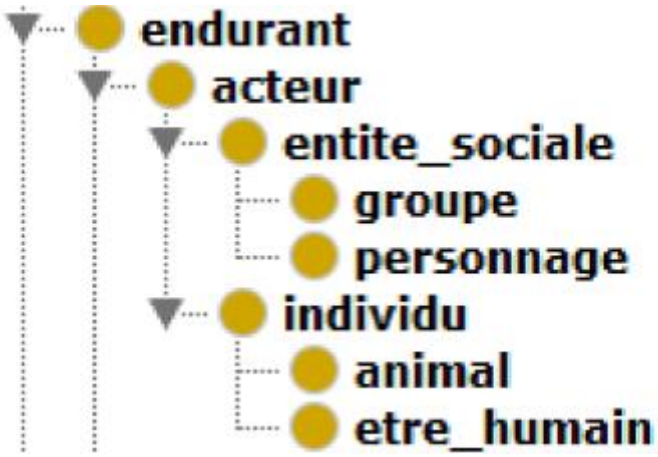


FIGURE 10.10 – La classe «acteur» et ses sous-classes dans l'ontologie ANY-ARTEFACT-O 0.1

Les «entités sociales» sont des organisations sociales formalisées et organisées (un état, une entreprise, un port, un laboratoire, l'équipe des forges, ...) ou plus floues (un groupe d'amis, ...), d'où la sous-classe «groupe» composée d'au moins deux entités individuelles que nous avons nommées «personnage» (le président de la République, le forgeron, ...). A ces «entités sociales» sont associées à des compétences («la capacité à réaliser une action», c'est-dire être impliqué et participer ici à une 'pratique culturelle industrielle»). un «groupe» est un «ensemble» de «personnages». Les «individus» sont pour nous des êtres vivants ou ayant vécus. Ils occupent au cours de leur vie divers statuts notamment professionnels : ils incarnent des «personnages». Selon le dictionnaire, le terme «personnage» peut avoir plusieurs définitions comme par exemple : *«Personne qui figure dans une action théâtrale et qui est jouée par un acteur*[9]*»*. Le vocabulaire est ici issu du théâtre ou du cinéma. Notre définition de «personnage» correspond à cette seconde définition : *«Rôle que l'on joue dans la vie*[10]*»*. A titre d'exemple, l'«être humain» M. Vourch [11] a incarné au cours de sa vie professionnelle le «personnage» de forgeron, avec des «compétences» spécifiques au sein de l'équipe forges de Pontaniou (un groupe), un des services de l'entreprise DCNS (un «groupe» incluant un autre «groupe»). Compte tenu des discussions avec Nicolas Richard, porteur du LIA «Mines d'Atacama» concernant les activités dans l'environnement industriel et minier du désert d'Atacama, nous considérons aussi les animaux comme «individu» incarnant «un personnage», comme par exemple «le lama nommé X transportant du matériel et se déplaçant seul d'un point à un autre».

- **Endurant/Artefact :** La classe «artefact» est une entité fonction spécialisée. Un «artefact» peut être dans certains cas considéré comme un «ensemble» d'«artefacts» éventuellement de très grande dimension spatio-temporelle quand il s'agit d'un macro-système technologique complexe comme un port, un arsenal, un système minier. A un «artefact» sont associées une ou des fonctions (toujours au sens de Kassel).

- **Endurant/Savoir :** La figure 10.11 représente les sous-classes du concept «savoir».

9. https://www.larousse.fr/
10. https://www.larousse.fr/
11. Un des forgeron ayant participé au recueil de données (Voir chapitre 5).

FIGURE 10.11 – La classe «savoir»

Nous avons décomposé la classe «savoir» en deux sous-classes : i) «savoir déclaratif» qui est un ensemble de connaissances qu'un individu est capable d'énoncer, c'est-à-dire traduisible en termes de langage sous forme orale, écrite, etc.; ii) «savoirs incarnés» [12] ou incorporés comme l'indique (CHAMOUX 1978) citant Yves Barrel :

> *« Le travail est d'abord une activité qui repose soit sur un savoir-faire incorporé, soit sur la maîtrise d'algorithmes.* ***Un savoir-faire incorporé est un savoir-faire indissociable d'individus ou de groupes concrets : il est le résultat de leur apprentissage personnel, de leur expérience, de leur habileté. La caractéristique la plus importante du savoir-faire incorporé est qu'il n'est pas analysable et décomposable jusqu'au bout (le cas où l'analyse et la décomposition totales sont possibles, mais non tentées, est un cas limite). Le travailleur sait faire, mais il ne sait pas complètement comment il sait****. Le savoir-faire incorporé n'est donc pas transmissible par enseignement. Il n'est transmissible que par apprentissage c'est-à-dire par la reproduction plus ou moins à l'identique d'individus ou groupes au cours du travail lui-même. Le support du savoir-faire est humain et biologique. Mais quand le savoir-faire est analysable et décomposable jusqu'au bout le savoir et le faire peuvent se déconnecter. Le savoir s'incorpore alors dans un rapport non humain : un livre, un traité, un programme, une fiche d'instructions, un croquis etc.»*

La classe «savoir déclaratif» se décompose en trois sous-classes en référence à la taxinomie proposée par (KRATHWOHL 2002) :

12. voir aussi (TANAKA 2011)

Table 2
Structure of the Knowledge Dimension of the Revised Taxonomy

A. ***Factual Knowledge*** **–** The basic elements that students must know to be acquainted with a discipline or solve problems in it.
- **Aa. Knowledge of terminology**
- **Ab. Knowledge of specific details and elements**

B. ***Conceptual Knowledge*** – The interrelationships among the basic elements within a larger structure that enable them to function together.
- **Ba. Knowledge of classifications and categories**
- **Bb. Knowledge of principles and generalizations**
- **Bc. Knowledge of theories, models, and structures**

C. ***Procedural Knowledge*** – How to do something; methods of inquiry, and criteria for using skills, algorithms, techniques, and methods.
- **Ca. Knowledge of subject-specific skills and algorithms**
- **Cb. Knowledge of subject-specific techniques and methods**
- **Cc. Knowledge of criteria for determining when to use appropriate procedures**

FIGURE 10.12 – La taxonomie du savoir par (KRATHWOHL 2002)

Le «savoir factuel» correspond ici au fait que l'on est capable d'énoncer comme par exemple le nom d'un outil, le nom d'une personne, la durée d'une procédure. Le «savoir conceptuel» ainsi que le «savoir procédural» reprennent les mêmes points (Ba, Bb, Bc) et (Ca,Cb, Cc) de la taxonomie présentée dans la figure 10.12.

- **Qualité :** La figure 10.13 représente les premières sous-classes du concept «qualité».

FIGURE 10.13 – La classe «qualité»

La classe «qualité» est une propriété, c est à dire ce qui qualifie l'artefact. Cette classe permet d'associer des propriétés spécifiques soit aux endurants, comme par exemple «propriété physique» (dimension, matériau, etc.) ou «capacité» au sens de (KASSEL 2009) ; soit aux perdurants ce qui implique de pouvoir les situer dans le temps («concept temporel») et dans l'espace («concept spatial»).

Nous avons jeté ainsi les bases de domaine de la méta-ontologie ANY-ARTEFACT-O 0.1 qui, bien que s'inspirant des concepts issus de Kassel et de DOLCE, est ici indépendante de DOLCE ou d'une autre ontologie haute. en termes de démarche, nous nous trouvons alors devant plusieurs stratégies possibles :

- Continuer à développer une méta-ontologie totalement indépendante adaptée au domaine qui nous occupe avec dans ce cas le problème de l'interopérabilité des informations historiques.
- Développer une méta-ontologie que nous appelons ANY-ARTEFACT-O 0.2 en alignant les concepts lorsque c'est possible avec une ontologie haute.

Nous avons choisi de nous appuyer sur CIDOC-CRM compte tenu des raisons explicitées plus haut en lien avec les travaux en cours dans le cadre du consortium Data for History.

L'ontologie ANY-ARTEFACT-O 0.1 correspond donc à la première étape de création de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O. Cette étape a consisté à structurer le domaine de façon générique et les concepts du méta-modèle ANY-ARTEFACT en classes et sous-classes.

Nous allons à présent nous intéresser au second niveau de conception de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O : ANY-ARTEFACT-O 0.2.

D'ANY-ARTEFACT-O 0.1 à ANY-ARTEFACT-O 0.2

Le domaine de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O est d'étudier les paysages culturels industriels et l'activité associée, l'étape suivante de son développement est donc de s'insérer dans une communauté bien établie afin de garantir la sémantique de l'ontologie mais également sa réutilisation.

L'usage des ontologies est particulièrement présent dans les domaines du patrimoine et de l'histoire avec CIDOC-CRM [13], ou encore SyMoGIH [14]. Le choix d'une ontologie de référence consacrée à l'histoire et au patrimoine est un choix stratégique car son utilisation permet l'insertion du projet dans une communauté favorisant ainsi une co-construction des connaissances. Pour ce faire, le choix s'est porté sur CIDOC-CRM qui est considéré comme une ontologie de référence. Développée par le Comité international de documentation (CIDOC) du Conseil international des musées (ICOM), cette ontologie est consacrée au patrimoine culturel que de nombreuses communautés ont adapté pour répondre à des besoins spécifiques (CRMgeo pour la géolocalisation du patrimoine culturel, CRMarchaeo pour les fouilles archéologiques). L'intérêt de cette ontologie, comme le précise (EIDE et al. 2008) est qu'elle est destinée à l'origine au patrimoine culturel mais surtout qu'elle est développée par une communauté interdisciplinaire très active au même titre que le consortium «Data for History» :

> *«CIDOC-CRM is a formal ontology intended to facilitate the integration, mediation and interchange of heterogeneous cultural heritage information. It was developed by interdisciplinary teams of experts, coming from fields such as computer science, archaeology, museum documentation, history of arts, natural history, library science, physics and philosophy, under the aegis of the International Committee for Documentation (CIDOC) of the International Council of Museums (ICOM)»* (DOERR 2005).

13. http://www.cidoc-crm.org/
14. http://symogih.org/

Afin de comprendre les enjeux de l'étape de construction de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O 0.2, les points suivants vont être examinés :

- La concordance des entités principales dans ANY-ARTEFACT-O 0.1 et CIDOC-CRM (Voir figure 10.14) montre l'organisation des classes principales du CIDOC-CRM (E1 CRM Entity) et d'ANY-ARTEFACT-O 0.1.)
- La concordance des classes «acteur», «artefact»,«savoir» et «pratique culturelle» de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O 0.1 avec celles du CIDOC-CRM
- La question des propriétés d'ANY-ARTEFACT-O incluant les propriétés du CIDOC-CRM

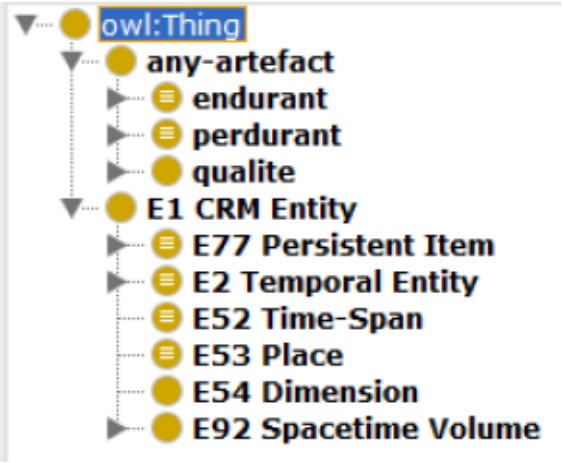


FIGURE 10.14 – Les classes principales du CIDOC- (E1 CRM Entity) et d'ANY-ARTEFACT-O 0.1.

ANY-ARTEFACT 0.1 et CIDOC-CRM présentent une organisation analogue avec trois types d'entités principales : d'une part, «endurant» et «perdurant» que nous associons respectivement à «E77 Persistent Item» et «E2 Temporal Entity» et , d'autre part, «qualité» à comparer à l'ensemble «E52 Time Span», «E53 Place», «E54 Dimension» et «E92 Spacetime Volume»

La question des entités principales («endurant», «perdurant») versus («E77 Persistent Item», «E2 Temporal Entity»)

Comme vu plus haut, ANY-ARTEFACT-O 0.1 est composée à partir des concepts du méta-modèle ANY-ARTEFACT organisés selon des entités inspirées de Kassel et DOLCE. Par ailleurs, la documentation CIDOC-CRM [15] indique :

- E77_Persistent_Item : *«This class comprises items that have a persistent identity, sometimes known as "endurants" in philosophy [...] Persistent Items can be either physical entities, such as people, animals or things, or conceptual entities such as ideas, concepts, products of the imagination or common names».*
- E2_Temporal_Entity : *«This class comprises all phenomena, such as the instances of E4_Periods, E5_Events and states, which happen over a limited extent in time [...] In some contexts, these are also called perdurants».*

Nous sommes en plein accord avec le constat de (BERETTA 2016) qui indique en lien avec les travaux de recherche menés au sein de SyMoGIH [16] : *«Lorsqu'on parcourt la liste*

15. Voir http://www.cidoc-crm.org
16. Voir http://symogih.org/

des classes qui structurent à son plus haut niveau l'ontologie [CIDOC-CRM], on retrouve une articulation inspirée de DOLCE : la classe E77_Persistent_Item comprend les endurants, E2_Temporal_Entity est explicitement assimilée aux perdurants.»

Conclusion 1 :

Nous considérons désormais que les entités «endurants» et «perdurants» d'ANY-ARTEFACT-0 0.1 sont équivalentes respectivement aux classes E77_Persistant_Item et E2_Temporal_-Entity du CIDOC-CRM.

La question des entités principales CIDOC-CRM à comparer à «qualité»

De notre point de vue (inspiré toujours de Kassel et DOLCE), «qualité» est une propriété (date, lieu, couleur, dimension, capacité, etc.) associée à un endurant ou un perdurant. La documentation CIDOC-CRM indique :

- E52_Time-Span : *«This class comprises abstract temporal extents, in the sense of Galilean physics, having a beginning, an end and a duration. Time Span has no other semantic connotations. [...] Examples : 1961 ; from 12-17-1993 to 12-8-1996 ; 14h30 - 16h22 4th July 1945 ; duration of the Ming Dynasty»*
- E53_Place : *«This class comprises extents in space, in particular on the surface of the earth, in the pure sense of physics : independent from temporal phenomena and matter». The instances of E53 Place are usually determined by reference to the position of «immobile» objects such as buildings, cities, mountains, rivers, or dedicated geodetic marks. A Place can be determined by combining a frame of reference and a location with respect to this frame. It is sometimes argued that instances of E53 Place are best identified by global coordinates or absolute reference systems. However, relative references are often more relevant in the context of cultural documentation and tend to be more precise. Examples : the extent of the UK in the year 2003»*
- E92_Spacetime_Volume : *«This class comprises 4 dimensional point sets (volumes) in physical spacetime regardless its true geometric form. They may derive their identity from being the extent of a material phenomenon or from being the interpretation of an expression defining an extent in spacetime. Examples : the spacetimeVolume of the Event of Ceasars murder ; the spacetime Volume where and when the carbon 14 dating of the «Schoeninger SpeerII» in 1996 took place»*
- E54_Place : *«This class comprises quantifiable properties that can be measured by some calibrated means and can be approximated by values, i.e. points or regions in a mathematical or conceptual space, such as natural or real numbers, RGB values etc. Examples :currency : £26.00 ; length : 3.9-4.1 cm»*

Conclusion 2 :

Au vu de ces définitions, ces classes CIDOC-CRM sont bien recouvertes, de notre point de vue, par le concept de «qualité». Cependant, il reste à mener une discussion beaucoup plus fine sur cette question dans le cadre d'une analyse plus large concernant la comparaison des concepts en jeu dans ANY-ARTEFACT-O, DOLCE, CIDOC-CRM et Symogih.org. Elle sera effectuée notamment dans le cadre des travaux prévus dans le consortium Data for History [17] et du projet Lab in Virtuo.

17. http://dataforhistory.org/

La question du bon recouvrement des entités principales d'ANY-ARTEFACT-0 0.1 et CIDOC-CRM ayant été examinée, nous focalisons à présent notre attention sur les sous-classes de «perdurant» et «endurant» (Voir les figures 10.9, 10.10, 10.11)

La question des trois sous-classes de l'entité «endurant» versus CIDOC-CRM

Comme vu précédemment, l'entité «endurant» présente trois sous-classes : «acteur», «artefact» et «savoir». L'objet de notre discussion est à présent d'identifier les sous-classes CIDOC-CRM présentant sinon des équivalences au moins des analogies. Le cas échéant, il sera possible d'intégrer les propriétés des classes CIDOC-CRM concernées.

1. Endurant/Acteur versus E39_Actor :

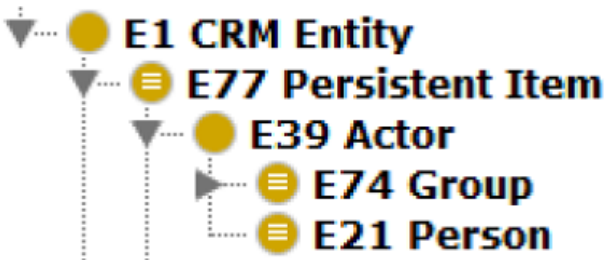


FIGURE 10.15 – La classe «acteur» et ses sous-classes dans CIDOC-CRM

Selon la documentation du CIDOC-CRM voici la définition de la classe «E39_Actor» : *«This class comprises people, either individually or in groups, who have the potential to perform intentional actions of kinds for which someone may be held responsible.The CRM does not attempt to model the inadvertent actions of such actors».*

Cette définition recouvre bien celle de la classe «acteur» d'ANY-ARTEFACT-0 0.1 [18] sachant qu'un «acteur» est impliqué dans une activité.

Par ailleurs, «E39_Actor» présente deux classes :

- E74_Group : *«This class comprises any gatherings or organizations of E39 Actors that act collectively or in a similar way due to any form of unifying relationship. In the wider sense this class also comprises official positions which used to be regarded in certain contexts as one actor, independent of the current holder of the office, such as the president of a country. In such cases, it may happen that the Group never had more than one member.Examples : the impressionists; the Navajo; the Greeks; the peace protestors in New York City on February 15 2003».*
- E21_Person :*«This class comprises real persons who live or are assumed to have lived. Examples : - Tut-Ankh-Amun - Nelson Mandela».*

Compte tenu de ces définitions, nous concluons que (Voir figure 10.16) :

- la classe E74_Group est équivalente à la classe «entité sociale».

18. «i) l'être humain en tant que personne, ii) les groupes, c'est-à-dire au moins deux individus présentant une organisation sociale, iii) les personnages qui représentent des statuts ou des postes occupés (par exemple : forgeron).»

- La décomposition de la classe «entité sociale» (et donc de E74_Group) en deux sous-classes «groupe» et «personnage» est donc cohérente en rendant explicites et distincts : i) le concept de «groupe» composé d'au moins deux acteurs (personnage ou individu) ; ii) le concept de «official position» indiqué dans CIDOC-CRM équivalent à «personnage».
- La classe E21_Person est identique à la classe «etre_humain» (qui est une sous-classe d'«individu» qui comprend les êtres vivants «animal» et «etre_humain»).

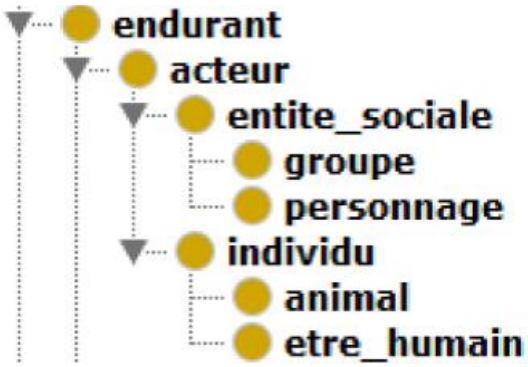


FIGURE 10.16 – La classe «acteur» et ses sous-classes dans l'ontologie ANY-ARTEFACT-O 0.1

Conclusion 3 :

Les classes «acteur» et E39_Actor sont équivalentes. Les sous-classes «entité sociale» et «individu» permettent d'enrichir et préciser les concepts ainsi que les hiérarchies.

Aborder la question des classes «artefact» et «savoirs» versus CIDOC-CRM nécessite d'introduire maintenant le concept E70_Thing qui a pour sous-classes E24_Physical Man-Made Thing et E28_Conceptual Object.

Les classes E70_Thing, E71_Man-Made Thing et leurs sous-classes

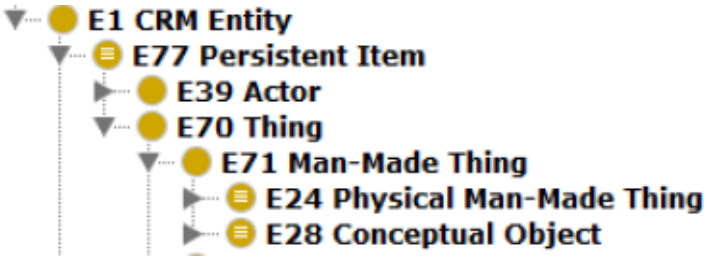


FIGURE 10.17 – Les classes E24_Physical Man-Made Thing et E28_Conceptual Object, sous-classes de E71_Man-Made Thing, sous-classe de E70_Thing

La définition CIDOC-CRM de E70_Thing est : *«This general class comprises discrete, identifiable, instances of E77 Persistent Item that are documented as single units, that either consist of matter or depend on being carried by matter and are characterized by relative stability. They may be intellectual products or physical things. They may for instance have a solid physical form, an electronic encoding, or they may be a logical concept or structure. Examples : my photograph collection (E78) ; the bottle of milk in my refrigerator (E22) ; the plan of the Strassburger Muenster (E29)»*

La définition CIDOC-CRM de E71_Made-Man Thing (sous-classe de E70_Thing) est : *«This class comprises discrete, identifiable man-made items that are documented as single units. These items are either intellectual products or man-made physical things, and are characterized by relative stability. They may for instance have a solid physical form, an electronic encoding, or they may be logical concepts or structures. Examples :Beethoven's 5th Symphony (E73) ; Michelangelo's David ; Einstein's Theory of General Relativity»*

en termes de comparaison avec ANY-ARTEFACT-O 0.1, ces deux définitions CIDOC-CRM ont pour conséquences : i) les classes «artefact» et «savoir» sont de fait des sous-classes de E71_Made-Man Thing à comparer respectivement avec E24_Physical Man-Made Thing et E28_Conceptuel Object ; ii) ce résultat implique que ces classes peuvent hériter des propriétés associées à E71_Made-Man Thing et E70_Thing ;

Conclusion 4 :

ANY-ARTEFACT-O 0.1 peut s'enrichir de deux classes (E71_Made-Man Thing et E70_-Thing) à intégrer par la suite dans la version 0.2. Cette version 0.2 sera donc le résultat d'un couplage entre une approche sur un domaine spécialisé (les activités dans un paysage culturel industriel) et une ontologie de haut niveau (CIDOC-CRM).

L'examen des définitions de E24_Physical Man-Made Thing et E28_Conceptuel Object permet de montrer une équivalence respectivement avec «artefact» et «savoir».

2. Endurant/Artefact versus E24_Physical Man-Made Thing

La définition CIDOC-CRM de E24_Physical Man-Made Thing est : *«his class comprises all persistent physical items that are purposely created by human activity. This class comprises man-made objects, such as a swords, and man-made features, such as rock art. No assumptions are made as to the extent of modification required to justify regarding an object as man-made. Examples : the Forth Railway Bridge ; the Channel Tunnel ; the Historical Collection of the Museum Benaki in Athens»*

Conclusion 5 :

Cette définition recouvre bien celle d'«artefact», nous pouvons désormais considérer une équivalence entre E24_Physical Man-Made Thing et «artefact». ANY-ARTEFACT-O 0.2 pourra être enrichi par les propriétés associées E24_Physical Man-Made Thing.

3. Endurant/Savoir versus E28_Conceptuel Object

La définition CIDOC-CRM de E28_Conceptuel Object est : *«This class comprises non-material products of our minds and other human produced data that have become objects of a discourse about their identity, circumstances of creation or historical implication. The production of such information may have been supported by the use of technical devices such as cameras or computers. They cannot be destroyed. They exist as long as they can be found on at least one carrier or in at least one human memory. Their existence ends when the last carrier and the last memory are lost. Examples : Beethoven's «Ode an die Freude» (Ode to Joy) ; the definition of «ontology» in the Oxford English Dictionary»*

Conclusion 6 :

Nous pouvons tirer une conclusion analogue à précédemment : cette définition recouvre bien celle de «savoir», nous pouvons désormais considérer une équivalence entre

E28_Conceptuel Object et «savoir». ANY-ARTEFACT-O 0.2 pourra être enrichi par les propriétés associées à E28_Conceptuel Object.

Conclusion intermédiaire

en termes de méthodologie (voir les conclusions 1 à 6), le processus de construction d'ANY-ARTEFACT-O 0.2 est basée sur les principes suivants :

- Enrichir ANY-ARTEFACT-0 0.1 en intégrant des classes issues de CIDOC-CRM qui étaient restées implicites. C'est le cas par exemple des deux classes E71_Made-Man Thing et E70Thing (voir conclusion 4)
- Rechercher des équivalences entre les classes en commençant par les entités principales, puis leurs sous-classes. Cela a conduit à proposer notamment les équivalences «endurant»/E77_Persistent Item, «perdurant»/E2_Temporal Entity (conclusion 1) ; «acteur»/E39_Actor (conclusion 3) ; «artefact»/E24_Physical Man-Made Thing «savoir»/E28_Conceptuel Object (conclusions 5 et 6)
- Enrichir ANY-ARTEFACT-0 0.1 en intégrant les propriétés CIDOC-CRM des classes équivalentes ou ajoutées

La question des sous-classes de «perdurant» versus CIDOC-CRM

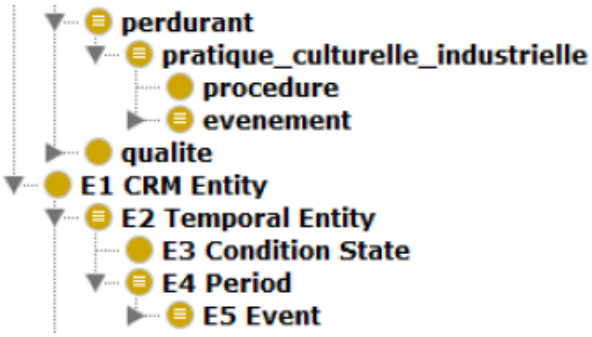


FIGURE 10.18 – Les sous-classes de «perdurant» et E2_Temporal Entity

La classe «perdurant» (équivalent à E2_Temporal Entity) a pour sous-classe «pratique_culturelle_industrielle» avec deux sous-classes «procédure» et «évènement». E2_Temporal Entity comprend deux sous-classes E3_Condition State («This class comprises the states of objects characterized by a certain condition over a time-span [19].») et E4_Period :

> ***«This class comprises sets of coherent phenomena or cultural manifestations occurring in time and space.*** *It is the social or physical coherence of these phenomena that identify an E4 Period and not the associated spatiotemporal extent. This extent is only the "ground" or space in an abstract physical sense that the actual process of growth, spread and retreat has covered. Consequently, different periods can overlap and coexist in time and space, such as when a nomadic culture exists in the same area and time as a sedentary culture. This also means that overlapping land use rights, common among first nations, amounts to overlapping periods. Often, this class is used to describe prehistoric or historic periods such as the "Neolithic Period", the "Ming Dynasty" or the "McCarthy*

19. Par exemple, le pont tournant en ruine à l'automne 1945.

Era", but also geopolitical units and activities of settlements are regarded as special cases of E4 Period. However, there are no assumptions about the scale of the associated phenomena. In particular all events are seen as synthetic processes consisting of coherent phenomena. ***Therefore E4 Period is a superclass of E5 Event***[20] **»**

Par ailleurs, E4_Period a donc pour sous-classe E5_Event dont la définition est :

«This class comprises changes of states in cultural, social or physical systems, regardless of scale, brought about by a series or group of coherent physical, cultural, technological or legal phenomena. Such changes of state will affect instances of E77 Persistent Item or its subclasses. The distinction between an E5 Event and an E4 Period is partly a question of the scale of observation. Viewed at a coarse level of detail, an E5 Event is an 'instantaneous' change of state».

Conclusion 7 :

Compte tenu de ces deux définitions, nous considérons : i) la classe «pratique_culturelle_industrielle» est bien recouverte par la définition de la classe E4_Period ; ii) la sous-classe E5_Event est équivalente à la sous-classe «Évènement» ; iii) la classe «procédure» est une sous-classe de E4_Period et comprend un ensemble d'événements.

Les sous-classes de E5_Event

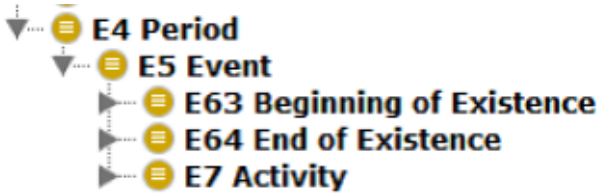


FIGURE 10.19 – Les sous-classes de E5_Event

La sous-classe E7_Activity a pour définition :

«This class comprises actions intentionally carried out by instances of E39 Actor that result in changes of state in the cultural, social, or physical systems documented. This notion includes complex, composite and long-lasting actions such as the building of a settlement or a war, as well as simple, short-lived actions such as the opening of a door»

Conclusion 8 :

En nous inspirant de cette définition, nous pouvons introduire la classe «activité» en tant que sous-classe de «évènement» (voir 10.20) et ainsi enrichir ANY-ATERFACT-O 0.1 avec la définition suivante qui inclut les artefacts et les savoirs impliqués dans l'activité :

«This class comprises actions intentionally carried out by instances of «acteur», «Artefact»,«savoir» that result in changes of state in the cultural, social, or physical systems documented. This notion includes complex, composite and long-lasting actions such as the building of a settlement or a war, as well as simple, short-lived actions such as the opening of a door»

20. http://www.cidoc-crm.org/

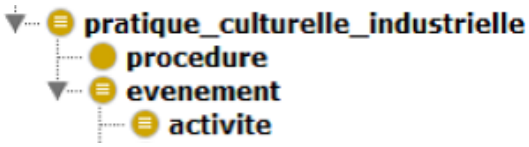


FIGURE 10.20 – Les sous-classes de la classe «événement» de ANY-ARTEFACT-O

Conclusion finale :

L'ensemble des conclusions 1 à 8 montre que la comparaison des classes de ANY-ARTEFACT-O 0.1 avec celles de CIDOC-CRM permet : i) d'établir des correspondances avec les classes «perdurant», «pratique_culturelle_industrielle», «évènement», et «activité» (Voir figure 10.21) ; ii) d'enrichir l'ontologie en incluant les propriétés issues de CIDOC-CRM ; iii) de produire l'ontologie ANY-ARTEFACT-O 0.2 issue de ce travail d'analyse.

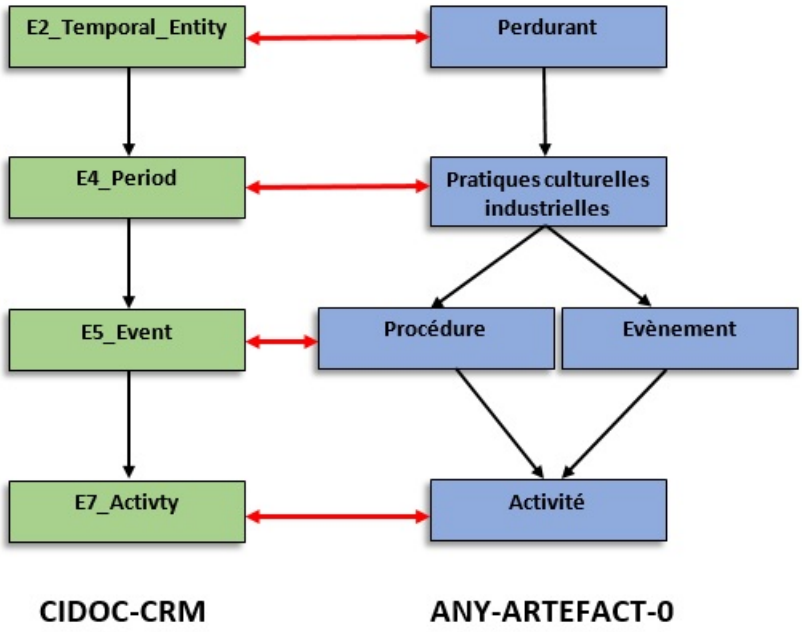


FIGURE 10.21 – Correspondance de la classe «pratique culturelle industrielle» d'ANY-ARTEFACT-O avec le CIDOC-CRM

La question des propriétés de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O 0.2

Dans le cadre du développement de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O, un certain nombre de propriétés du CIDOC-CRM est réutilisé.

Ces propriétés permettent d'établir des liens entre des classes. Parmi les propriétés du CIDOC-CRM utilisées dans le cadre de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O nous pouvons citer par exemple «P1_identified_by» ou encore «P106_is_composed_of». Toutes les propriétés du CIDOC-CRM, au même titre que les classes sont dotées d'un préfixe (E pour les classes, P pour les propriétés). Si une propriété du CIDOC-CRM est utilisée à plusieurs reprises, un code est mis en place afin de distinguer les différentes utilisations. C'est le cas par exemple pour la propriété «P10_contains» (les préfixes «P10a_contains» et «p10b_-contains» sont alors créés). Pour les besoins de l'ontologie ANY-ARTEFACT il est nécessaire de créer des propriétés spécifiques car les propriétés du CIDOC-CRM ne répondent

pas à tous les besoins. Une vingtaine de propriétés sont alors créées spécifiquement pour l'ontologie ANY-ARTEFACT. Afin de distinguer les propriétés du CIDOC-CRM, le préfixe «AA» pour ANY-ARTEFACT et des chiffres sont utilisés comme pour la propriété «AA21_est composé_de». Chaque classe de l'ontologie ANY-ARTEFACT est associée à des propriétés. La classe «artefact» est, par exemple, liée à quatre propriétés (Voir figure 10.22).

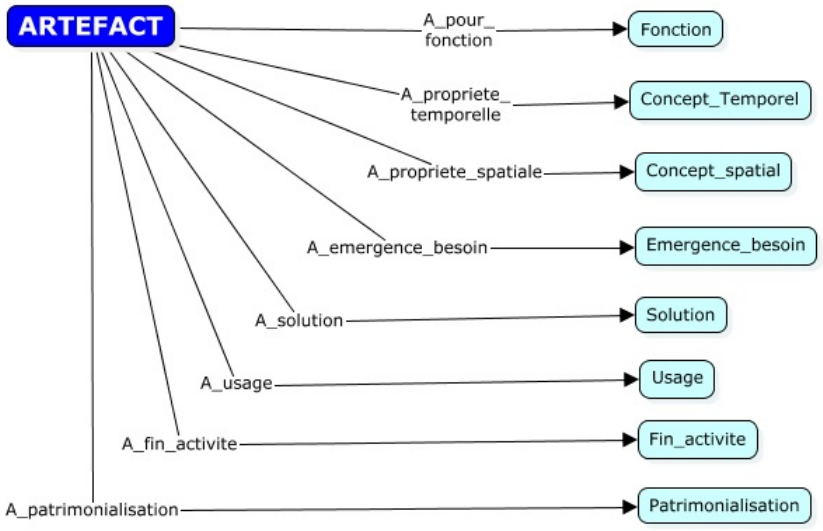


FIGURE 10.22 – Les propriétés de la classe artefact de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O sous la forme d'une carte conceptuelle

Pour la classe «artefact» il a été nécessaire de créer des propriétés spécifiques afin de répondre aux besoins de l'ontologie :

- AA13_a_fonction : Cette propriété fait le lien entre la classe «artefact» et la classe «fonction». Elle permet d'exprimer les différentes fonctions que possède un artefact.
- AA15_a_propriete_temporelle : Au même titre que la précédente, cette propriété fait le lien entre la classe artefact et la classe «concept_temporel». Elle n'est utilisable qu'entre ces deux classes
- AA16_a_propriete_spatiale : Cette propriété fait le lien entre la classe «artefact» et la classe «concept_spatial»
- AA23_a_emergence_besoin : Cette propriété est créée pour faire le lien entre les classes «artefact» et «emergence_besoin»
- AA24_a_solution : Cette propriété opère le lien entre les classes «artefact» et «solution»
- AA25_a_usage : Cette propriété fait le lien entre les classes «artefact» et «usage»
- AA26_a_fin_activite : Cette propriété fait le lien entre les classes «artefact» et «fin_activite»
- AA25_a_patrimonialisation : Cette propriété fait le lien entre les classes «artefact» et «patrimonialisation»

L'ajout de propriétés spécifiques à ANY-ARTEFACT permet de lier les classes entre elles et de combler les lacunes du CIDOC-CRM vis-à-vis de nos besoins. Toutes ces propriétés ont été créées pour relier des classes particulières.

L'ontologie ANY-ARTEFACT-O alignée avec le CIDOC et structurée selon les entités de DOLCE, sert de base pour la construction d'une ontologie à caractère générique. Il existe un troisième niveau de l'ontologie, l'ontologie ANY-ARTEFACT 0.3 qui est augmentée en fonction des concepts génériques de l'ontologie spécialisée sur le domaine (Figure 10.3 C). Le chapitre 11 sera consacré à cette ontologie spécialisée sur le démonstrateur retenu pour le développement du Lab in Virtuo.

La figure 10.23 montre les différents niveaux de développement de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O, depuis le modèle ANY-PORT de Bird jusqu'à une version 0.3 ultérieure de l'ontologie enrichie grâce à l'analyse des concepts génériques présents dans l'ontologie spécialisée créée pour le démonstrateur.

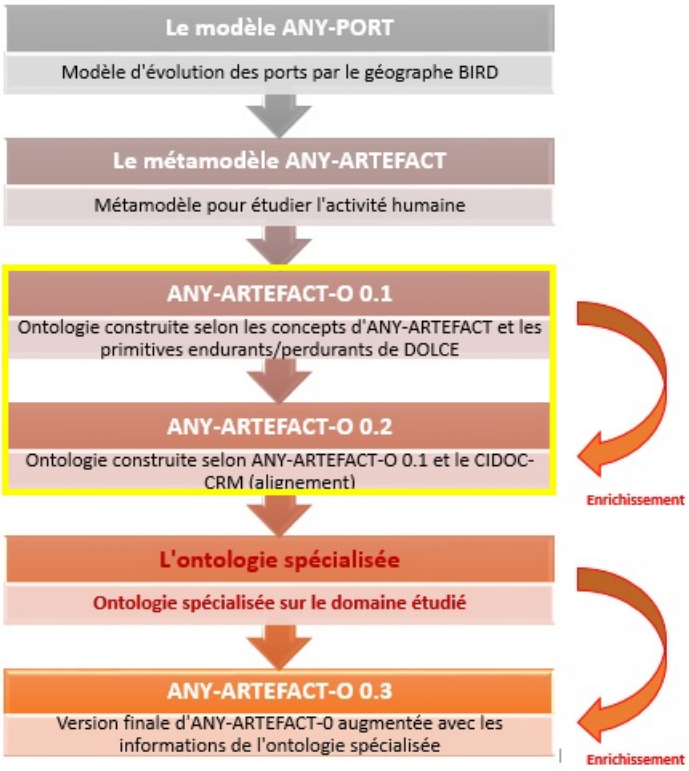


FIGURE 10.23 – Le processus de construction de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O

Les différentes étapes de conception de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O s'enrichissent au fur et à mesure du processus. La partie jaune de la figure 10.23 représente la partie stable de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O.

L'ontologie ANY-ARTEFACT-O 0.2 a pour objet l'interprétation automatique des ressources et permet d'instancier le méta modèle MASCARET afin d'assurer la communication entre l'EVI et le système de gestion de connaissances fondée sur l'ontologie. Cette ontologie est une «traduction» du méta-modèle ANY-ARTEFACT. Elle s'inspire des travaux de Kassel, de concepts issus de DOLCE et a été enrichie par le travail de comparaison avec CIDOC-CRM. Elle reste pour le moment indépendante de CIDOC-CRM. La question de produire une extension de CIDOC-CRM constitue une phase ultérieure du travail de recherche. Nous allons à présent nous intéresser à l'alignement d'ANY-ARTEFACT avec MASCARET.

10.4 L'alignement d'ANY-ARTEFACT et MASCARET

La partie méta-modèle du Lab in Virtuo (Partie bleue sur les figure 10.3, 10.4 et 10.6) est essentielle au processus de construction du Lab in Virtuo.

MASCARET permet de représenter et d'exécuter de manière générique, tout macro-système technologique complexe en termes de structures, de comportements et d'activités humaines. MASCARET modélise les mêmes concepts que ceux décrits dans l'ontologie ANY-ARTEFACT-O. Il est donc nécessaire de procéder à un alignement des entités MASCARET et des classes d'ontologie ANY-ARTEFACT-O mais également des propriétés. MASCARET et ANY-ARTEFACT définissent des concepts généraux au stade du méta-modèle, ils resteront donc inchangés quel que soit le cas d'étude.

Afin de présenter cette étape d'alignement des méta-modèles, nous allons nous concentrer sur l'alignement des concepts suivants :

- Les concepts «Artefact» d'ANY-ARTEFACT et «Entity» de MASCARET
- Les concepts «Acteur» d'ANY-ARTEFACT et «Agent» de MASCARET
- Les concepts «Savoir» d'ANY-ARTEFACT et «Knowledge» de MASCARET
- Les concepts «Pratique Culturelle industrielle» d'ANY-ARTEFACT et «Activity» de MASCARET

Afin de faciliter la représentation de cet alignement, nous avons recours à des schémas UML ainsi qu'à des tableaux de comparaison de chaque concept.

10.4.1 «Artefact» / «Entity»

Un des premiers concepts d'ANY-ARTEFACT-O est la notion d'«artefact» qui est une production humaine qui possède une fonction précise et une capacité à réaliser cette fonction (Voir Chapitre 5). Sur la figure 10.24 nous représentons l'ensemble des propriétés des artefacts. Celles-ci peuvent être de deux types : «spatiale» et «temporelle».

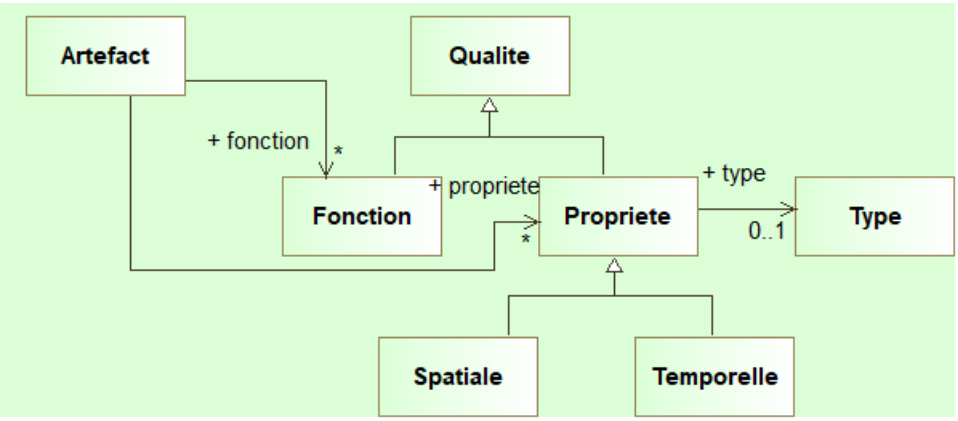


FIGURE 10.24 – Le concept d'Artefact dans ANY-ARTEFACT-O.

Ces mêmes notions existent également dans MASCARET (Voir figure 10.25). Les «Entity» correspondent donc à la notion d'«artefact» dans ANY-ARTEFACT-O. De la même manière que dans ANY-ARTEFACT-O, les «Entity» ont des propriétés («Property») qui peuvent être comportementales ou structurelles. Comme mascaret repose sur UML il existe également la notion de classe et donc dans MASCARET de «Entity Class». Lors de la lecture de l'ontologie, si l'artefact correspond à une instance alors une «Entity» sera créée dans

MASCARET. S'il s'agit d'un concept dans l'ontologie c'est alors une «Entity Class» qui est créée dans mascaret.

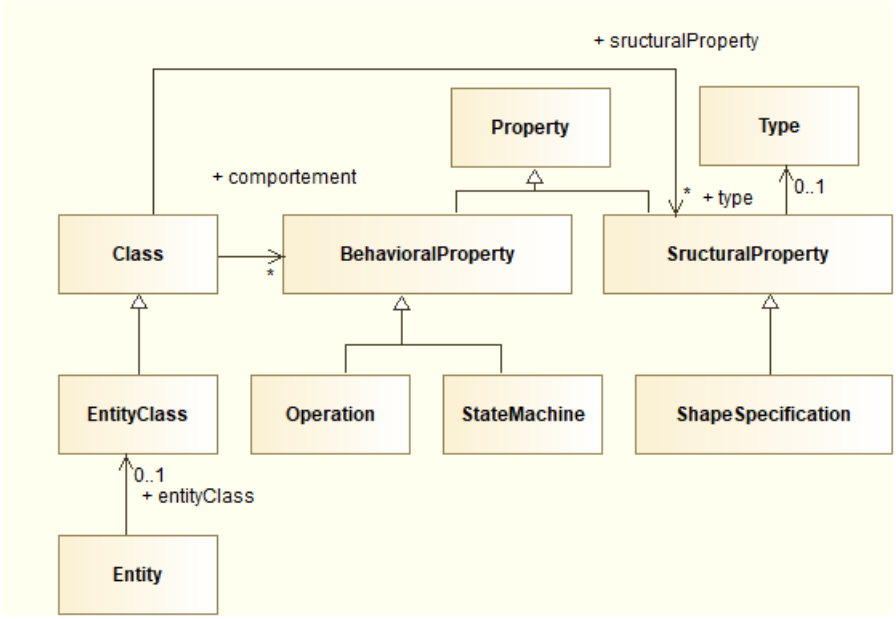


FIGURE 10.25 – Le concept d'Entity dans MASCARET.

L'ensemble des concepts et leurs correspondances au sein des deux méta-modèles sont résumés sur le tableau suivant (Voir figure 10.26).

ANY-ARTEFACT	MASCARET
Artefact	Entity/Entity-Class
Qualite	Property
Fonction	BehavioralProperty
Propriete	StructuralProperty
Type	Type

FIGURE 10.26 – Correspondances entre les concepts ANY-ARTEFACT et MASCARET pour «Acteur» et «Entity»

Utilisant ce tableau de correspondances il est possible de créer un algorithme qui permet de traduire automatiquement les artefacts instanciés dans une ontologie spécialisée s'appuyant sur ANY-ARTEFACT vers un modèle utilisant le méta-modèle MASCARET. Il s'agit ici de l'étape méta-modèle figurée en bleu sur les figures 10.3, 10.4 et 10.6.

10.4.2 «Acteur» / «Agent»

Le second concept fondateur d'ANY-ARTEFACT est le concept d'acteur (Voir Chapitre 5). Un acteur peut être vu sous deux points de vue : la personne physique qui représente l'acteur ou le personnage qui représente une fonction ou un poste.

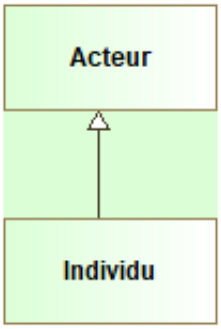


FIGURE 10.27 – Le concept d'acteur dans ANY-ARTEFACT

La personne physique est représentée dans ANY-ARTEFACT par un «individu» (Voir figure 10.27) qui correspond à la notion d'agent incarné soit «EmbodiedAgent». Un agent incarné (EmbodiedAgent) dans MASCARET est un agent, c'est-à-dire qu'il a ses propres comportements autonomes et qu'il possède aussi des propriétés. Il détient de plus un corps par le biais d'une entité (Entity) (Voir figure 10.28).

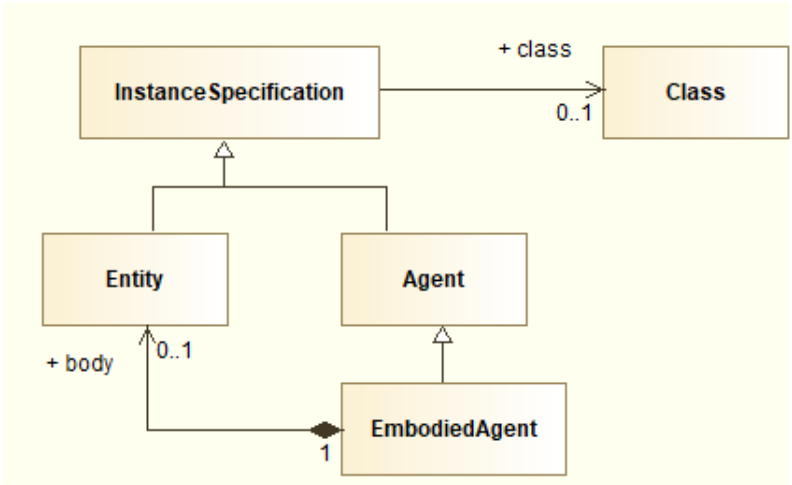


FIGURE 10.28 – Le concept d'acteur dans MASCARET

L'ensemble des concepts et leurs correspondances au sein des deux méta-modèles sont résumés sur le tableau suivant (Voir figure 10.29).

ANY-ARTEFACT	MASCARET
Individu	EmbodiedAgent

FIGURE 10.29 – Correspondances entre les concepts ANY-ARTEFACT et MASCARET pour «acteur» et «Agent»

Utilisant ce tableau pour chaque instance d'individus identifié dans l'ontologie spécialisée s'appuyant sur ANY-ARTEFACT, l'algorithme de correspondance instancie un «EmbodiedAgent» dans le modèle s'appuyant sur le méta-modèle MASCARET.

10.4.3 «Savoir» / «Knowledge»

Le 3e concept fondamental d'ANY-ARTEFACT est la notion de savoir. La terminologie usuelle du concept de savoir en ingénierie des connaissances a été étudiée par (I. NONAKA 1994) et (I. NONAKA, TAKEUCHI et UMEMOTO 1996). Selon (BRATIANU 2010), Nonaka discerne deux types de connaissances : la connaissance tacite et de la connaissance explicite. Les connaissances tacites sont des connaissances qui sont personnelles et difficiles à formaliser et qui sont ancrées dans l'action et l'expérience d'un individu. La connaissance tacite quant à elle, peut-être de deux types : le premier fait référence aux compétences et à l'expérience pour maîtriser un certain domaine d'activité pratique. L'autre se réfère aux modèles mentaux, aux croyances et aux perceptions. La caractéristique principale de la connaissance tacite est qu'il est difficile de l'exprimer en mots et de le communiquer par le langage. Il est présent dans notre esprit et corps mais nous ne savons pas comment l'expliquer.

Dans le cadre de ces travaux, le savoir se distingue en deux types le savoir incarné et le savoir déclaratif (Voir chapitre 5) qui rappellent la vision de (I. NONAKA 1994). Un acteur possède des savoirs afin de procéder à une activité (Voir figure 10.30).

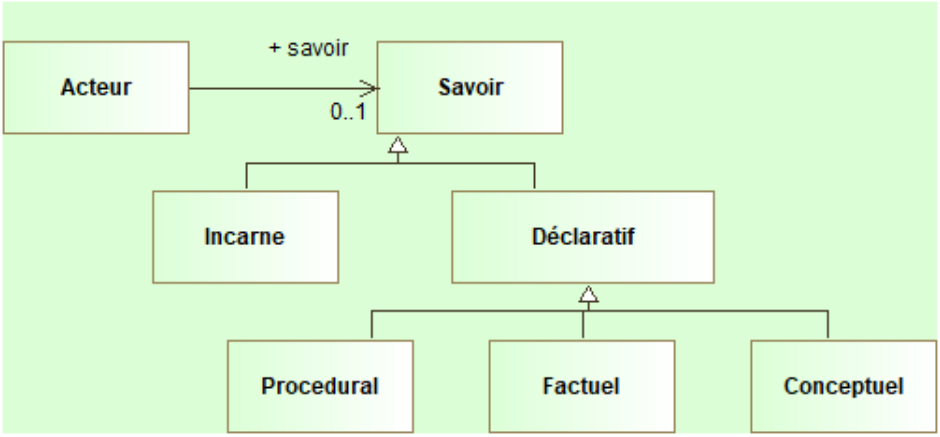


FIGURE 10.30 – Le concept de savoir dans ANY-ARTEFACT

Comme dans ANY-ARTEFACT, les agents dans MASCARET disposent des connaissances (Voir figure 10.31). Ces connaissances sont représentées par les notions de modèle (Model) et d'environnement (Environment). L'environnement référence l'ensemble des entités et agents qui peuplent l'environnement virtuel, il s'agit là d'une connaissance déclarative et factuelle. La notion de modèle regroupe l'ensemble des classes (concepts) sur lequel l'agent est capable de raisonner. Il s'agit donc de connaissances déclaratives et conceptuelles au sens d'ANY-ARTEFACT. Un modèle référence également les structures organisationnelles (OrganisationalStructure) qui portent sur les activités que nous détaillons dans la section suivante. Il s'agit alors de connaissances sur l'activité et donc de connaissances déclaratives et procédurales dans ANY-ARTEFACT.

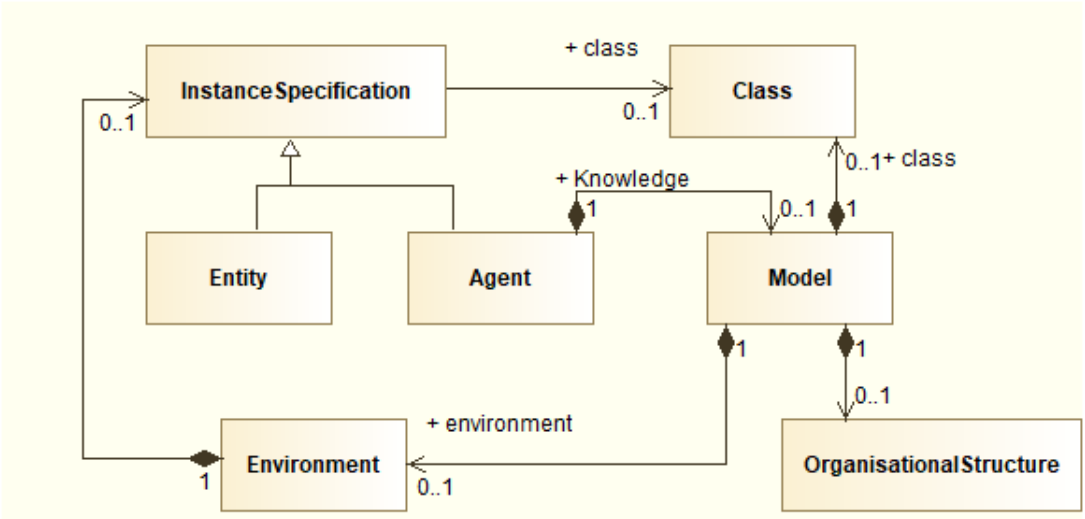


FIGURE 10.31 – Le concept de savoir dans MASCARET

L'ensemble des concepts et leurs correspondances au sein des deux méta-modèles sont résumés sur le tableau suivant (Voir figure 10.32).

ANY-ARTEFACT	MASCARET
Savoir	Knowledge (association entre agent et Model)
Procédural	OrganisationalStructure
Factuel	InstanceSpecification
Conceptuel	Class

FIGURE 10.32 – Correspondances entre les concepts ANY-ARTEFACT et MASCARET pour «Savoir» et «Knowledge»

S'appuyant sur cette table de correspondances il est possible d'instancier les connaissances que possède un agent dans le modèle écrit en MASCARET. En effet, pour chaque individu (spécialisation d'acteur) dans l'ontologie spécialisée et pour chaque relation de connaissance que possède cet individu, on crée une association «Knowledge» entre l'agent identifié et les connaissances selon son type dans l'ontologie.

10.4.4 «Pratique culturelle industrielle» / «Activity»

Pour finir, le concept central dans ANY-ARTEFACT qui s'appuie sur les concepts de «artefact» , «acteur» et «savoir», est «pratique culturelle industrielle» [21]. Dans ANY-ARTEFACT la «Pratique Culturelle Industrielle» est portée par la notion d'«ensemble» qui sert à agréger ces concepts fondateurs (acteur, savoir, artefact) (Voir figure 10.33). Dans la section précédente, nous avons vu qu'un acteur pouvait être représenté par un individu mais il peut également être représenté par une entité sociale comme un groupe ou un personnage.

21. La notion de «pratique culturelle industrielle» est abordée dans la partie consacrée à l'ontologie ANY-ARTEFACT-O.

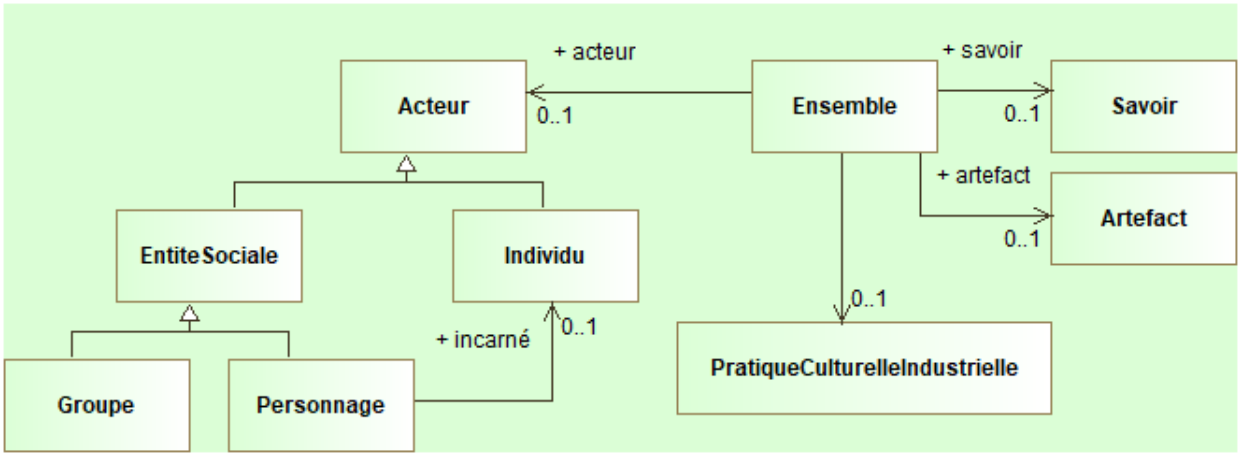


FIGURE 10.33 – Le concept de pratique culturelle industrielle dans ANY-ARTEFACT

Dans MASCARET la notion d'activité est également centrale. Une activité est déclarée dans le cadre d'une structure organisationnelle (OrganisationnalStructure) qui référence également des rôles et des ressources. L'activité est réellement exécutée par une entité organisationnelle qui assigne les ressources à des entités et les rôles à des agents (Voir figure 10.34).

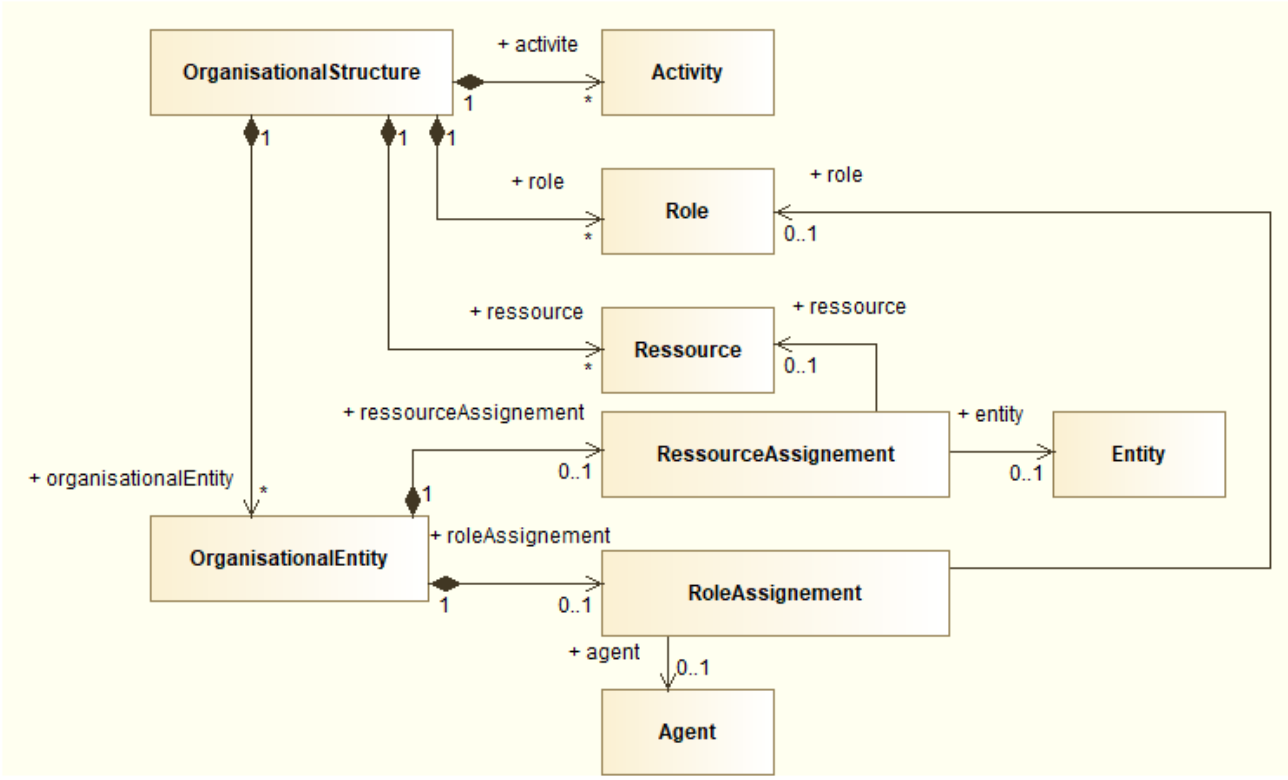


FIGURE 10.34 – Le concept d'activité dans MASCARET

L'ensemble des concepts et leurs correspondances au sein des deux méta-modèles sont résumés sur le tableau suivant (Voir figure 10.35).

ANY-ARTEFACT	MASCARET
Pratique culturelle industrielle	Activity
Ensemble	OrganisationalStructure – OrganisationnalEntity
Entité sociale	Role
Propriété incarnée entre Personnage et Individu	RoleAssignement
Relation entre Ensemble et Artefact	RessourceAssignement

FIGURE 10.35 – Correspondances entre les concepts ANY-ARTEFACT et MASCARET pour «Pratique culturelle industrielle» et «Activity»

Utilisant ce tableau de correspondances il est possible de générer les organisations et les activités dans le modèle en MASCARET à partir des informations renseignées dans l'ontologie spécialisée. Il existe toutefois une ambiguïté entre la notion d'ensemble dans ANY-ARTEFACT et les concepts de structure organisationnelle et d'entité organisationnelle. Cette ambiguïté peut-être levée en identifiant le type d'acteur référencé par l'ensemble dans l'ontologie. En effet, si l'ensemble référence des individus, il s'agit alors de créer des entités organisationnelles dans le modèle en MASCARET alors que s'il référence des entités sociales il s'agit des structures organisationnelles.

L'alignement entre ANY-ARTEFACT et MASCARET s'arrête au concept d'activité. En effet, dans l'ontologie nous avons considéré qu'il n'était pas possible de décrire l'enchaînement des actions (les procédures par exemple) constituant l'activité ce qui toutefois réalisable en MASCARET. La manière de décrire ces activités dans MASCARET fait l'objet de la section 8.5.2.

10.5 Le niveau spécialisation de domaine

Le niveau spécialisation de domaine concerne les travaux appliqués à un domaine particulier pour le développement du Lab in Virtuo. Ces travaux s'appuient au niveau méta-modèle que nous venons de décrire.

Une ontologie spécialisée

L'ontologie spécialisée (Figure 10.3 B) est une extension de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O. Elle permet d'affiner la représentation de concepts moins génériques qui s'appliquent à l'étude de cas.

La construction d'une ontologie spécialisée implique :

- L'identification dans les sources primaires et secondaires relatives aux artefacts, les différentes classes et propriétés pertinentes afin d'élaborer une périodisation en lien avec ANY-ARTEFACT.
- L'identification des «acteurs», des «savoirs» et des «pratiques culturelles industrielles» qui sont en relation avec chaque artefact ainsi que leurs différentes sous-classes.
- L'identification des propriétés pertinentes pour chaque classe d'«acteurs», de «savoirs» et «pratiques culturelles industrielles».

L'étude des sources ainsi que l'identification des classes et des propriétés pertinentes en fonction de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O permettent la construction d'une ontologie spécialisée sur le domaine d'étude.

L'ontologie spécialisée du Lab in Virtuo se trouve être dans la même dynamique que les extensions du CIDOC-CRM (Comme CRMGeo ou CRMarcheo) avec la volonté d'affiner les données suivant le cas d'étude.

Les propriétés entre les concepts peuvent relier deux classes de cette ontologie spécialisée mais aussi une classe de cette ontologie à l'une de ANY-ARTEFACT-O puisqu'elles sont écrites en continuité, l'une étant un raffinement de l'autre. Ces deux ontologies peuvent ainsi être fusionnées pour décrire avec précision l'ensemble du cas d'utilisation.

Le chapitre 11 de cette thèse sera consacré à l'ontologie spécialisée consacrée au démonstrateur du Lab in Virtuo : Forge-o.

10.5.1 La collecte et le stockage des données

La collecte et le stockage des données sont les étapes d'instanciation des informations relatives à l'objet d'étude. Ces données concernent les endurants et les perdurants.

Les données relatives aux endurants : (Figure 10.3 C)

Les informations relatives aux Endurants de l'ontologie spécialisée doivent être instanciées. Dans le cadre du Lab in Virtuo, il existe deux moyens de procéder : Instancier les informations directement dans un logiciel de création d'ontologies ou utiliser un logiciel générant des bases de données.

Dans le cadre d'une implémentation de données dans une plateforme technologique, les données sont récupérées directement dans des formulaires semblables à celui de la figure 10.36. Les données recueillies dans ces formulaires vont constituer une base de données sur l'objet d'étude du Lab in Virtuo.

Les données relatives aux perdurants : (Figure 10.3, D)

Les informations relatives aux perdurants de l'ontologie spécialisée sont instanciées de la même manière que les endurants dans la partie C. Les données sont également implémentées dans une base de données.

L'usage de plateforme technologique générant des bases de données au moyen de formulaire permet aux chercheurs en histoire qui sont spécialistes du domaine de l'objet d'étude de rentrer des données sans avoir de connaissances spécifiques en ontologies. Avec l'aide de formulaires, les données sont automatiquement intégrées à la base de données qui peut être alimentée au fur et à mesure.

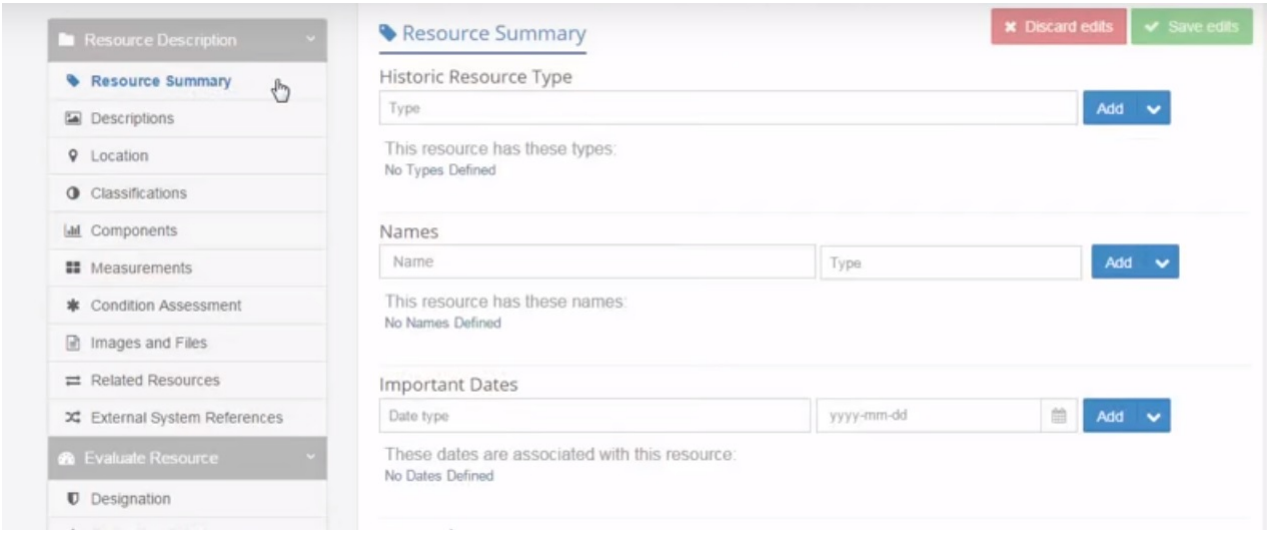


FIGURE 10.36 – Exemple de formulaire sur la plateforme ARCHES [22]

10.5.2 L'instanciation de MASCARET et de l'ontologie spécialisée

Cette étape est également appelée «création du modèle métier» car il s'agit de l'étape regroupant toutes les données pertinentes sur le cas d'étude qui proviennent de l'ontologie spécialisée. Les informations présentes dans l'ontologie spécialisée sont traduites en langage XMI afin d'être instanciées dans MASCARET (Figure 10.3 F). Ce modèle métier peut ainsi être enrichi par une description des activités métier. En effet,certains perdurants comme les activités ou les procédures peuvent être décrites dans l'ontologie mais il n'est pas possible de décrire comment elles sont réalisées (enchaînements d'actions par exemple) d'où l'usage de MASCARET.

L'usage des ontologies permet au chercheur en histoire de décrire l'ensemble des connaissances sur le domaine étudié mais il est particulièrement difficile de décrire des activités. Il est pourtant nécessaire de fournir une description précise d'activités et de procédures afin de permettre une exécution automatique dans l'environnement virtuel. MASCARET est alors essentiel car il va permettre cette exécution au moyen de modèles de procédures comme celui de la figure 10.37 qui implique plusieurs participants : des forgerons, un conducteur de grue et un chef d'équipe.

22. Image extraite de la vidéo de présentation de la plateforme ARCHES : https://www.archesproject.org/what-is-arches/

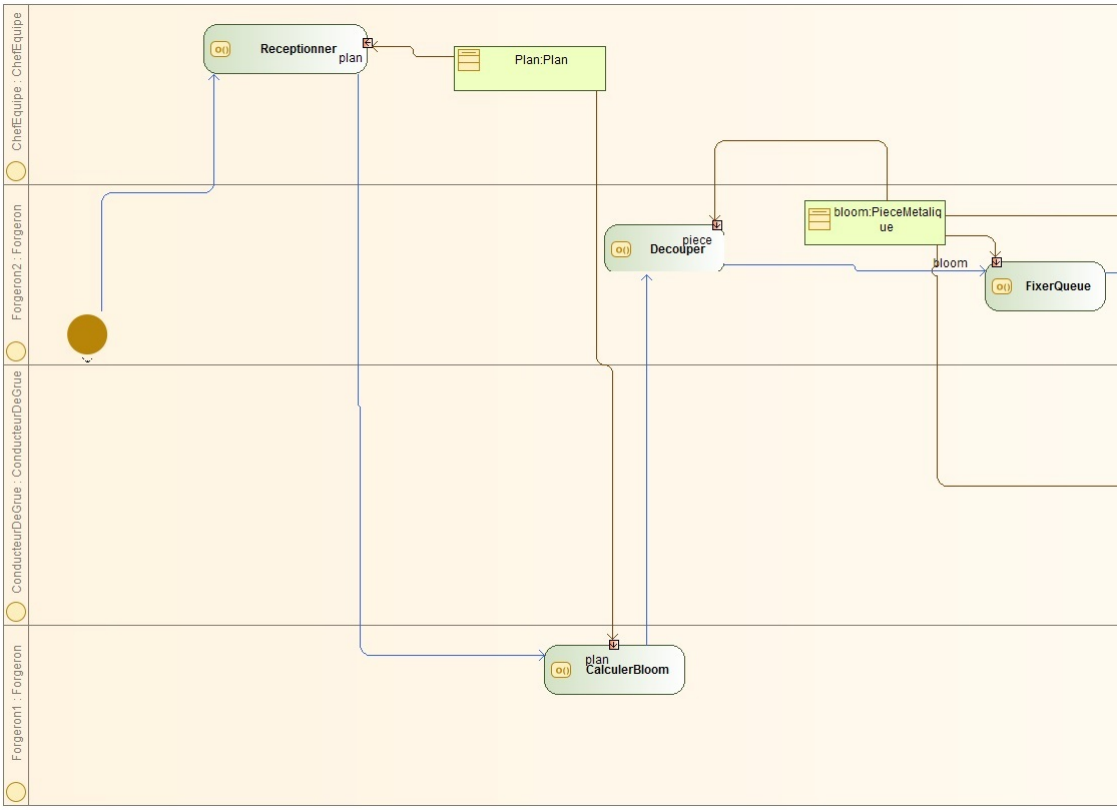


FIGURE 10.37 – Extrait d'un modèle de procédures sous la forme d'un diagramme d'activité

10.5.3 La description du domaine et de l'activité

Ce niveau concerne la modélisation 3D qui constitue «l'enveloppe» du Lab in Virtuo (Figure 10.3 G). Les artefacts et les acteurs concernés par le domaine étudié sont modélisés dans l'environnement 3D. Ils s'incarnent en interrogeant la base de données créée dans la section ingénierie des connaissances. Ce sont les données correspondant aux instances des endurants qui alimentent le modèle 3D, créant ainsi l'environnement des activités pour l'apprentissage de connaissances ou de procédures.

10.5.4 La description des comportements et l'exécution des activités

Cette étape du Lab in Virtuo concerne la mise en scène des comportements et l'exécution des activités (Figure 10.3 G). Le Lab in Virtuo est capable d'exécuter des scénarios et des activités dans l'environnement virtuel en faisant participer les utilisateurs ainsi que les agents autonomes. Il est possible d'élaborer plusieurs types de scénarios de médiation pour l'apprentissage des connaissances ou de procédures. Ces scénarios peuvent être adaptés en fonction des thématiques que l'on souhaite aborder ou du public ciblé (Voir figure 10.38).

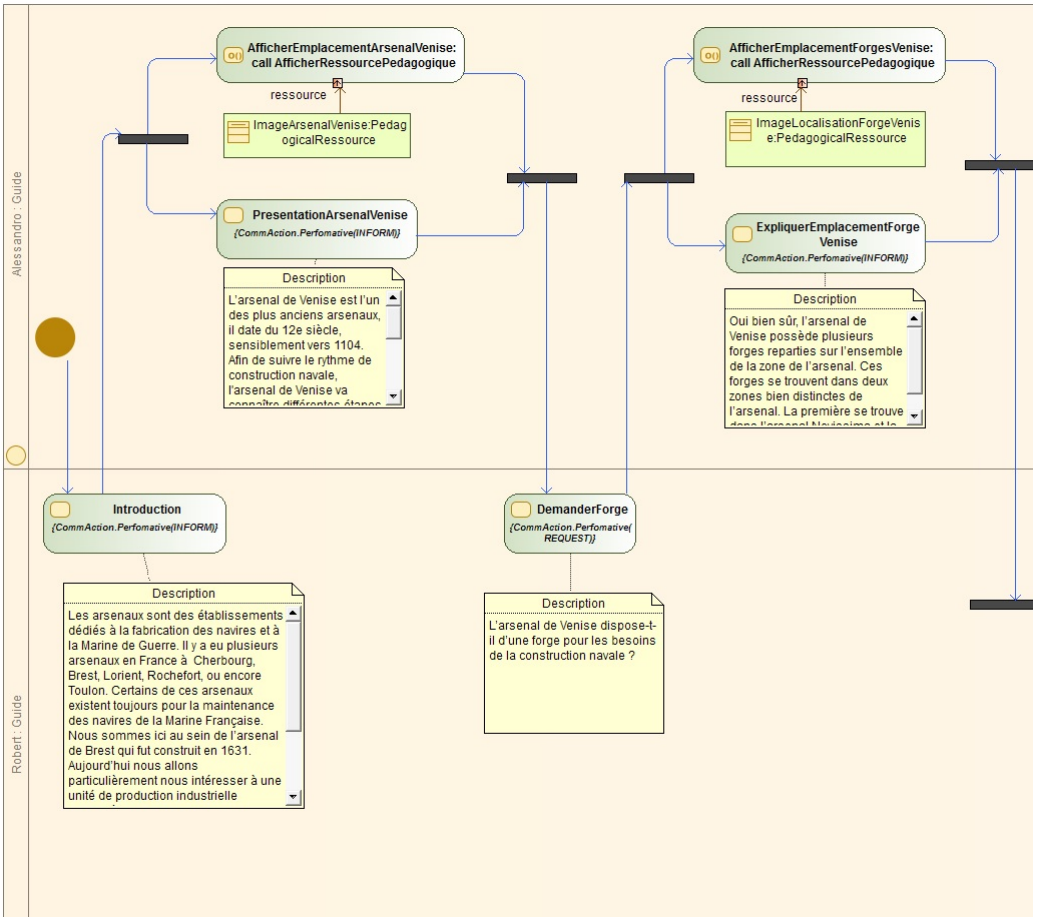


FIGURE 10.38 – Exemple de scénario de médiation du Lab in Virtuo

Cette étape permet également la validation du modèle avec d'anciens utilisateurs du système ou la mise en place d'entretiens «in virtuo». Véritablement axés sur la transmission, l'acquisition et la collecte de connaissances cette étape du Lab in Virtuo est centrée sur les usages qui vont être détaillés dans le chapitre 12.

10.6 Conclusion

Ce chapitre 10 a pour objectif de présenter les méthodologies employées pour la conception du Lab in Virtuo, un espace de travail virtuel, interactif et collaboratif dédié à la recherche en histoire, la conservation et/ou la valorisation du des paysages culturels industriels et des activités humaines associées ainsi que la médiation culturelle.

Ce Lab in Virtuo est composé des éléments suivants :

- Un environnement à caractère historique restitué en 3D
- Une base de connaissances historiques organisée selon une ontologie de spécialisation. Celle-ci est dérivée de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O et du méta-modèle SHS ANY-ARTEFACT qui est dédié à l'histoire comparée et aux patrimoines des paysages culturels industriels et qui permet d'étudier leur évolution spatio-temporelle en incluant les activités humaines
- Le méta-modèle MASCARET permet de produire des scénarios d'usage interactifs en RV dans l'environnement 3D restitué. Les deux méta-modèles ANY-ARTEFACT-O et MASCARET sont alignés. Cette propriété permet d'utiliser la base d'informations historiques dans l'environnement 3D restitué qui devient alors un EVI.

- Des modes divers d'interaction et d'immersion dans l'EVI.

Le processus de construction du Lab in Virtuo implique deux niveaux particuliers : Le niveau méta-modèle avec l'ontologie générique ANY-ARTEFACT-O, le méta-modèle MASCARET ainsi que l'alignement des deux et le niveau spécialisation de domaine qui concerne la création d'une ontologie spécialisée, la collecte et le stockage des données, l'instanciation, ainsi que l'exécution des activités.

Après avoir décrit le processus de construction du Lab in Virtuo de manière générique, nous allons à présent nous spécialiser sur un domaine particulier en consacrant le chapitre 11 à la création d'une ontologie spécialisée consacrée au démonstrateur du Lab in Virtuo : les forges.

Références chapitre 10

BALFET Hélène (1991), *Observer l'action technique: des chaınes opératoires, pour quoi faire?*, Editions du Centre national de la recherche scientifique.

BERETTA Francesco (2016), *L'interopérabilité des données historiques et la question du modèle: l'ontologie du projet SyMoGIH*.

BORGO Stefano et al. (2014), « Technical artifacts: An integrated perspective », *Applied Ontology*, t. 9, n° 3-4, p. 217–235.

BRATIANU Constantin (2010), « A critical analysis of Nonaka's model of knowledge dynamics », in.

CHAMOUX Marie Noëlle (1978), « La transmission des savoir-faire: un objet pour l'ethnologie des techniques? »

CHARLET Jean, BACHIMONT Bruno, MAZUEL Laurent et al. (2009), « OntoMenelas: motivation et retour d'expérience sur l'élaboration d'une ontologie noyau de la médecine », *Journées Francophones des Ontologies*.

DOERR Martin (2005), « The cidoc crm, an ontological approach to schema heterogeneity », in *Dagstuhl Seminar Proceedings*, Schloss Dagstuhl-Leibniz-Zentrum für Informatik.

EIDE et al. (2008), « Encoding cultural heritage information for the semantic web. procedures for data integration through cidoc-crm mapping », in *Open Digital Cultural Heritage Systems Conference*, t. 25, p. 47.

KASSEL Gilles (2009), « Vers une ontologie formelle des artefacts », in *20es Journées Francophones en Ingénierie des Connaissances*, 12–pages.

KRATHWOHL David R (2002), « A revision of Bloom's taxonomy: An overview », *Theory into practice*, t. 41, n° 4, p. 212–218.

LE CORRE Frédéric et al. (2014), « A Pedagogical Scenario Language for Virtual Learning Environment based on UML Meta-model », in *Proceedings of the 6th International Conference on Computer Supported Education-Volume 1*, SCITEPRESS-Science et Technology Publications, Lda, p. 301–308.

MASOLO C et al. (2003), *The WonderWeb library of foundational ontologies and the DOLCE ontology. WonderWeb (EU IST project 2001-33052) deliverable D18*, rapp. tech., LOA-ISTC-CNR.

NONAKA Ikujiro (1994), « A dynamic theory of organizational knowledge creation », *Organization science*, t. 5, n° 1, p. 14–37.

NONAKA lkujiro, TAKEUCHI Hirotaka et UMEMOTO Katsuhiro (1996), « A theory of organizational knowledge creation », *International Journal of Technology Management*, t. 11, n° 7-8, p. 833–845.

QUERREC Ronan (2010), « Apprentissage de procédures en environnements virtuels », thèse de doct., Université Européenne de Bretagne.

RABARDEL Pierre (1995), *Les hommes et les technologies; approche cognitive des instruments contemporains*, Armand Colin.

RAMOGNINO Nicole (2014), « Les entités sociales: réflexions ontologiques. Discussion de l'ouvrage de Pierre Livet et Frédéric Nef Les Êtres sociaux. Processus et virtualité, Paris, Éditions Hermann, 2009 », *SociologieS*.

ROHOU Bruno (2018), « Modélisation des ports de Brest (France), Rosario et Mar del Plata (Argentine) en tant que macro systèmes technologiques complexes: application à la modélisation des connaissances pour l'histoire des sciences et des techniques », thèse de doct.

TANAKA Shogo (2011), « The notion of embodied knowledge », *Theoretical psychology: Global transformations and challenges*, p. 149–157.

Chapitre 11

Une ontologie spécialisée : l'exemple de «Forge-o»

11.1 Introduction

Les chapitres 9 et 10 ont pour vocation d'expliquer les concepts ainsi que le processus de construction du Lab in Virtuo de manière générique. Ce processus de conception implique différentes tâches comme la construction de l'ontologie générique ANY-ARTEFACT-O ainsi que la spécialisation du domaine.

Ce chapitre est quant à lui consacré à l'ontologie spécialisée, «Forge-o» développée à partir du premier cas d'étude du Lab in Virtuo : les forges de l'arsenal de Brest (Voir chapitre 6). Cette unité de production industrielle fermée en 2013, est l'un des indicateurs spécifiques retenus pour l'étude de l'arsenal de Brest.

Les chapitres précédents consacrés au processus de conception du Lab in Virtuo dédié à l'étude des paysages culturels industriels se voulaient génériques, ce chapitre sera quant à lui une spécialisation d'un domaine particulier avec l'ontologie spécialisée «Forge-o».

Ce chapitre présente la démarche et le processus de construction de l'ontologie spécialisée ainsi que son intérêt.

11.2 La démarche de conception de l'ontologie spécialisée « Forge-o »

Comme le précise (HARZALLAH 2017), *«Les ontologies ont été introduites en ingénierie des connaissances, principalement, pour régler ces problèmes : (1) pouvoir représenter les connaissances et expliciter leur sémantique d'une façon qu'elles soient compréhensibles de la même façon par des humains et des machines, (2) pouvoir réutiliser des modèles des connaissances, (3) et pouvoir raisonner sur et avec ces connaissances»*. L'ingénierie des connaissances est l'une des composantes essentielles du Lab in Virtuo. En effet, les ontologies vont permettre d'alimenter l'EVI en données qui pourront ensuite être transmises aux utilisateurs.

Ce chapitre est consacré à l'ontologie spécialisée «Forge-o» pour «Forge-ontologie» qui est une ontologie de domaine :*«Par opposition aux ontologies génériques, les ontologies de domaine se limitent à représenter la connaissance d'un domaine particulier. [...] les ontologies de domaine restreignent l'interprétation des concepts qu'elles définissent au contexte spécifié par le domaine. Ceci a l'avantage de limiter l'ambiguïté des termes définis dans l'ontologie»* (HERNANDEZ 2005). «Forge-o» est donc utilisée pour représenter un domaine particulier dans le but de mettre en évidence les concepts-clefs, les attributs ainsi que des instances relatives au domaine. Cette ontologie spécialisée se base sur le démonstrateur de la forge de Brest mais reste générique pour permettre l'étude d'autres forges du même type.

La construction d'une ontologie spécialisée requiert une démarche particulière comme l'identification et le recueil de données sur le domaine, l'analyse de ces données et la modélisation des concepts.

11.2.1 La constitution d'un corpus

La première étape nécessaire pour la construction d'une ontologie spécialisée est l'identification et le recueil de données sur le domaine. Dans le cas du développement de l'ontologie «Forge-o» démonstrateur du Lab in Virtuo, un important travail de recherche a été effectué sur les forges de Brest afin de comprendre le domaine mais également de mettre en évidence les concepts du méta-modèle ANY-ARTEFACT ; «acteur», «artefact»,

«savoirs» et «pratique culturelle industrielle». Ce travail de recueil de données a été effectué au moyen de plusieurs types de sources qui ont permis de mettre en évidence des informations essentielles pour l'étude des forges :

- **Des archives historiques :** Un certain nombre d'archives historiques ont été utilisées dans le cadre de l'élaboration de l'ontologie «Forge-o». Ces archives sont particulièrement utiles pour l'étude des artefacts présents dans les forges. Les documents les plus utilisés sont des rapports de l'atelier des forges faisant état des machines utilisées et des réparations effectuées. Un certain nombre de plans des machines ont été exploités afin de connaître les dimensions, les matériaux et les différents composants de ces machines.
- **Des entretiens auprès d'anciens utilisateurs du système :** Comme il a été précisé dans le chapitre 5 de cette thèse, des entretiens ont été menés auprès d'anciens forgerons de la forge de Brest. Ces entretiens ont été particulièrement intéressants car ils ont permis de combler un certain nombre de lacunes en termes de données, notamment en ce qui concerne le travail de l'ouvrier, l'utilisation des outils, la gestuelle technique ainsi que l'organisation du travail au sein des forges.
- **Des vidéos :** Deux vidéos font également partie des sources utilisées pour l'étude des forges : le court métrage d'Olivier Bourbeillon et une vidéo de 1996 par un ouvrier des forges. Ces documents délivrent des informations importantes sur les artefacts des forges aujourd'hui disparus, ainsi que sur les techniques et sur les procédures des ouvriers au travail.
- **Des photographies :** Au même titre que les vidéos, les photographies permettent au chercheur d'acquérir des connaissances sur l'environnement de travail ainsi que les artefacts qui s'y trouvent. Les photographies et les vidéos représentent des sources essentielles en ce qui concerne la gestuelle technique qui est absente dans les autres types de sources.

Les sources utilisées dans le cadre du développement de l'ontologie «Forge-o» ont également permis l'étude des Forges de Brest dans le chapitre 6.

L'ontologie «Forge-o» n'est pas une ontologie spécialisée sur les forges de Brest tant que celle-ci n'est pas instanciée. En effet, cette ontologie dédiée aux forges se doit d'être générique afin de faciliter sa réutilisation par d'autres chercheurs. Même si l'essentiel des recherches historiques a été effectué sur le démonstrateur de Brest, il est tout de même nécessaire d'élargir le champ des recherches afin d'assurer le caractère générique de l'ontologie.

11.2.2 Le processus de construction

Une fois le recueil de données effectué, les données sont analysées afin de mettre en évidence les concepts du méta-modèle ANY-ARTEFACT qui est destiné à étudier l'activité humaine : les «acteurs», les «artefacts» et les «savoirs». Dans le cadre de l'étude de la forge de Brest, la composante d'ANY-ARTEFACT permettant d'étudier les cycles de vie des artefacts, HST-ARSENAL, est également utilisée (Voir chapitre 5).

Avant de procéder aux travaux de modélisation dans l'ontologie, il est possible de procéder à la construction d'une carte conceptuelle. Ce genre de représentation graphique de connaissances permet de mettre en évidence des classes ainsi que les liens qui les unissent.

Une fois ce travail effectué, le travail de modélisation de l'ontologie spécialisée peut alors débuter. Dans le cadre de ces travaux, il y a deux étapes distinctes :

- La construction de l'ontologie «Forge-o» dédiée à l'étude des forges de façon générique et s'appuyant sur le méta-modèle ANY-ARTEFACT-O
- L'instanciation ou le peuplement de l'ontologie concernant le démonstrateur des Forges de Brest afin de participer au développement du Lab in Virtuo

11.3 La construction de l'ontologie «Forge-o»

L'ontologie spécialisée «Forge-o», en plus d'être une ontologie de domaine est ce que l'on appelle une extension. En effet, cette ontologie se base sur l'ontologie ANY-ARTEFACT-O qui a été développée dans le chapitre 10. La figure 11.1 représente le processus de conception du Lab in Virtuo appliqué aux forges de Brest.

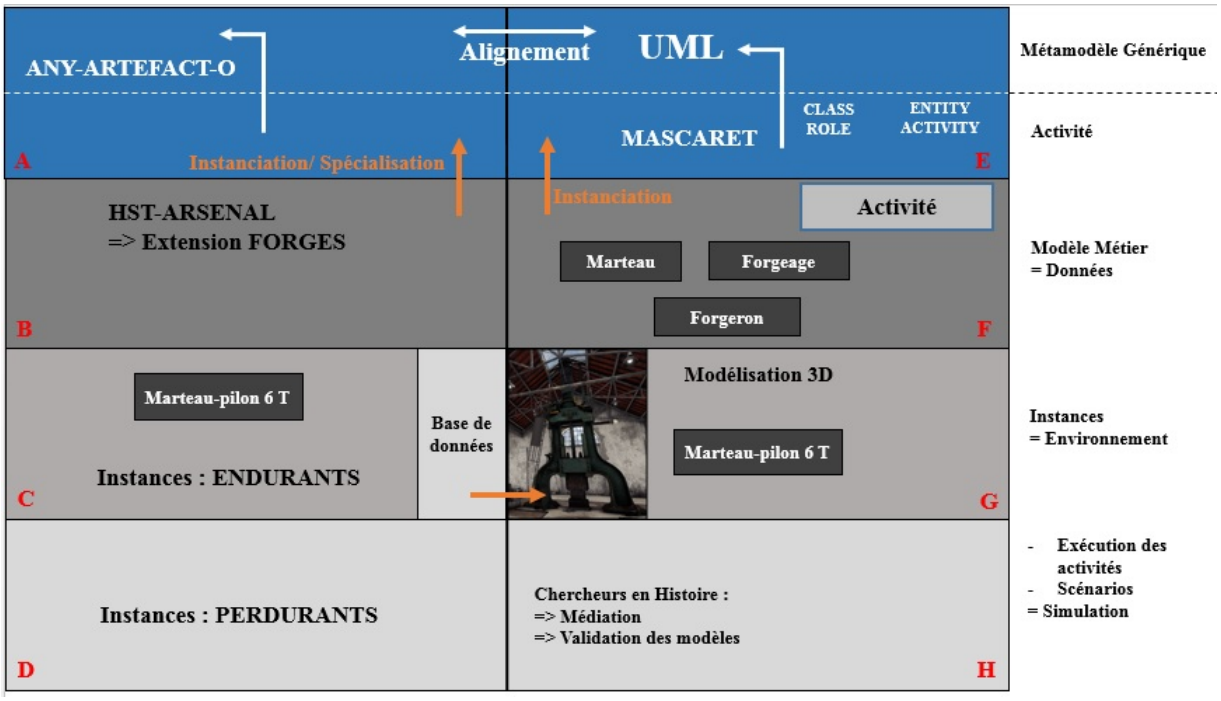


FIGURE 11.1 – Le processus de conception du Lab in Virtuo appliqué au cas des forges de Brest

L'étape B correspond à la conception de l'ontologie «Forge-o». Comme il est particulièrement visible sur cette figure, l'ontologie «Forge-o» est directement liée à l'ontologie «ANY-ARTEFACT-O», il s'agit d'une spécialisation.

Les ontologies «ANY-ARTEFACT-O» et «Forge-o» ont été développées au moyen du logiciel de création ontologique Protégé [1].«Forge-o» étant une extension de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O, il est nécessaire de s'appuyer sur l'ontologie générique afin de construire l'ontologie spécialisée. Pour cela, l'ontologie ANY-ARTEFACT-O est ouverte dans le logiciel et l'ontologie «Forge-o» est créée dans un autre fichier tout en s'appuyant sur la première.

11.3.1 Les classes

L'ontologie ANY-ARTEFACT-O qui est l'ontologie générique dédiée aux paysages culturels industriels va servir de point de départ à l'ontologie spécialisée. En effet, l'intérêt est de spécialiser le domaine en s'appuyant sur les concepts génériques du méta-modèle.

1. https://protege.stanford.edu/

La construction de l'ontologie «Forge-o» nécessite l'identification des «acteurs», des «savoirs» et des «pratiques culturelles industrielles» qui sont en relation avec chaque artefact ainsi que leurs différentes sous-classes.

FIGURE 11.2 – La classe «acteur» de l'ontologie «Forge-o»

La figure 11.2 représente les informations relatives à la classe «acteur». Les classes en gras sont les classes de l'ontologie «Forge-o» et les autres celles de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O.

Les classes de l'ontologie « Forge-o » relative à la classe acteur ont pour objectif d'affiner les informations concernant le domaine de recherche, c'est-à-dire la forge. En ce qui concerne l'équipe qui constitue un groupe de personnes, deux types d'équipes sont mis en évidence : L'«équipe administrative» qui exerce des activités financières et de logistiques au sein de l'unité de production industrielle, et l'«équipe des ouvriers» qui concerne les travaux de fabrication des pièces métalliques. La classe «personnage» de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O concerne les rôles/métiers présents dans les forges. Il est nécessaire de lister les professions représentées dans les forges en essayant d'être le plus précis possible. Les métiers présents dans les forges de Brest, démonstrateur utilisé dans le cadre de ces travaux, sont listés puis complétés par d'autres postes à la suite de recherches complémentaires. Les classes « Contributeur », « créateur », « éditeur », et « traducteur » sont des classes de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O car il s'agit de personnages « généraux » et non spécifiques au domaine des forges.

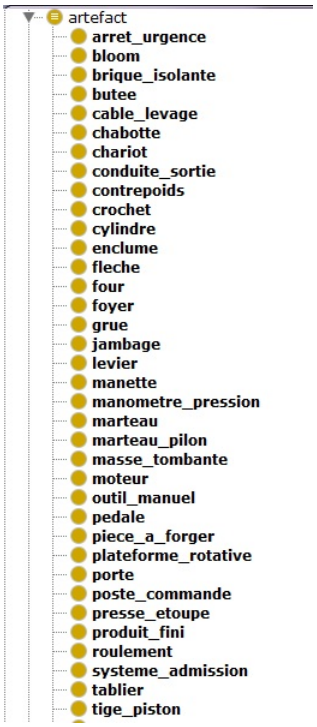


FIGURE 11.3 – La classe «artefact» de l'ontologie «Forge-o»

Comme il a été précisé plus tôt dans le chapitre 10 consacré à l'ontologie ANY-ARTEFACT-O, la classe Artefact ne possède pas de sous-classes (Voir figure 11.3). En effet, cette classe est destinée à être affinée en fonction du domaine concerné par l'ontologie spécialisée. Dans le cadre de l'ontologie « Forge-o », la classe « artefact » est dotée de très nombreuses sous-classes destinées à lister les artefacts présents dans les forges comme des outils : le «marteau_pilon», la «grue» ou le «four», ou des composants d'artefacts comme «conduite_de_sortie» ou «porte» car les artefacts sont composés eux même d'artefacts.

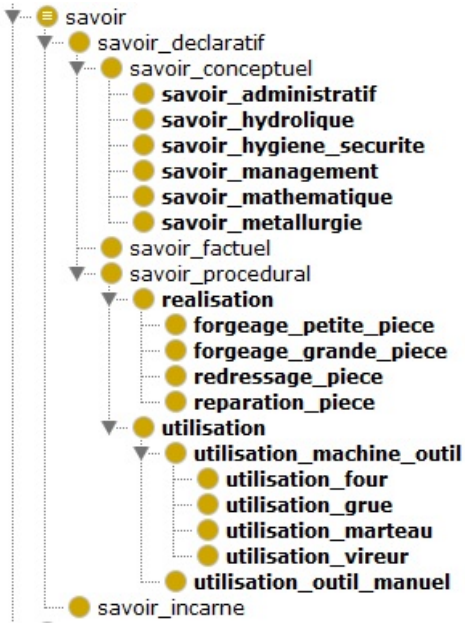


FIGURE 11.4 – La classe «savoir» de l'ontologie «Forge-o»

L'intérêt du Lab in Virtuo, et de l'ontologie spécialisée est d'étudier les paysages culturels industriels et l'activité associée. L'étude de la notion de «savoir» est donc particulière-

ment importante et doit donc être affinée au maximum à partir des classes de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O (Voir figure 11.4). La classe «savoir conceptuel» de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O implique des connaissances acquises par l'étude ou l'expérience et relatives à des concepts ou des théories. Dans le cadre de l'étude des forges, ces types de savoirs concernent les connaissances indispensables aux acteurs d'une forge.

- Le «savoir_administratif concerne les connaissances nécessaires pour le bon fonctionnement de l'atelier, comme des connaissances en finances, en commerce, ou en logistique
- Le «savoir_hydraulique» est un type de connaissances relatif à un type d'énergie régulièrement employé dans les forges pour de nombreux outils comme par exemple des marteaux auto-compresseurs ou encore des marteaux-pilons.
- Le «savoir_hygiene_securité» concerne les connaissances de sécurité à appliquer au sein d'un atelier
- Le «savoir_management» concerne certains postes comme «chef_equipe» ou «chef_forge» qui organisent le travail des différents ouvriers
- Le «savoir_mathematique» qui est indispensable pour les forgerons qui doivent calculer le poids et la taille des pièces commandées avant de procéder à la fabrication
- Le «savoir_metallurgie» implique les connaissances relatives aux différents métaux ainsi que les méthodes de fabrication des pièces.

La classe «savoir_procédural» correspond à la manière de faire quelque chose. Cette classe est divisée dans «Forge-o» en deux sous-classes : La «réalisation», c'est-à-dire la réalisation de procédures particulières comme le «forgeage_grande_piece» et l'«utilisation» c'est-à-dire la capacité à utiliser un outil comme «utilisation_four». La classe «savoir factuel n'a pas été développée dans le cadre de ces travaux.

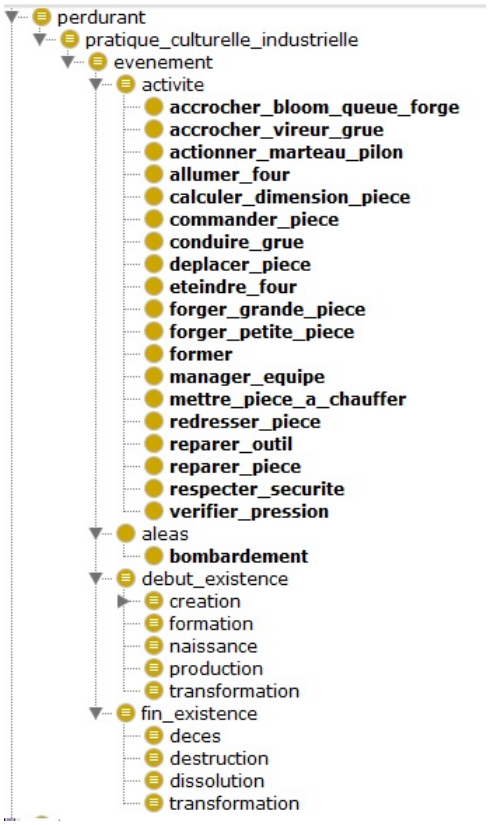


FIGURE 11.5 – La classe «pratique culturelle industrielle» de l'ontologie «Forge-o»

La classe «pratique_culturelle_industrielle» (Voir figure 11.5) nécessite de lister les différents types d'activités effectuées dans une forge. Ces différentes activités peuvent être impliquées dans des procédures complètes comme par exemple «allumer_marteau_-pilon» ou «eteindre_four». Des aléas peuvent également être listés comme «bombardement».

11.3.2 Les propriétés

Dans le cadre de la construction d'une ontologie spécialisée, il est absolument nécessaire de créer des propriétés afin de créer des liens entre les différentes classes. Dans le cadre d'une ontologie sur Protégé il faut pour cela attribuer des «Domain» et des «Range» :

- Le «Domain» précise la classe qui est définie par une propriété. Par exemple, si on prend la propriété «AA12_est_compose_de», cette propriété est définie dans «artefact».

- «Range» définit le domaine de valeur d'une propriété. En reprenant l'exemple précédant, le domaine de valeur de cette propriété est «artefact», ce qui donne donc : «artefact» «est_compose_de» «artefact» : Un artefact est composé d'un artefact.

Au même titre que pour l'ontologie ANY-ARTEFACT-O, il a été nécessaire de créer des propriétés particulières afin de combler les lacunes du CIDOC-CRM. Sur la figure 11.6 se trouve un certain nombre de propriétés créées pour les besoins de l'ontologie «Forge-o». Certaines propriétés sont utilisées à plusieurs reprises comme c'est le cas pour la propriété «est_composé_de». De la même manière que pour le méta-modèle, des préfixes sont mis en place afin de différencier les différentes propriétés. Pour la propriété «AA12est_composé_de» provenant d'ANY-ARTEFACT-O, plusieurs préfixes sont mis en place pour «Forge-o» :

- AA12 a, b, c... : Pour décrire la composition du marteau-pilon

- AA12 aa, ab, ac.... : Pour décrire la composition de la grue

- AA12 ba, bb, bc.... : Pour décrire la composition du poste de commande

Ces différents préfixes permettent alors de différencier les classes qui sont concernées.

Comme ANY-ARTEFACT-O et Forge-o peuvent être fusionnées, il est possible de lier des classes des deux ontologies en les liant par des propriétés.

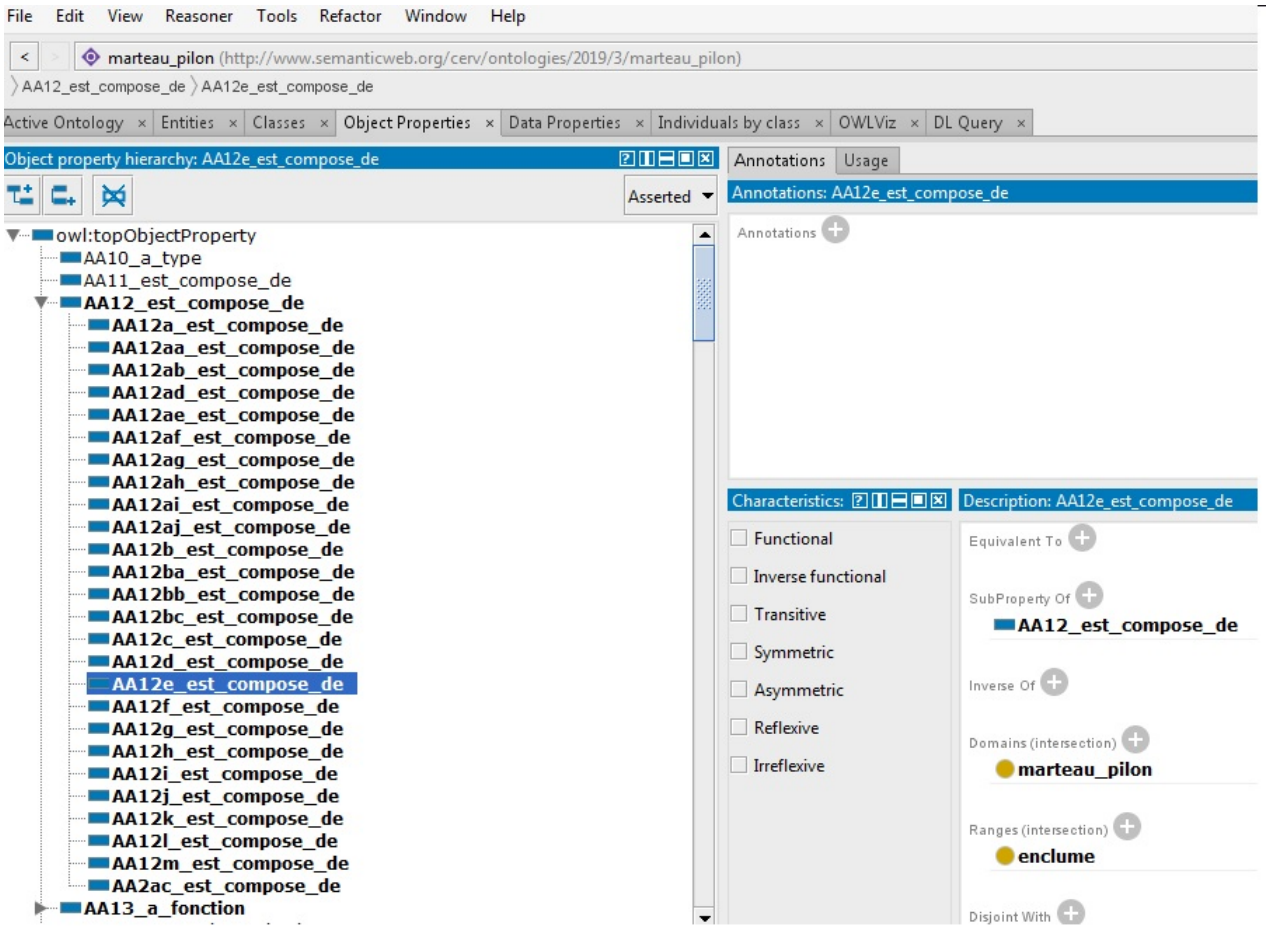


FIGURE 11.6 – Les propriétés de l'ontologie «Forge-o»

Les propriétés permettent donc de relier des classes entre elles et de créer des triplets [2] (Exemple sur la figure 11.6 : Le marteau-pilon est composé d'une enclume).

11.3.3 Le peuplement

Dans le cadre du développement d'ontologies consacrées au patrimoine comme «Forge-o», il est fréquent de publier les sources analysées concernant le domaine de recherche sur un portail consacré à l'histoire ou au patrimoine. Ces portails permettent de rendre ces données consultables et réutilisables. Parmi les outils informatiques dédiés à la publication de données et permettant l'utilisation d'ontologies, nous pouvons par exemple citer ARCHES [3] et SyMoGIH [4].

Dans le cas de «Forge-o» et des forges de Brest, le peuplement ou l'instanciation des sources peut-être effectué de deux façons :

- Directement dans l'éditeur d'ontologie Protégé
- A partir de formulaires dans ARCHES

2. Sujet, prédicat, objet.
3. https://www.archesproject.org/
4. symogih.org

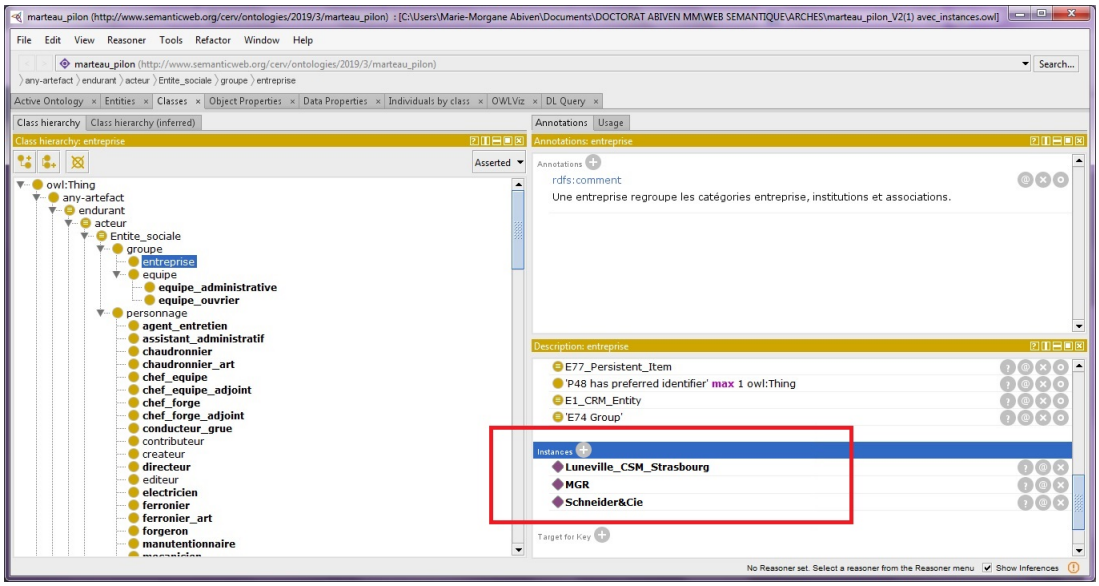


FIGURE 11.7 – Exemple d'instances dans l'ontologie «Forge-o»

La figure 11.7 représente les instances de la classe «entreprise». Trois instances ont été intégrées à l'ontologie «Forge-o» : Lunéville_CSM_Strasbourg qui est l'entreprise de la grue des forges de Brest, «MGR» celle du four, et enfin «Schneider_Cie» celle du marteau-pilon de 6 tonnes.

Avec ARCHES, l'instanciation des forges de Brest se fait au moyen de formulaires (Voir Figure 11.8) qui sont bâtis à partir des ontologies. Il suffit de remplir les formulaires (texte libre ou menu déroulant) afin d'instancier. Cette méthode permet de masquer la complexité des ontologies.

Pour l'étude de la grue par exemple, plusieurs champs sont à remplir par le chercheur afin de compiler le maximum de données sur l'artefact :

1. Date de mise en service
2. Date de fin de service
3. Date de destruction
4. Modifications apportées
5. Nom du fabricant
6. Provenance (lieu)
7. Dimensions (hauteur, largeur)
8. Longueur de la flèche en mètres
9. Puissance de charge en kg
10. Type d'énergie
11. Composants
12. Poste de commande : (nombre de manettes, nombre de boutons)
13. Sources

Les données entrées dans ces différents champs sont alors stockées dans la base de données et réutilisables.

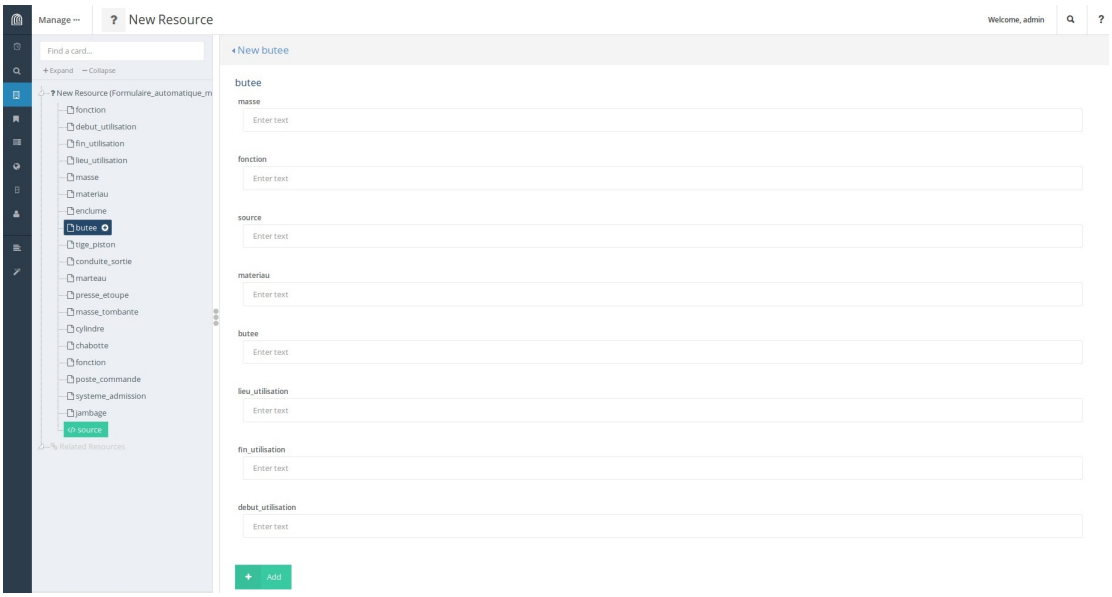


FIGURE 11.8 – Exemple de formulaire pour les composants du marteau-pilon

Le développement de l'ontologie «Forge-o» implique donc plusieurs étapes qui sont visibles sur la figure 11.9 :

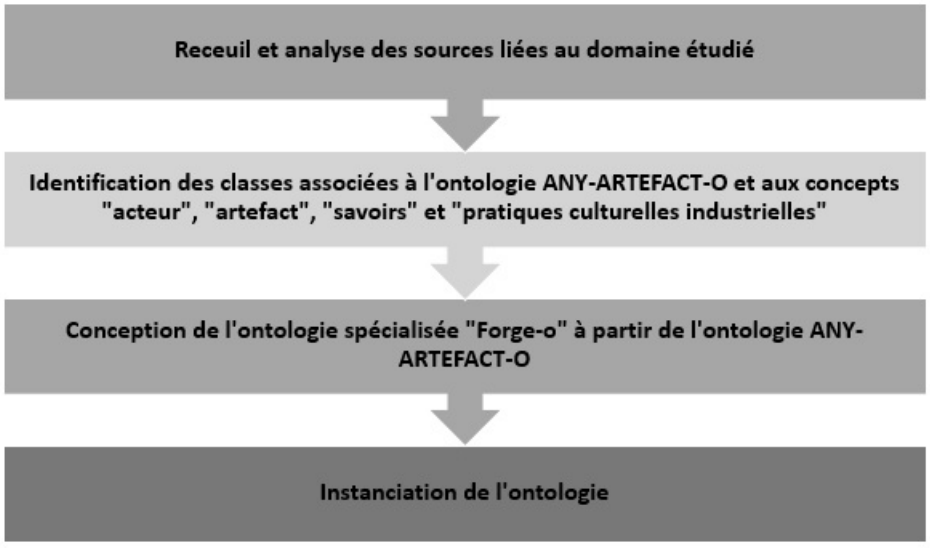


FIGURE 11.9 – Le processus de conception de l'ontologie «Forge-o» appliqué aux forges de Brest

11.3.4 L'ajout d'informations

La création de l'ontologie spécialisée peut-être effectuée au moyen de plusieurs logiciels de création ontologique. Dans le cadre de Forge-o, le logiciel Protégé a été utilisé. Dans ce logiciel, il est possible d'ajouter à l'ontologie des «Annotations», c'est-à-dire un texte explicatif pour chacune des classes et des sous-classes de l'ontologie. Sur la figure 11.10 nous pouvons voir l'annotation qui a été ajoutée à la classe «Chabotte» qui est un des composants du marteau-pilon.

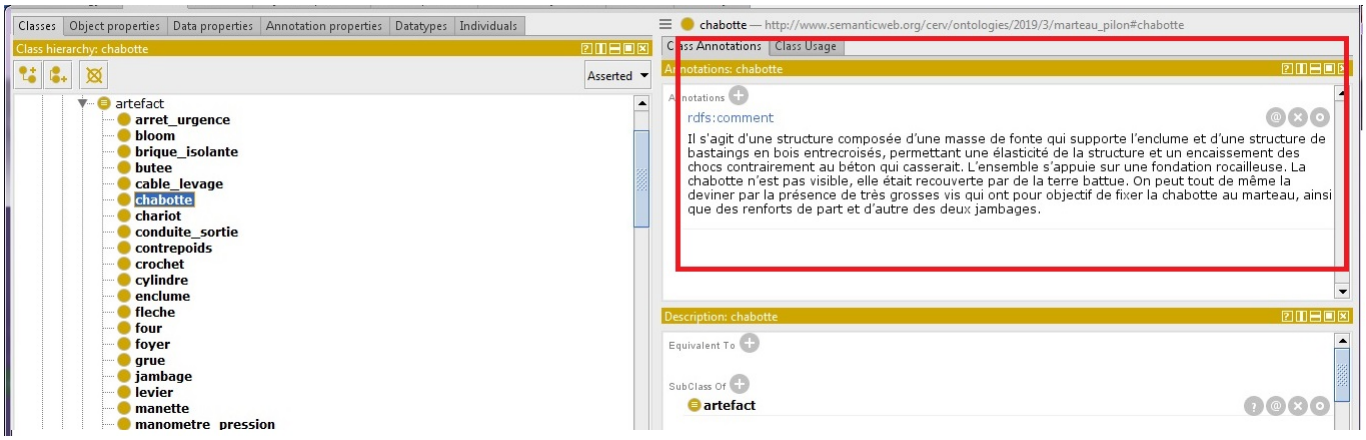


FIGURE 11.10 – Les annotations de l'ontologie «Forge-o»

Ces annotations ont pour objectif de renseigner le chercheur qui souhaite utiliser cette ontologie en donnant des définitions ou différentes traductions comme dans le CIDOC-CRM. En plus d'avoir ce caractère informatif, ce texte peut également être réutilisé directement dans l'EVI du Lab in Virtuo.

11.4 L'intérêt de l'ontologie «Forge-o»

11.4.1 La spécialisation d'un domaine

Le principe d'une ontologie de domaine ou d'une ontologie spécialisée est de représenter un domaine particulier en mettant en évidence les concepts clefs du domaine.

Cette ontologie dédiée aux forges a été développée afin d'étudier les forges de Brest, démonstrateur du Lab in Virtuo mais celle-ci peut-être également utilisée pour d'autres types de forges. Dans le chapitre 6, une étude historique des indicateurs sélectionnés pour les arsenaux de Brest et de Venise est effectuée afin de bâtir une histoire comparée.

La forge de Venise fait partie de l'étude et représente donc un indicateur pertinent pour démontrer le caractère générique de l'ontologie «Forge-o». Précédemment, dans la partie dédiée au peuplement de l'ontologie, nous nous sommes intéressés à l'instanciation de l'ontologie spécialisée avec les données concernant l'étude de la forge de Brest. L'ontologie étant générique, une instanciation des données de la forge de Venise a également été effectuée. La démarche est la même que pour l'instanciation des données sur la forge de Brest. Les ontologies «ANY-ARTEFACT-O» et «Forge-o» sont ouvertes ensemble sur le logiciel Protégé.

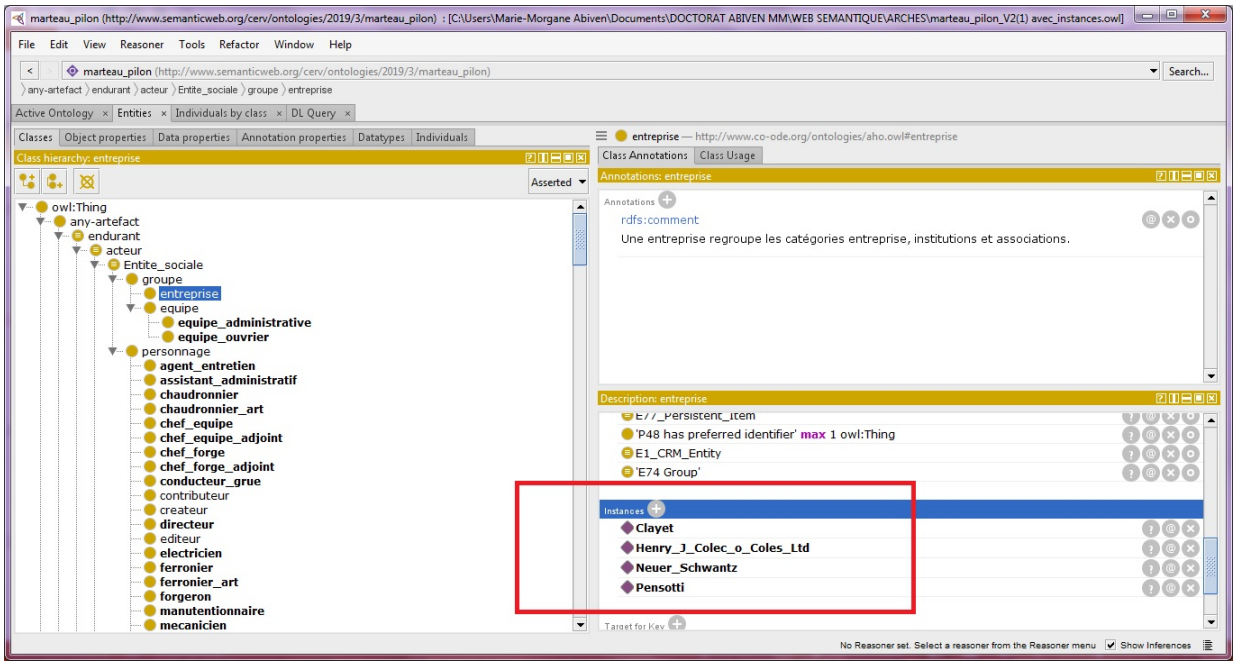


FIGURE 11.11 – L'instanciation des forges de Venise dans «Forge-o»

La figure 11.11 représente l'instanciation de la classe «entreprise» pour les forges de Venise au même titre que pour la forge de Brest dans la figure 11.7. Les instances concernent des entreprises en rapport avec les forges de Venise : «Clayet» est l'entreprise des fours, «Henry J Colec o Coles Ltd» celle d'une presse à vapeur, «Neuer Schwantz» celle du marteau-pilon, et enfin «Pensotti» celle d'un marteau auto-compresseur.

Mais l'instanciation des données relatives aux forges de Venise peut tout aussi bien avoir lieu directement sur ARCHES à l'aide des formulaires qui ont été créés à partir des ontologies.

Ces instanciations des informations recueillies sur les forges de Venise dans l'ontologie «Forge-o» démontrent le caractère générique de l'ontologie spécialisée. Le but de son développement est de permettre son utilisation par d'autres communautés de chercheurs. Les informations recueillies grâce aux instances de «Forge-o» permettront, par la suite, de bâtir une histoire comparée de plusieurs types de forges.

11.5 Conclusion

L'ontologie spécialisée (Figure 11.9, B) est une extension de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O. Elle permet d'affiner la représentation de concepts moins génériques qui s'appliquent à l'étude de cas. La première ontologie spécialisée développée dans le cadre du Lab in Virtuo s'appelle «Forge-o» et est dédiée à l'étude des forges. S'appuyant sur les concepts classes d'ANY-ARTEFACT-O , l'ontologie spécialisée a pour objectif de définir un domaine particulier dans le but de représenter les concepts-clefs. Cette ontologie de domaine doit rester générique afin de garantir sa réutilisation. Cette étape de la conception du Lab in Virtuo représente le modèle métier.

Avec l'ontologie spécialisée, la collecte et le stockage des données sont possibles au moyen de l'instanciation qui consiste à attribuer des noms et des valeurs aux concepts définis dans l'ontologie. Un chercheur disposant d'une source d'information doit être en mesure de contribuer à la collecte de connaissances, même si elle n'a pas d'expertise en ingénierie des connaissances ou en ontologie. Pour ce faire, il est possible de s'appuyer sur

un outil existant dédié au patrimoine, ARCHES, qui permet de créer des formulaires prêts à l'emploi afin de saisir des données. Ces formes sont entièrement construites sur des ontologies et permettent de masquer la complexité de la modélisation des connaissances.

Dans le cadre du Lab in Virtuo, l'ontologie spécialisée «Forge-o», ainsi que son instanciation participent au recueil des données qui vont alimenter la base de connaissances de l'EVI.

Références chapitre 11

HARZALLAH Mounira (2017), « Contributions à l'Ingénierie des Connaissances: Construction et Validation d'Ontologie et Mesures Sémantique », thèse de doct., Université de Nantes, Ecole Polytechnique.

HERNANDEZ Nathalie (2005), « Ontologies de domaine pour la modélisation du contexte en recherche d'information », thèse de doct., Université Paul Sabatier-Toulouse III.

Chapitre 12

Les usages du Lab in Virtuo en médiation

12.1 Introduction

Les chapitres 5, 6, 7 et 8 présentent les travaux en HST sur l'étude des indicateurs spécifiques des deux arsenaux ainsi que l'activité associée. Ces travaux ont été employés en HN dans les chapitres 10 et 11 pour le développement de méthodologies ayant pour vocation la création du Lab in Virtuo.

Ce chapitre est consacré aux usages du Lab in Virtuo appliqués au domaine de la médiation culturelle. Dans un premier temps nous présenterons l'EV des forges et à sa construction ainsi qu'aux premières applications en médiation culturelle de cet EV dans le cadre d'évènements scientifiques.

Nous présenterons ensuite aux travaux effectués en collaboration avec les forgerons experts du domaine qui ont participé à la validation du modèle 3D ainsi qu'à la réalisation d'un premier recueil de données «in virtuo».

Tous ces travaux dédiés à la médiation culturelle ont permis la création de scénarios de médiation exécutables dans l'EVI pour différents types de publics.

Enfin, nous proposerons à la fin de ce chapitre une piste de réflexion sur l'usage du Lab in Virtuo dans le cadre d'une exposition dans un musée impliquant l'utilisation des scénarios de médiation.

12.2 L'Environnement Virtuel des forges

Comme il a été précisé précédemment, le Lab in Virtuo est composé d'un EVI. Cette partie consacrée à la modélisation 3D ne concerne que l'EV, et les chapitres 10 et 11 concernent la partie «Informée« de l'EVI.

12.2.1 La construction de l'Environnement Virtuel

L'environnement 3D constitue l'enveloppe du Lab in Virtuo. Sa qualité est particulièrement importante tout comme sa fiabilité scientifique. Le premier cas d'usage de la méthodologie que nous proposons est appliqué à la forge de Pontaniou à Brest.

En juillet 2014, dans le cadre d'une collaboration entre Brest Métropole,la Marine, Naval Group, le centre François Viète , le SIAME [1] et l'IUEM [2] un grand projet de modélisation de l'espace des forges de Pontaniou à Brest a été mis en place. L'IUEM et particulièrement l'UMR Domaine Océanique, ont participé à la capture LIDAR [3] de l'atelier, point de départ de la modélisation. Afin de procéder à la prise de données LIDAR, les techniciens ont posé des pastilles réfléchissantes à différents endroits du bâtiment afin d'obtenir des points de repère. Le LIDAR était ensuite positionné sur une nacelle pour capturer l'espace.

Les données LIDAR sont nécessaires pour débuter le processus de modélisation de l'espace des forges (Voir figure 12.1). Ces données sont alors fournies à la société Virtualys [4] qui va se consacrer au travail de textures et de lumières. Pour cela, de nombreuses photographies de l'atelier sont prises sur place en décembre 2016 pour que la modélisation soit le plus fidèle possible à la réalité.

1. Service d'ingénierie, d'appui et de médiatisation pour l'enseignement de l'UBO.
2. Institut Universitaire Européen de la Mer.
3. Le LIDAR pour «*Light Detection and Ranging*» est une technologie semblable aux radars qui permet de mesurer à distance à l'aide de lasers.
4. Virtualys est une société d'ingénierie logicielle et de R and D de Brest spécialisée dans les domaines de la RV et de la 3D interactive.

FIGURE 12.1 – Nuage de points obtenu par le LIDAR [5]

Cet environnement virtuel des forges de Pontaniou représente une des étapes-clefs de la construction du «Lab In Virtuo». Il est également essentiel de rappeler que la construction d'environnements virtuels de ce type constitue de nouvelles archives 3D sur cette unité de production industrielle.

Pour utiliser le Lab in Virtuo appliqué au cas d'usage des forges de Brest, l'utilisateur doit se munir d'un casque de RV ainsi que d'une manette permettant d'interagir avec l'environnement.

La modélisation 3D de l'environnement des forges de Brest est cinématique c'est-à-dire qu'elle incorpore de la simulation des systèmes mécaniques et des déplacements induits. Il est alors possible pour l'utilisateur d'effectuer des actions. Il peut par exemple actionner le marteau-pilon afin de frapper une pièce métallique (Voir figure 12.2) ou manipuler la grue à partir du poste de commande.

FIGURE 12.2 – Commande d'action dans l'environnement virtuel

5. Image extraite de la vidéo de présentation de la modélisation des forges par Virtualys https://www.youtube.com/watch?v=fnuPnRaYxeQ&t=26s

L'utilisateur peut également se déplacer au sein de l'environnement. En effet, une gâchette sous la manette lui permet de se «téléporter» facilement à un autre endroit de la forge (Voir figure 12.3).

FIGURE 12.3 – Commande de direction dans l'environnement virtuel

Pour rendre l'expérience la plus réaliste possible, des sons sont ajoutés à l'environnement. Lorsque l'utilisateur actionne le marteau-pilon, il peut entendre le bruit de la machine qui frappe la pièce. Il est également possible d'entendre le bruit de la grue ainsi que des bruits d'ambiance. Les sons des machines sont des bruits d'origine qui ont été captés dans le cadre d'un documentaire radiophonique réalisé par ARTE Radio en 2006 [6].

12.2.2 Les premières applications de l'EV

Au cours de ce projet de recherche, des démonstrations de la modélisation des forges de Brest ont pu être menées lors de divers évènements scientifiques et culturels. Le but de ces démonstrations est de présenter les travaux de l'équipe de recherche mais surtout de tester l'usage de ces modélisations dans un cadre de médiation culturelle auprès du grand public et d'un public de scolaires.

Avec le grand public

Un certain nombre d'évènements scientifiques ont permis à l'équipe de recherche de procéder à des démonstrations de l'EV des forges afin d'évaluer l'intérêt du public et également de travailler sur les usages dans un contexte de médiation culturelle.

Des démonstrations ont été effectuées, par exemple, lors de la Nuit Européenne des Chercheurs deux années de suite [7] . Présent dans plus de deux-cents villes en Europe et

6. Reportage *«Le dernier cri du Marteau Pilon»*, diffusé le 15 février 2006 sur ARTE Radio https://www.arteradio.com/son/21816/marteau_pilon

7. Ces deux éditions ont eu lieu à Océanopolis Brest, le 29 septembre 2017 et le 28 septembre 2018.

douze villes en France, cet évènement permet au public de rencontrer des chercheurs toutes disciplines confondues afin de découvrir leurs domaines de recherche.

L'objectif de la participation à ces évènements était de présenter au public les méthodologies employées dans le cadre d'études sur les paysages culturels industriels et de faire tester les modélisations au grand public.

Un séminaire de recherche [8] a également été organisé afin d'établir un bilan des méthodes de conservation et de valorisation du patrimoine industriel basées sur les HN appliquées au paysage portuaire de la ville de Brest. Cet évènement ayant pour titre *«Méthodes de conservation préventive du patrimoine maritime et Humanités Numériques»* proposait des conférences, une table ronde ainsi que des démonstrations.

La participation à ce type d'évènements scientifiques ainsi que la mise en place de démonstrations est essentielle pour travailler sur les usages du Lab in Virtuo. En effet, cela permet de faire tester la modélisation à un public varié et de se confronter aux questions et aux réactions du public.

Ce type d'évènement a eu une grande importance en ce qui concerne l'élaboration des scénarios de médiation qui seront présentés ensuite. En effet, ces démonstrations ont permis d'évaluer l'intérêt des personnes vis-à-vis du sujet d'étude et plus concrètement vis-à-vis des objets présentés dans l'environnement, ou encore du domaine d'un point de vue général. Les scénarios n'étant pas encore opérationnels, le chercheur qui a effectué les démonstrations s'est substitué au guide afin de présenter l'environnement et de répondre aux questions.

Une collaboration entre le Centre François Viète et une école primaire a été mise en place afin de travailler sur les usages des nouvelles technologies en médiation culturelle auprès d'un public de scolaires.

Avec un public scolaire

Une collaboration avec une école [9] a été mise en place afin de travailler sur les usages des technologies 3D pour un public de scolaires.

Cette collaboration présente plusieurs intérêts :

- Faire découvrir aux élèves aux usages des nouvelles technologies
- Étudier et évaluer l'usage de la technologie 3D pour la médiation culturelle dans un contexte scolaire,
- Réfléchir à la création d'un scénario de médiation pour les scolaires

Une journée de découverte des nouvelles technologies au CERV [10] a alors été organisée. Les élèves ont ainsi pu tester plusieurs dispositifs comme les casques de RV, de réalité augmentée, la motion capture ou encore les tables interactives.

Les élèves ont également été sensibilisés aux recherches menées dans le cadre de ce projet de thèse. En effet, une présentation des indicateurs spécifiques retenus pour l'étude des arsenaux de Brest et Venise a été effectuée devant les élèves en classe [11].Un blog [12] a également été créé pour partager avec les élèves l'expérience de la recherche lors des deux missions effectuées à Venise [13]. L'intérêt était qu'ils puissent interagir et poser

8. Le 29 mai 2018 à l'Université de Bretagne Occidentale de Brest.
9. École primaire du Petit-Paris à Brest. Le projet est amorcé par Mme Gaël Priser institutrice et M.Emmanuel Saulnier, directeur de l'établissement.
10. Le 17 mai 2017.
11. Le 6 mars 2017.
12. http://www.decouvertedevenise.over-blog.com
13. Du 15 mai au 15 juin 2017 et du 1er au 29 juin 2018.

toutes les questions qu'ils souhaitaient. Au début de la journée les élèves se réunissaient afin de consulter les nouveaux articles sur le blog et de laisser des commentaires afin de poser des questions.

Dans le cadre du projet de classe mené par Mme Priser que les métiers de la mer, les élèves se sont également intéressés aux forges de l'arsenal de Brest et ont mené un entretien filmé des forgerons M. Roué et M. Vourch afin de parler de la construction navale et du métier de forgeron.

Ces différents projets mis en place avec l'école ont permis d'évaluer l'intérêt des élèves pour les recherches effectuées dans le cadre du Lab in Virtuo. Cela a donné lieu à la création d'un scénario pour un public de scolaire qui sera présenté dans ce chapitre. Le scénario «scolaire» destiné à présenter l'environnement des forges pourrait être un jour présenté aux élèves. Il serait également possible de réaliser des expérimentations afin d'évaluer les réactions des élèves face à ce scénario dans le but de l'améliorer. Il s'agit ici d'une perspective de recherche pour la suite du développement du Lab in Virtuo appliqué à la médiation culturelle.

Ces premières applications de l'EV des forges a permis d'établir un premier contact avec différents types de public afin d'évaluer l'intérêt de la modélisation. Dans le cadre de l'étude sur les usages du Lab in Virtuo pour la médiation culturelle, une expérimentation a également été menée avec deux forgerons afin de travailler sur la validation du modèle 3D et sur le recueil de données «in virtuo».

12.3 Immersion des experts du domaine

Comme il a été précisé dans le chapitre 5, les forgerons sont intégrés au projet en tant qu'experts du domaine. Par le biais d'entretiens, ils ont participé à la réalisation de recueils de données historiques (Voir Chapitres 6, 7 et 8) permettant l'étude de la forge de Brest, et par conséquent au développement de l'EVI du Lab in Virtuo (Voir chapitres 10 et 11).

Dans le cadre des travaux consacrés à la médiation dans le Lab in Virtuo, l'immersion des forgerons a été réalisée pour deux objectifs :

- La validation du modèle 3D afin que celui-ci soit pertinent pour un usage en médiation culturelle
- Un recueil de données «in virtuo» complétant celui effectué au moyen d'entretiens classiques.

Ces démonstrations effectuées auprès des anciens utilisateurs du système correspondent à deux étapes de la figure 10.3 représentant les concepts impliqués dans le Lab in Virtuo : Le recueil de données participe à l'étape C et D, c'est-à-dire l'instanciation des informations historiques et la validation du modèle 3D à l'étape H.

Cette démonstration a eu lieu le 8 novembre 2017, au CERV[14]. Les participants, M. Vourch et M. Roué, ont pu découvrir la modélisation des forges de Brest en même temps mais dans deux pièces séparées afin de pouvoir recueillir séparément leurs impressions. Secondés par des chercheurs, M. Vourch et M. Roué ont pu évoluer dans l'environnement virtuel et (re)découvrir leur ancien lieu de travail.

14. Le résumé de ces démonstrations est consultable dans les annexes.

FIGURE 12.4 – La démonstration de M. Roué

FIGURE 12.5 – La démonstration de M. Vourch

Il est important que l'environnement 3D soit fiable d'un point de vue scientifique. Comme il a été expliqué plus tôt dans ce chapitre, la modélisation 3D des forges a été construite au moyen de données LIDAR et de photographies. Il était par ailleurs important de consulter les forgerons pour savoir si certains éléments étaient à modifier ou non, et recueillir leurs impressions.

Lors de cette première démonstration M. Vourch a semblé particulièrement impressionné par ce qu'il voyait. La démonstration à peine commencée, il s'exclame *«Ah je suis aux forges!*[15] ». Il poursuit :«« *Ah si j'entends le bruit du pilon, c'est tout à fait ça! [...] ça tonne comme à l'atelier! C'est exactement le même son. C'est formidable! [...] C'est magique!* ». Quand on a demandé à M. Roué si le résultat était crédible vis-à-vis de son ancien lieu de travail, il nous répond *«Oh oui ça reflète la réalité»*. Durant cette démonstration, on a invité les forgerons à se déplacer au sein de la forge comme en haut du marteau-pilon ou de procéder à des actions comme le déplacement de la grue. Durant cette visite, M. Vourch qui a eu plus de facilité à se familiariser avec le matériel, a davantage réagi à cette expérience : *«c'est réaliste, c'est la réalité! On était dedans. [...] ça fait longtemps que je n'ai pas été sur la passerelle justement. [...] Je ne m'imaginais pas ça comme ça, si réel. C'est la réalité, c'est proche de la réalité»*

Les différentes réactions des forgerons ont permis d'établir que le modèle 3D était relativement proche de l'atelier des forges. Les forgerons n'ont pas noté d'inexactitudes au sein de l'environnement. A la fin de la démonstration, M. Vourch a précisé : *«Il y a une chose que j'ai remarqué. C'est encore plus impressionnant en 3D que la réalité. Ça impressionne plus»*. Le modèle 3D des forges de Pontaniou a donc été validé par les forgerons.

L'autre intérêt de cette démonstration était de tester le recueil de données «in virtuo». Malgré les entretiens classiques (Voir 5 et annexes) particulièrement complets, nous souhaitions voir s'il était possible de recueillir des informations complémentaires des forgerons lorsqu'ils sont immergés dans l'environnement virtuel des forges.

« L'expérimentation in virtuo d'un modèle numérique lui assure une véritable

15. Retranscription de la démonstration de la modélisation des forges, 8 novembre 2017, CERV, Plouzané. (Voir Annexes)

> *présence et ouvre ainsi de nouveaux champs d'exploration, d'investigation et de compréhension du réel.*» (TISSEAU 2001).

Comme le précise Jacques (TISSEAU 2001), l'immersion des experts du domaine ouvre de nouvelles possibilités en termesde recueil de données. En effet, grâce à la modélisation, les forgerons peuvent nous montrer «in situ» des éléments en particulier et nous délivrer des informations : «*Les pièces ici, la tuyauterie, l'alimentation [...] la conduite est là et ça alimente le pilon*». Le forgeron montre l'endroit où le marteau-pilon est alimenté. Il peut, dans l'environnement virtuel, montrer aux chercheurs des éléments qu'il a évoqué dans le cadre des entretiens et rentrer plus dans les détails pour expliquer le fonctionnement du système technique. Cela permet également au chercheur de croiser les informations entre les entretiens classiques et la démonstration.

Lors de cette démonstration les forgerons sont de nouveau en face des machines, les souvenirs remontent à la surface plus aisément. Le fait de revivre une expérience passée peut permettre de récolter des informations plus détaillées et permet aux anciens usagers d'expliciter des informations qui étaient restées implicites lors des entretiens traditionnels. Avoir recours à des méthodes d'entretien classiques combinées à des méthodes immersives, permet d'augmenter la quantité et la qualité des informations collectées.

Cette démonstration effectuée avec les forgerons peut être considérée comme un travail exploratoire. M.Roué et M.Vourch n'étant pas familiers avec ce genre de dispositif, il fut nécessaire de prendre du temps pour leur expliquer le fonctionnement des manettes pour se déplacer ou effectuer des actions. Lors de ces démonstrations, il a également fallu prendre en compte le handicap de M.Roué qui a des problèmes d'audition et qui avait, par conséquent, des difficultés à entendre les instructions et les questions. Après cette première expérience, il serait intéressant de pouvoir réitérer l'expérience avec M.Vourch et M.Roué en prenant en compte le fait qu'ils savent à présent se servir du dispositif. Il serait également possible d'interroger d'autres forgerons de la forge de Brest dans l'environnement virtuel sans avoir eu d'entretiens classiques au préalable. Cela constitue une perspective pour la suite du projet.

Depuis le début de la collaboration, les forgerons sont très impliqués dans le projet et particulièrement impressionnés par le travail de modélisation de leur ancien lieu de travail, comme en témoigne M.Vourch à la fin de sa démonstration : «*Je ne sais pas si j'ai été brillant mais j'ai vu des choses briller!*[16]»

Lors de la démonstration, les réactions des forgerons, et spécialement de M.Vourch sont particulièrement enthousiastes : *«C'est tout à fait ça», «C'est formidable!», «C'est la réalité, c'est proche de la réalité!», «C'est encore plus impressionnant en 3D que la réalité. Ça impressionne plus»*. Ces réactions particulièrement dithyrambiques s'expliquent par le fait que les forgerons sont particulièrement fiers que des chercheurs s'intéressent à leur ancien lieu de travail et à leur savoir-faire. Il faut également prendre en compte que les forgerons ne sont pas coutumiers de ce genre de technologie, il s'agit de leur première utilisation d'un casque de RV ce qui explique sans doute leur enthousiasme.

Afin de permettre la réalisation d'activités de médiation au sein de l'environnement virtuel, différents types de scénarios de médiation sont créés afin d'être exécutables dans l'EVI du Lab in Virtuo.

16. Retranscription de la démonstration de la modélisation des forges, 8 novembre 2017, CERV, Plouzané.

12.4 Les scénarios de médiation

Afin de mener des sessions de médiation dont les activités se déroulent dans un environnement virtuel, il est possible de mettre en place un scénario de médiation qui permet la construction des connaissances de l'utilisateur. Dans le cadre d'une transmission des connaissances, nous allons voir qu'il existe différents types d'apprentissages.

12.4.1 Les différents types d'apprentissages en médiation

Selon les types de publics ou les profils, il existe différents types d'apprentissages. Pour (FOREST et SGARD 2008), il en existe au moins quatre dans une activité de médiation :

- **Auditifs et visuels** : Il existe plusieurs types de profils dans une activité de médiation. Certaines personnes sont sensibles aux discours, d'autres ne peuvent pas s'intéresser si le discours n'est pas complété par des supports visuels. De plus, certaines personnes aiment lire la documentation avant d'utiliser un nouveau dispositif et d'autres préfèrent la découvrir en les manipulant directement.

- **Cognitifs** : Il s'agit des personnes qui ont besoin d'informations précises, comme des dates ou des concepts pour rentrer dans le discours

- **Sensitifs** : Ce sont les personnes qui sont *«attiré[e]s par le «comment», le fonctionnement et les aspects techniques des choses, ainsi que par le «faire» - des personnes qui ont envie de toucher, d'agir et dont le mot d'ordre est «expérience»*

- **Émotifs** : Ce sont les personnes qui sont guidées par leurs émotions, qui sont sensibles aux histoires et aux anecdotes, et qui sont particulièrement touchées par l'aspect humain. Ce sont des personnes qui *«personnes qui ont envie de communiquer et qui privilégient « expression » et « imagination »»*

Ces différents types d'apprentissages sont directement liés au fonctionnement du cerveau et notamment à la sollicitation des hémisphères gauche ou droit. L'hémisphère gauche fait davantage appel à la raison et l'hémisphère droit à l'imagination. Chaque personne développe un mode de fonctionnement particulier. Dans le cadre de la conception d'activités de médiation, il est donc important de prendre en considération ces différents types d'apprentissages afin de toucher un maximum de personnes.

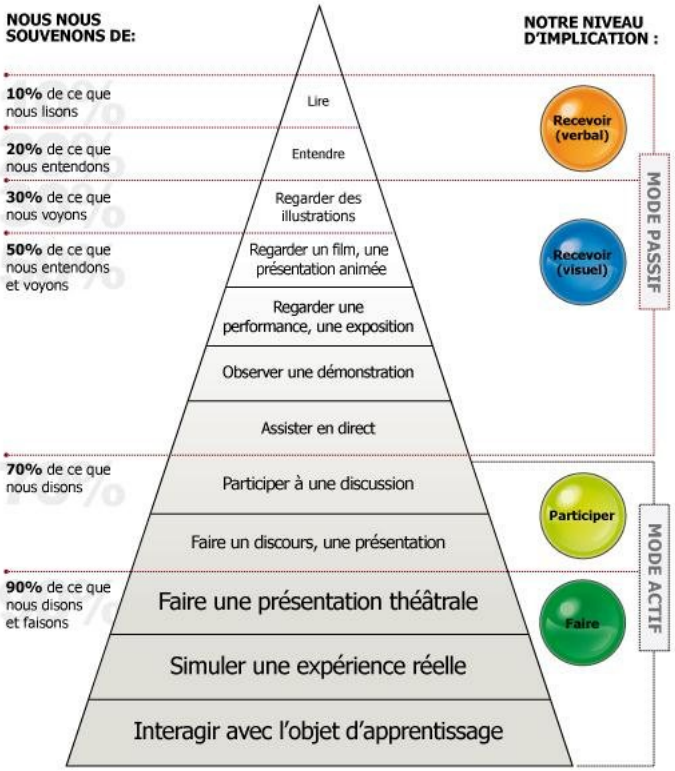


FIGURE 12.6 – La pyramide de l'apprentissage par Edgar Dale améliorée par (J. ROCHELEAU 2012)

Le cône de l'apprentissage ou *cone of learning* a été développé vers 1940 par Edgar (DALE 1969) un professeur et chercheur américain spécialisé en éducation. Ce cône, également appelé «triangle de l'apprentissage» a pour objectif de hiérarchiser plusieurs méthodes d'apprentissage. On observe deux types de mode d'apprentissage : Le mode passif qui comprend l'obtention d'informations par le verbal et le visuel, et le mode actif qui engage la participation physique d'une personne. Concernant ce schéma, (J. ROCHELEAU 2012) précise :

> *«Plus nombreux sont les sens impliqués dans le traitement de l'information, plus le cerveau est sollicité et plus il y a de traces d'apprentissage, donc un meilleur réseau neuronal qui s'inscrit dans le cerveau. Plus le réseau neuronal est solide, plus l'étudiant a des chances de recouvrer l'information. En ce sens, le mode actif est à privilégier, car l'étudiant qui manipule l'information se l'approprie davantage. Puisque le meilleur apprentissage survient alors que les étudiants interagissent et discutent d'un objet d'apprentissage.»*

Dans le cadre du Lab in Virtuo consacré à la médiation, nous nous situons à la fois dans le mode passif et dans le mode actif. En effet, l'utilisateur peut «recevoir» c'est-à-dire découvrir l'environnement, écouter des informations et «observer» une démonstration» (ou des documents ndrl). Au-delà de ces actions passives, l'utilisateur peut également «participer à une discussion» avec l'agent virtuel, «simuler une expérience réelle» et «interagir avec l'objet d'apprentissage».

12.4.2 Les différents types de scénarios et leur mode de construction

Selon (FOREST et SGARD 2008), avant la construction de scénarios, il faut pouvoir répondre à ces quatre questions :

1. **Comment va se dérouler l'activité ?**
   Il s'agit ici de réfléchir à ce qui va se passer dans l'activité mais également à sa durée.
2. **Quels contenus vont être mis en valeur dans le scénario ?**
   Pour la conception d'un scénario il faut avant tout déterminer pour quels types de public ce scénario est dédié, quelle est la thématique et quels sont les objets qui vont être présentés.
3. **Quels sont les moyens mis en oeuvre ?**
   Il est nécessaire d'établir quelles sont les actions qui vont être impliquées dans le scénario, comme par exemple quels sont les objets que l'on peut mettre en évidence, quels sont les documents que l'on peut afficher, ou quelles actions l'utilisateur peut effectuer.
4. **Quels sont les résultats que l'on souhaite obtenir ?**
   Il s'agit ici d'évaluer quelles sont les connaissances que les utilisateurs vont pouvoir acquérir à la fin de l'activité de médiation.

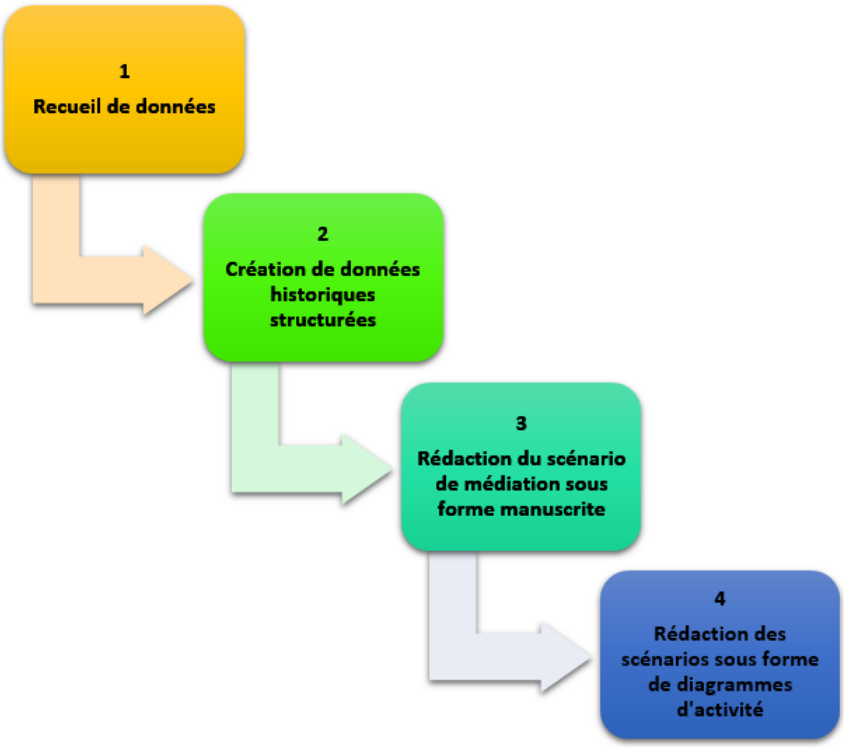


FIGURE 12.7 – Le processus de construction des scénarios de médiation

Dans le cadre de ces recherches, la construction de ces scénarios a nécessité quatre étapes distinctes (Voir figure 12.7) :

1. Le recueil de données qui permet de réunir des informations sur le domaine étudié au moyen d'archives, de documents vidéos ou d'entretiens.
2. La création de données structurées rendue possible grâce au recueil de données et au méta-modèle ANY-ARTEFACT (Voir chapitre 5).
3. La rédaction du scénario de médiation sous forme manuscrite qui regroupe les rôles des participants, les différentes actions, les textes, les documents à afficher et les éléments de l'environnement 3D à mettre en évidence (Voir Annexes).

4. La rédaction des scénarios sous forme de diagrammes d'activité en langage UML. Ces diagrammes sont ensuite exportés dans l'EVI et interprétés en temps réel par MASCARET pour contrôler les actions des agents et de l'environnement.

L'étape 3 qui concerne la rédaction des scénarios sous forme manuscrite (Voir Annexes) est optionnelle, il est en effet possible de passer directement à l'étape 4 sous format UML.

Les trois scénarios proposés dans le cadre de ces travaux ont pour objectifs de synthétiser les résultats des recherches en HST (chapitres 6, 7 et 8) et de participer aux activités présentées dans le chapitre 10.

Nous proposons deux types de scénarios : un scénario pour l'acquisition de procédures (le scénario activité) et un scénario pour l'acquisition de connaissances (le scénario scolaire et le scénario comparaison Brest-Venise)

- **Le scénario «activité»** se concentre sur la notion principale de ce travail de recherche. Le but de ce scénario est de prendre exemple sur une procédure récurrente des forges (la fabrication d'une grosse pièce métallique) afin de transmettre aux utilisateurs des informations sur le processus de fabrication, sur les différents rôles impliqués mais également sur les outils utilisés. Ce type de scénario peut également être appliqué pour d'autres types de procédures comme le redressement d'une ancre, ou la fabrication d'une manille par exemple.
- **Le scénario «scolaire»** a pour objectif de reprendre la thématique de la forge en abordant les notions du domaine de façon abordable pour un jeune public dans un contexte de médiation en musée ou d'activité scolaire. La création de ce scénario a été inspirée par les activités associées à l'école qui ont été présentées précédemment.
- **Le scénario «comparaison Brest-Venise»** a pour objectif de reprendre l'analyse des arsenaux effectuée dans les chapitres 6 et 7. Ce scénario permet à l'utilisateur d'aborder les grandes lignes de l'histoire de ces arsenaux et de visualiser également les points communs ou au contraire les différences entre ces deux lieux.

Ces scénarios sont couplés avec MASCARET qui définit des actions exécutables dans l'EVI. Dans le cadre de cette thèse, nous avons identifié plusieurs rôles possibles au sein du Lab in Virtuo :

- **Le visiteur** est la personne qui va utiliser le Lab in Virtuo. Il peut naviguer dans l'environnement 3D et poser des questions à un agent autonome.
- **Le guide** peut effectuer un certain nombre d'actions au sein de l'environnement virtuel afin de transmettre des connaissances aux visiteurs comme précisé sur la figure 12.8. En effet, le guide peut interagir avec l'environnement et expliquer le système en mettant en évidence des objets ou en prenant un point de vue particulier. Le guide peut également mener le discours du scénario en expliquant des entités, des actions ou encore en affichant des documents. Ce rôle a la possibilité d'expliquer une procédure réalisée par un rôle métier. Ces actions peuvent être de différents types (TAOUM, QUERREC, SAUNIER et BLANDIN 2015) :
  1. Des actions sur l'environnement virtuel comme mettre en évidence ou mettre en transparence un objet
  2. Des actions sur les interactions de l'utilisateur comme changer de point de vue

3. Des actions sur la structure du système comme expliquer le système ou expliquer et présenter une entité
4. Des actions sur la dynamique du système comme expliquer une procédure, ou expliquer une action
5. Des actions sur le scénario de médiation comme afficher une ressource pédagogique [17]

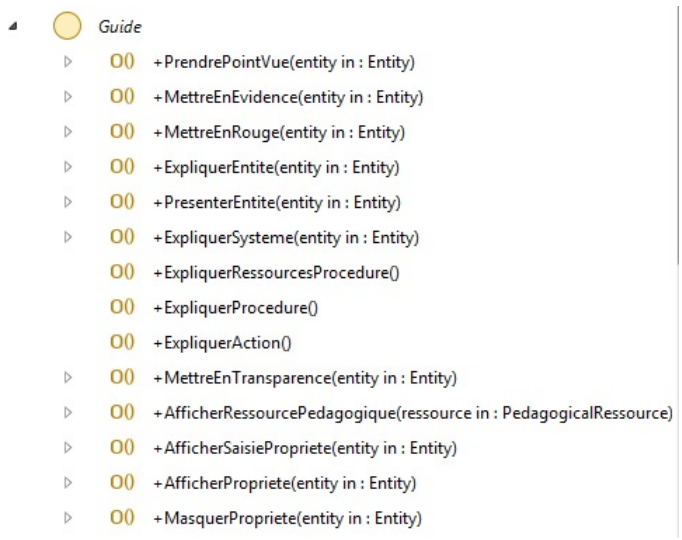


FIGURE 12.8 – Les actions du guide au sein de l'EVI

- **Les rôles métier**. Ces rôles sont définis en fonction des scénarios de médiation. Ils participent aux actions directement concernées par le métier. Dans le cas du Lab in Virtuo et du démonstrateur des forges, ces rôles métiers sont les forgerons, le chef d'équipe ou encore le conducteur de la grue. Les informations relatives au rôle métier sont issues de l'ontologie spécialisée «Forge-o» (Voir chapitre 11).

Ces différents rôles que nous venons de présenter peuvent être assurés par deux types d'agents :

- **Les agents autonomes** sont des agents virtuels qui peuvent jouer le rôle de guide et les rôles métier en suivant les informations présentes dans le scénario.
- **Les agents humains** assurent généralement le rôle du visiteur qui est le destinataire des explications. Celui-ci peut poser des questions et participer à une activité en jouant un rôle métier.

12.4.3 Le scénario «activité»

Le scénario de médiation consacré à une activité a pour sujet la fabrication d'une grosse pièce métallique dans la forge de Brest. Le but de ce scénario est d'expliquer à l'utilisateur quelles sont les différentes étapes de cette procédure, les outils employés ainsi que les métiers impliqués.

Dans ce scénario, dont la figure 12.9 est un extrait, quatre rôles métiers sont nécessaires, le chef d'équipe des forges, le conducteur de la grue, deux forgerons ainsi qu'un

17. Le terme «ressources pédagogiques» est le terme utilisé pour la formation. Dans le cadre du Lab in Virtuo il s'agit de données historiques.

guide et un visiteur. La création des différents rôles est la première étape de construction du diagramme d'activité. Les différentes actions du scénario sont ensuite réparties suivant l'implication des rôles dans la procédure.

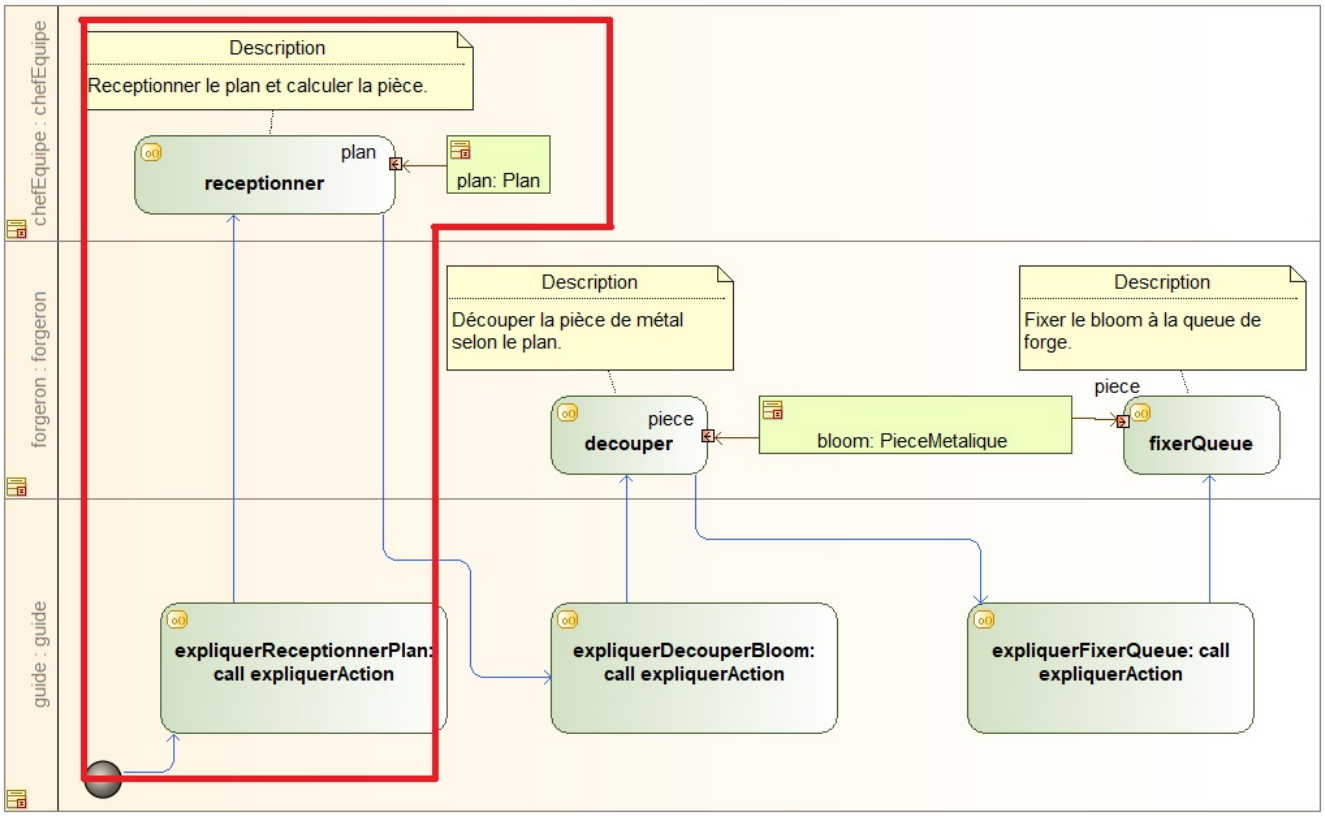


FIGURE 12.9 – Extrait du diagramme du scénario «activité»

La figure 12.9 correspond au début de ce scénario «activité». Ce diagramme est construit au moyen d'un modeleur UML.

Le guide est le rôle qui va permettre d'expliquer les actions des différents acteurs. Les trois forgerons ainsi que le chef d'équipe sont ceux qui vont exécuter les actions. Avant chaque action réalisée le guide va «expliquer l'action» pour que l'utilisateur comprenne le processus de construction de la pièce métallique. Les différentes actions nécessaires pour la fabrication des pièces impliquent un forgeron ainsi qu'un chef d'équipe. Chacun de ces acteurs réalise une procédure spécifique liée à son poste. Dans le cadre de ce scénario, aucun rôle de visiteur n'a été créé. En effet, celui-ci peut effectuer un rôle métier dans le cadre de ce scénario, soit celui de forgeron soit celui de chef d'équipe.

Ce scénario de médiation est composé de patterns ou patrons de conception qui sont des blocs d'actions qui se reproduisent régulièrement. Dans le scénario destiné à étudier l'activité nous pouvons distinguer un type de pattern entouré en rouge sur la figure 12.9. Ce pattern est construit sur le modèle suivant :

1. Le guide explique une action
2. Un rôle métier réalise l'action

La création de ce scénario spécifique, a été possible grâce à l'étude des deux vidéos représentant les forgerons au travail, ainsi que les entretiens menés avec M.Vourch et M.Roué.

12.4.4 Le scénario «scolaire»

Le scénario «scolaire» est une présentation générale de l'environnement des forges. Le but est ici d'expliquer l'utilité d'une forge et de présenter les outils qui s'y rattachent. Le développement de ce scénario ainsi que le vocabulaire est adapté à un jeune public [18].

Dans le cadre de ce scénario, deux rôles sont impliqués, celui du guide qui va se charger de présenter la forge et le visiteur. Le scénario consiste à donner des informations historiques sur le lieu et de présenter ensuite les principaux éléments de la forge comme le marteau-pilon ou la grue.

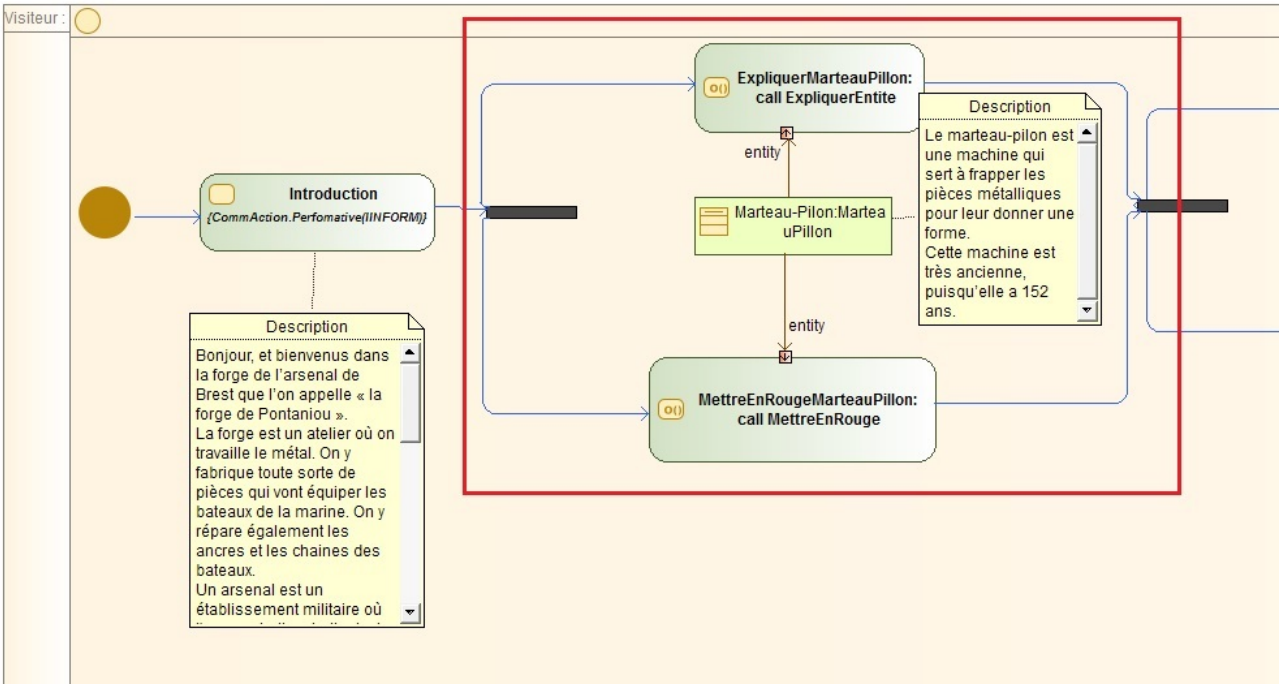


FIGURE 12.10 – Extrait du diagramme d'activité du scénario scolaire

Ce type de scénario est quelque peu différent du scénario «activité». En effet, dans ce cas présent, l'action est davantage mise sur la transmission d'informations au moyen du discours ou de documents et non sur les actions ou procédures à proprement parler.

Dans ce scénario dont la figure 12.10 est un extrait, le guide commence par une introduction afin de donner des éléments de compréhension sur le sujet comme le rôle d'une forge, sa localisation ou encore son nom. Le guide peut réaliser plusieurs actions en même temps. Par exemple, il peut expliquer une entité, le marteau-pilon dans ce cas précis, et le mettre en évidence dans l'environnement afin d'attirer l'attention du visiteur ou afficher une ressource comme une carte, et livrer des informations sur ce document.

Au même titre que le scénario «activité», ce scénario de médiation est composé de patterns qui se reproduisent régulièrement. En effet, nous pouvons distinguer un type de pattern entouré en rouge sur la figure 12.10. Ce pattern est construit sur le modèle suivant :

1. Le guide met en évidence un objet de l'environnement et donne sa description en même temps
2. OU : Le guide affiche une ressource pédagogique et donne sa description en même temps

18. Voir la partie de ce chapitre consacré à la collaboration avec une école.

Dans le cadre d'une activité de médiation destinée à un public d'enfants, l'approche ne doit pas être trop ludique mais le plaisir de l'enfant doit cependant central (LOISIRS 2012). Les enfants n'ont pas le même rapport à l'histoire que les adultes, ils ne vivent pas la même expérience dans une activité de médiation. En effet, selon (KAPLAN 2010) le jeune public dispose des mêmes qualités qu'un historien comme la curiosité, la capacité d'enquêter, ainsi que l'empathie. De ce fait, la construction d'un scénario de médiation destiné aux enfants doit prendre cela en considération.

> *«Il faut considérer le musée et l'école non comme des institutions indépendantes ou complémentaires, mais comme des partenaires réunis par une œuvre commune d'éducation qui favorise l'apprentissage du public visiteur et plus particulièrement du visiteur scolaire*[19] »

La création de ce scénario a nécessité l'utilisation du chapitre 7 consacré à l'étude des forges de Brest.

12.4.5 Le scénario «comparaison Brest-Venise»

Dans le cadre de cette thèse, une histoire comparée des arsenaux de Brest et de Venise est effectuée, un des scénarios est donc consacré à ces recherches (Voir chapitre 6). L'intérêt de ce scénario est de présenter la forge de Brest en établissant une comparaison avec les forges de Venise afin de mettre en lumière les points communs ou au contraire les disparités en termes d'objets techniques ou de procédures.

Le scénario «comparaison Brest-Venise» se présente comme une conversation entre deux forgerons, l'un de Brest, Robert[20], et l'autre de Venise, Alessandro[21] qui ont tous les deux le rôle de guide.

Robert débute le scénario (Voir figure 12.11) en procédant à une rapide introduction. Il commence par expliquer ce que sont les arsenaux et informe également l'utilisateur qu'il se trouve au sein de la forge de l'arsenal de Brest. Il invite alors son collègue vénitien à donner des informations sur Venise. Alessandro affiche alors la localisation de l'arsenal de Venise et délivre des informations historiques sur le sujet. Le scénario se déroule sur le modèle d'une discussion entre les deux forgerons qui se posent mutuellement des questions et qui comparent les types d'outils utilisés dans leurs forges respectives.

19. D'après *Le musée, un lieu éducatif*, réalisé sous la direction de Michel Allard et Bernard Lefebvre, Musée d'art contemporain, Montréal, 1997, p. 137 cité dans (FOREST et SGARD 2008).

20. Robert est le prénom de M.Vourch forgeron de Brest qui a participé au projet de conception du Lab in Virtuo.

21. Alessandro est le prénom de M.Ervas, forgeron de la région de Venise qui s'investit dans la valorisation des forges de l'arsenal.

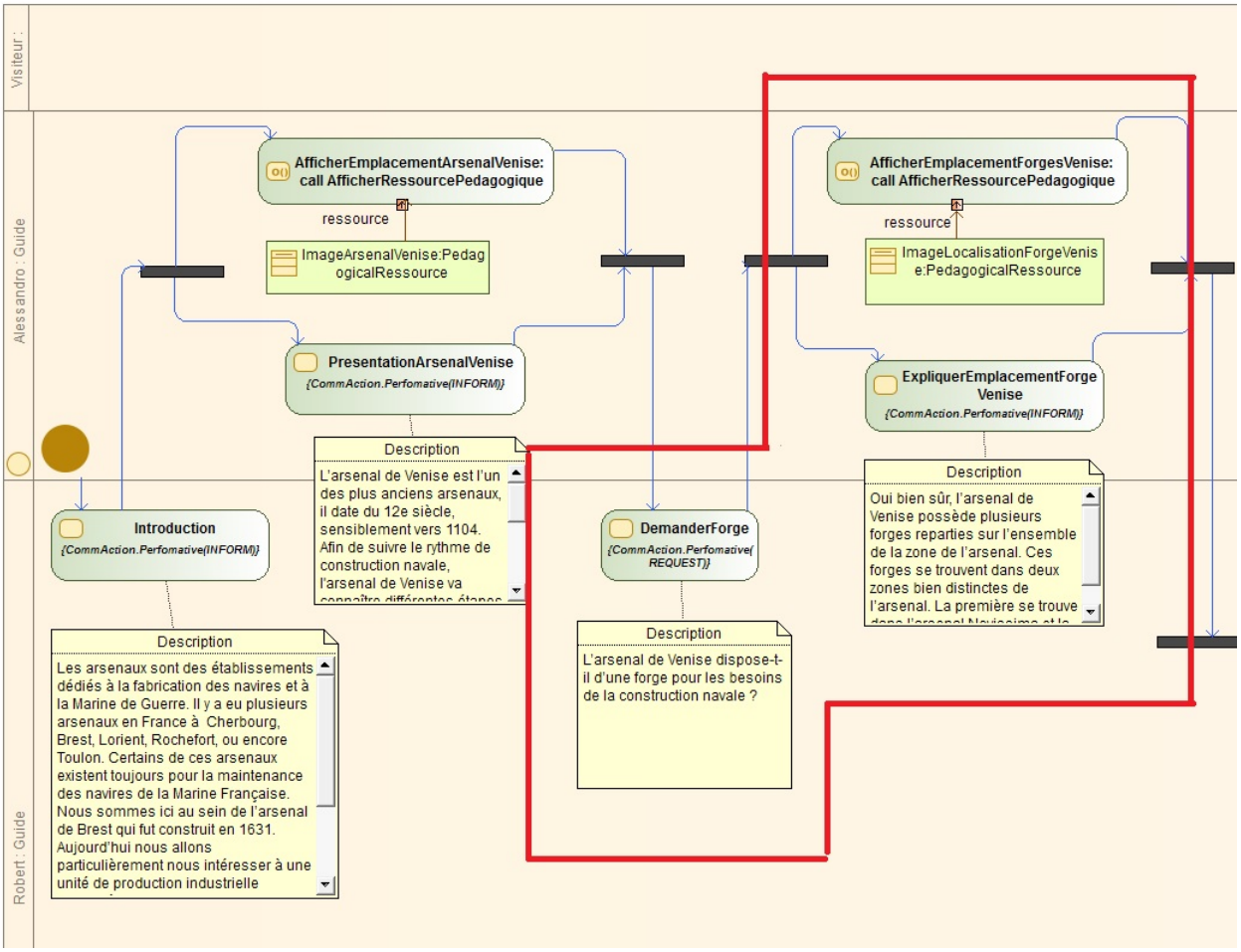


FIGURE 12.11 – Extrait du diagramme d'activité du scénario «comparaison Brest-Venise»

Au même titre que le scénario scolaire, ce scénario de médiation est composé de patterns qui se reproduisent régulièrement. En effet, nous pouvons distinguer un type de pattern entouré en rouge sur la figure 12.11. Ce pattern est construit sur le modèle suivant :

1. Un des guides pose une question à l'autre guide
2. Le guide répond en mettant en évidence un objet de l'environnement (ou en affichant une ressource) et en donnant sa description en même temps

Dans le cadre de ces trois types de scénarios, le visiteur peut, dans certains cas, jouer un rôle métier et réaliser des procédures et peut également interrompre les agents afin de leur poser des questions. Les réponses des agents autonomes sont possibles grâce, entre autres, aux données présentes dans l'ontologie «Forge-o» (Voir chapitre 11).

Ce scénario consacré à l'étude des forges de Brest et Venise a été créé grâce à l'étude des deux unités de production industrielle du chapitre 7, et à l'étude comparée entre les deux arsenaux du chapitre 8.

A travers l'utilisation de scénarios dans le cadre d'activités de médiation, nous assistons à une nouvelle forme de médiation : la médiation «participative» (CAILLET 2007) (POLI 2012) où l'utilisateur est actif et donc davantage impliqué dans l'activité de médiation. IL s'agit ici d'une démarche que l'on appelle *«vue d'en bas»* c'est-à-dire du point

de vue des personnes situées au bout de la chaîne de transmission des savoirs (CORDIER, DESSAJAN et EIDELMAN 2009). Les utilisateurs de ces scénarios pour l'acquisition de procédures et de connaissances, sont à la fois passifs et actifs et développent à travers cette activité plusieurs types d'apprentissages : auditifs, visuels, cognitifs, sensitifs et émotifs.

Les travaux en HST (Voir chapitres 5, 6 , 7 et 8) et en HN (Voir chapitres 10 et 11) ainsi que les différents usages présentés dans le chapitre 12 ont pour objectif de démontrer l'application du Lab in Virtuo pour la médiation culturelle. Nous allons maintenant proposer des pistes de réflexion pour l'usage du Lab in Virtuo dans le cadre d'une exposition dans un musée.

12.5 Proposition d'intégration dans un musée

Dans ce chapitre consacré aux usages du Lab in Virtuo pour la médiation culturelle nous proposons une utilisation du Lab in Virtuo dans le cadre d'une exposition temporaire dans un musée. L'intérêt est ici d'envisager les utilisations possibles de ce type d'outil dans ce cadre et d'évaluer l'apport du Lab in Virtuo pour la médiation culturelle.

Dans un premier temps nous allons nous intéresser aux institutions consacrées au domaine des sciences et des techniques afin d'évaluer quel musée serait indiqué pour cette exposition. Nous proposerons ensuite un concept d'exposition consacré au domaine de la forge qui sera basé sur l'usage de cet outil afin d'évaluer son apport dans un contexte de médiation dans un musée.

Les musées consacrés aux domaines des sciences et des techniques

Étant axé sur l'HST, le Lab in Virtuo appliqué au cas des forges de Brest a pour objectif de transmettre des connaissances sur les domaines du savoir-faire industriel, des systèmes techniques ainsi que de l'activité humaine associée. Ce type d'outil se doit alors d'être proposé dans des lieux culturels exploitant un ou plusieurs de ces domaines afin d'être «intégré» à leur offre habituelle. Il existe un certain nombre de musées consacrés aux sciences et techniques en France. Ceux-ci ont été référencés par le RéMuT [22]. Ces musées sont classés en douze domaines spécifiques comme «Énergie», «Communication», «Instruments scientifiques» ou encore «Histoire des techniques». Parmi les lieux culturels nous pouvons citer les suivants :

- **La Cité des sciences et de l'industrie à Paris** [23] **:** Il s'agit d'un CCSTI (*Centre de Culture Scientifique, Technique et Industrielle*) composé de plusieurs espaces qui proposent des expositions permanentes et temporaires ainsi que des colloques et des conférences sur le domaine. Parmi les expositions permanentes nous pouvons citer entre autres, «Des Transports et Des hommes» ou encore «Énergies».
- **Le Musée des Arts et Métiers de Paris** [24] **:** Le Musée des Arts et métiers est le plus ancien musée industriel et technique de France. Celui-ci est lié au Conservatoire National des Arts et Métiers qui assure des missions de formation supérieure de recherche et de diffusion de l'information et de la culture scientifique et technique. Le musée possède une collection d'objets techniques organisée par thématiques comme «Construction», «Communication» ou encore «Transports».

22. (Réseau National des Musées et collections techniques) https://remut.fr/
23. http://www.cite-sciences.fr/fr/accueil/
24. https://www.arts-et-metiers.net/

- **Le Musée des confluences à Lyon**[25] **:** Ce musée est à la fois un musée d'anthropologie, d'Hiistoire Naturelle, mais également un musée des sociétés et des civilisations. Véritablement focalisé sur «le récit de l'humanité» le parcours permanent du musée se situe autour de quatre thématiques : «Origines, les récits du monde», «Espèces, la maille du vivant», «Sociétés, le théâtre des Hommes» et «Éternités, visions de l'au-delà». L'exposition «Sociétés, le théâtre des Hommes» est centrée sur la technique et sur la notion d'activité humaine.

Mais le domaine de l'HST est également présent dans l'offre culturelle de musées internationaux comme les suivants :

- **L'ingénium au Canada**[26] **:** Considéré comme un «espace de collaboration» l'ingénium regroupe trois musées : le Musée de l'agriculture et de l'alimentation, le Musée de l'aviation et de l'espace et le Musée des sciences et de la technologie. Destinés à valoriser l'ingéniosité humaine et à saluer l'histoire des sciences et l'innovation à travers les époques, ces espaces proposent un grand nombre d'objets techniques et des expositions interactives.
- **Le «Science and Industry Museum» de Manchester**[27] **:** L'objectif de ce musée est d'«Inspirer nos visiteurs par des idées qui changent le monde, de la révolution industrielle à aujourd'hui et au-delà». Le musée, intégré au site qui a été le terminus d'origine du premier chemin de fer interurbain au monde en 1830, propose une collection permanente retraçant l'évolution des techniques depuis la révolution industrielle jusqu'aux nouvelles technologies.

L'offre culturelle autour des forges

Le domaine de la métallurgie et particulièrement des mines et des forges suscite beaucoup d'intérêts car il s'agit d'un savoir-faire ancien qui a su se réinventer au fil des époques. Présent depuis l'Antiquité, le domaine de la forge fait souvent l'objet de reconstitutions médiévales où il est possible d'admirer l'artisan en plein travail du métal. La notion de savoir-faire et de gestuelle technique est indissociable de l'outil c'est pourquoi ce genre de manifestations attire les curieux. Des reconstitutions «in situ» dans des lieux historiques ont davantage d'intérêt car elles plongent les visiteurs au sein d'un environnement et d'une époque révolue. Les forges de l'arsenal de Venise dont il est question dans le Chapitre 6, ont d'ailleurs ré-ouvert leurs portes pour développer des démonstrations à caractère pédagogique et ainsi transmettre un savoir-faire propre à l'arsenal aujourd'hui disparu.De nombreuses institutions culturelles se sont spécialisées dans le domaine :

- **Le Pavillon de l'industrie au Creusot**[28] **:** Berceau historique de l'industrie Schneider et Cie, le pavillon de l'industrie propose de revenir sur la genèse de cette grande entreprise industrielle en faisant le lien avec les nouveaux grands groupes installés actuellement. Le musée met en avant des objets patrimoniaux témoins du savoir-faire industriel en mettant en avant la notion d'activité humaine.

  Le pavillon de l'industrie se trouve être particulièrement proche des problématiques de nos travaux. En effet, cette institution à pour vocation de conserver et de valoriser le savoir-faire de l'entreprise Schneider et Cie née au 18e siècle et véritable symbole de la puissance industrielle de la France. Le pavillon de l'industrie propose

25. http://www.museedesconfluences.fr/
26. https://ingeniumcanada.org/
27. https://www.scienceandindustrymuseum.org.uk/
28. https://www.pavillon-industrie.fr/

aux visiteurs de se plonger dans l'industrie métallurgique à travers une exposition constituée de plan reliefs, d'objets patrimoniaux, de films ou encore de maquettes. Comme le stipule le slogan du musée *«Comprendre hier, imaginer demain»*, le but est de faire le lien entre le savoir-faire ancien et celui d'aujourd'hui.
Le site internet propose une visite interactive nommée *«L'industrie sur grand écran*[29]*»*. Cette vidéo, également proposée dans le musée, permet de visualiser l'évolution du savoir-faire en matière de forgeage. La vidéo débute avec une modélisation 3D du célèbre marteau-pilon de 100 tonnes construit en 1877, symbole de la ville du Creusot[30]. Cette modélisation illustre le marteau-pilon en plein forgeage d'une pièce métallique dans une forge reconstituée où l'on peut apercevoir des ouvriers. La vidéo présente ensuite l'évolution actuelle de cette technique avec le laminage moderne dans l'entreprise Arcelor Mittal[31]. Cette vidéo expose l'évolution des techniques, depuis un marteau-pilon à vapeur jusqu'à des chaînes de production modernes. L'ouvrier est très présent dans cette vidéo afin de valoriser un savoir-faire qui évolue à travers les époques.

FIGURE 12.12 – Extrait de la modélisation 3D du Marteau-Pilon de 100T du Creusot[32]

La modélisation 3D du marteau-pilon de 100T (Figure 12.12) permet de visualiser la machine-outil qui possède des dimensions particulièrement impressionnantes. Le bruit du marteau permet aux spectateurs de se représenter plus précisément l'environnement des forges quand cette machine était encore utilisée. Les travaux de modélisation du marteau-pilon du Creusot possèdent des analogies avec les travaux effectués sur les forges de Brest. En effet, il s'agit de productions destinées à conserver et à valoriser ce patrimoine industriel. Toutefois, contrairement au Lab in Virtuo, le concept d'activité est moins présent et l'attention est particulièrement focalisée sur l'outil. En effet, dans la modélisation du Creusot, on aperçoit des ouvriers mais ceux-ci sont statiques, on ne les voit pas effectuer des actions au sein de l'environnement. Le Lab in Virtuo est donc plus interactif.

29. https://www.pavillon-industrie.fr/industrie-grand-ecran
30. Le marteau-pilon de 100T est actuellement visible sur un rond-point de la ville.
31. Arcelor Mittal est une entreprise sidérurgique présente actuellement au Creusot.
32. https://www.pavillon-industrie.fr/industrie-grand-ecran

- **Le centre historique minier de Lewarde**[33] **:** Le lieu, situé dans le Nord Pas de Calais est une ancienne houillère destinée à l'extraction du charbon. La mine est reconvertie en musée en 1984 afin de valoriser les lieux mais également le savoir-faire associé au domaine.
- **Le Museum of Science and Industry de Chicago avec l'exposition «Coal Mine**[34]**» :** Considéré comme l'un des plus grands musées des sciences au monde, le Museum of Science and Industry de Chicago a ouvert ses portes en 1933. La même année le musée proposait sa toute première exposition , «Coal Mine» qui présentait les méthodes et la machinerie minières au fil des ans. Le musée a totalement recréé une mine afin d'immerger au maximum les visiteurs.
- **Le Wortley Top Forge Industrial Museum à Thurgoland en Angleterre**[35] **:** L'institution se trouve sur le site d'une forge datant de 1640 et qui a fermé ses portes en 1929. Le bâtiment d'origine est restauré en 1900 et propose aux visiteurs une exposition de machines d'origine exposées «in situ».

Comme nous venons de le voir, le domaine de la forge n'est pas complètement inconnu du secteur culturel. Qu'il s'agisse de valorisation d'ateliers, de reconstitutions ou de modélisations 3D, l'intérêt demeure le même, celui de transmettre des connaissances sur le domaine industriel mais également sur l'activité humaine.

12.5.1 Le Lab in Virtuo dans le cadre d'une exposition au Musée des Arts et Métiers

Pour les besoins de cette exposition temporaire employant le Lab in Virtuo, nous avons retenu le choix du Musée des Arts et Métiers. Ce musée est une institution ancienne dotée d'une importante collection et qui, depuis de nombreuses années, développe des expositions temporaires innovantes et parfaitement complémentaires avec l'offre permanente. Ce musée a également emprunté un virage numérique en valorisant l'usage des nouvelles technologies à des fins de médiation sans se détourner pour autant de la dimension institutionnelle du musée. En effet, le Musée des Arts et Métiers a proposé ces dernières années de nouveaux outils de médiation afin de diversifier son offre. C'est le cas par exemple avec l'application mobile Culturo Game[36]. Cette application propose de tester les connaissances des visiteurs lors de leur visite à travers des quizz ludiques. Le musée s'est également lancé dans la production d'expositions virtuelles à travers la plateforme Google Arts and Culture. Ces expositions en ligne proposent aux visiteurs de découvrir les objets du Musée des Arts et Métiers de façon différente. Lors de ses expositions temporaires, le Musée des Arts et Métiers a proposé à plusieurs reprises des programmes centrés sur les nouvelles technologies. Ce fut le cas avec les expositions *«PACNAM : une fantaisie sur les jeux vidéo»*[37], *«Imagerie biomédicale : la vie en transparence»*[38], *«Et l'homme... créa le robot»*[39]

33. https://www.chm-lewarde.com/fr/
34. https://www.msichicago.org/explore/whats-here/exhibits/coal-mine/
35. http://www.topforge.co.uk/
36. CulturoGame est une application développée par la start-up Clicmuse qui a remporté le prix de l'excellence numérique en 2017.
37. Exposition consacrée à la création et aux différents usages du Jeu Vidéo (Du 10 juin au 21 septembre 2008).
38. Exposition en partenariat avec le CNRS qui se proposait de présenter les multiples techniques et applications de l'imagerie biomédicale (Du 2 mai 2012 au dimanche 6 janvier 2013).
39. Exposition consacrée à la technologie et aux différents usages de la robotique (Du 30 octobre 2012 au 3 mars 2013.

Mais la culture du numérique est également présente dans les collections permanentes du musée qui possède de nombreux objets témoins des avancées technologiques de ces dernières années. La galerie consacrée au domaine «Communication» propose aux visiteurs des objets exceptionnels, depuis le prototype de l'appareil cinématographique dit «Cinématographe» de Louis et Auguste Lumière au modèle du Satellite de télécommunications «Telstar 1».

Au-delà de la dimension technologique, le domaine industriel et particulièrement de la forge, est également présent au musée comme en témoignent ces objets des collections :

- Marteau et Martinet XVIIIe siècle, modèle au 1/5e réalisé par Eugène Bourdon début XIXe siècle, inv n°2853,
- Haut fourneau avec récupération des gaz, système Thomas et Laurens vers 1840, Modèle au 1/10 réalisé par Eugène Philippe, inv n°3082.
- Marteau Pilon à vapeur du Creusot, 1846, modèle 1/5 réalisé par Alexandre Clair, inv n°3120,
- Maquette de Train de laminoir 1840, inv n°4050,
- Atelier Bessemer vers 1860, modèle 1/25, inv n°13489,
- Aciérie Martin de la compagnie des forges et aciéries de Saint-Etienne 1912, inv n°14482-0000,
- Haut fourneau de la société de Trignac vers 1880 modèle au 1/20 réalisé par Digeon inv n°12639,
- Four à bassin et à récupérateur Siemens, vers 1870, modèle 1/10 réalisé par Digeon, inv n°8848,
- Marteau Pilon à vapeur de Nasmyth, maquette de 1848 ; Inv. n°03514-0000,
- Tableau : *«Coulée d'acier d'un four Martin»*, 1918 ,Pierre Bracquemond, peintre France, Pierre Martin (1824-1915), ingénieur et industriel français ; Inv n°TG406-0000.

Le Musée des Arts et Métiers est une véritable institution dans le domaine des sciences et des techniques doté d'une impressionnante collection répartie entre l'exposition permanente du musée et les réserves. A travers les différentes thématiques du musée, le domaine industriel est largement exploité tout comme les technologies du numérique, à la fois dans l'offre permanente et temporaire. Le Lab in Virtuo a donc toute sa place au sein du musée afin de proposer une expérience de médiation particulièrement innovante aux visiteurs.

La vocation de l'exposition

L'intérêt des expositions temporaires pour les musées est multiple. Avant tout, il permet de renouveler l'offre et de toucher des publics plus larges comme le précise (JACOBI 2013) : *«Les expositions temporaires apparaissent comme le moyen de régénérer et stimuler l'offre tout en conférant aux musées un atout décisif : ils entrent dans l'actualité culturelle en offrant, comme d'autres secteurs de la culture (musique, spectacle vivant, cinéma, littérature contemporaine), des nouveautés»*. Ce genre d'évènements a également pour vocation de valoriser des objets des collections permanentes. Quand il s'agit de mettre au

39. Le musée possède aujourd'hui une collection de près de 80 000 objets et 15 000 dessins (https://www.arts-et-metiers.net/musee/histoire-du-musee)

point une exposition il est essentiel de se poser les bonnes questions : «quelle est la finalité de l'exposition ?» (DAVALLON 1999) évoque des notions essentielles comme l'intention de l'exposition ou encore son aspect constructif :

> *«En tant qu'artefact, l'exposition répond à une intention, cela peut signifier que je me demande ce qu'elle peut viser du fait qu'elle est une exposition et non une oeuvre , un texte sémiotique ou un simple instrument. Autrement dit, c'est poser la question de ce qui est constructif de l'exposition en tant que production culturelle spécifique».*

Dans le cadre d'une exposition intégrant l'outil Lab in Virtuo appliqué au cas des forges, nous nous posons alors ces trois questions :

1. **Pour quoi ? Quels sont les domaines qui vont être abordés lors de cette exposition. Que souhaite t-on transmettre ?**

   L'exposition se propose d'étudier une unité de production industrielle représentative de l'évolution des techniques, les forges. Cette exposition se focaliserait sur la notion d'activité humaine en faisant le lien entre les acteurs (les ouvriers, les concepteurs), les artefacts (les objets techniques), et les savoirs (le savoir-faire, la gestuelle technique). Le but serait ici d'offrir une nouvelle expérience de médiation pour les visiteurs, qui pourront, à travers l'usage du Lab in Virtuo, assimiler plus précisément les concepts présentés par l'exposition.

2. **Pour qui ? Quels sont les publics visés ?**

   Cette exposition serait destinée à un public très large souhaitant vivre une expérience de médiation particulière et acquérir des connaissances sur un domaine industriel finalement peu connu, les forges. Le public doit pouvoir appréhender l'exposition sans avoir de connaissances particulières sur le domaine, c'est pourquoi cette exposition se doit d'être ludique. Afin de s'adresser également à un public de scolaires, l'exposition doit être en accord avec les programmes en vigueur. Le contenu de l'exposition fournirait aux élèves des connaissances à la fois scientifiques et techniques (intérêt de la métallurgie, fonctionnement des objets techniques) et sociales (conditions de travail, formations des ouvriers).

3. **Comment ? Quels contenus et pourquoi ?**

   L'exposition que nous proposons placerait l'outil Lab in Virtuo au centre de la réflexion afin d'offrir une médiation sensorielle engageant corporellement le visiteur. Les scénarios de médiation présentés précédemment seraient intégrés à l'exposition. Chaque poste de Lab in Virtuo peut proposer un scénario différent selon les intérêts des visiteurs. Le contenu «matériel» (objets, ouvrages, films etc.) de l'exposition permettrait ainsi de compléter les informations recueillies «in virtuo». Le visiteur pourrait alors acquérir des connaissances par le biais de différents supports qui seraient parfaitement complémentaires.

Le but de cette exposition temporaire serait également de rendre hommage à la vocation première de l'institution : transmettre des connaissances sur les objets techniques et sur l'activité associée. Le conservatoire des Arts et Métiers ouvert en 1794, et le musée en 1802, avaient, lors de leur création, pour objectif de présenter aux techniciens, puis aux visiteurs, les objets techniques à travers des démonstrations effectuées par des «démons-

trateurs[40]» :

> *«Nous nous proposerons d'ouvrir un cours complet des arts mécaniques dans lequel on démontera les machines, les matières employées, et les opérations relatives à chacun de ces arts. Nous réunirons, pour ainsi dire, dans le même lieu, tous les ateliers et toutes les manufactures ; et les leçons offriront successivement le spectacle de leurs différentes manoeuvres*[41]» (MERCIER 2018).

L'exposition intégrant le Lab in Virtuo se proposerait alors de renouer avec la vocation première du conservatoire et du Musée des Arts et Métiers : tester les machines afin de comprendre leur fonctionnement. Avec le Lab in Virtuo, l'utilisateur n'est pas passif, il peut effectuer des actions et ainsi comprendre le fonctionnement technique des machines et par extension le quotidien des ouvriers.

L'exposition que nous souhaitons proposer dans le cadre de ce chapitre consisterait à intégrer le Lab in Virtuo au coeur de l'exposition dans le but de proposer une expérience immersive aux visiteurs et d'aborder le domaine de la forge et de l'activité humaine.

La scénographie et les dispositifs utilisés

L'espace de l'exposition serait organisé autour de cinq zones (Figure 12.13) :

- Un espace d'introduction : L'entrée serait dotée d'un espace d'introduction qui permettrait de donner des informations sur la thématique de l'exposition mais également sur l'expérience innovante que les visiteurs vont pouvoir vivre à travers le Lab in Virtuo. Cette zone aurait pour objectif d'informer le visiteur au préalable sur le concept de l'exposition ainsi que sur la thématique et les concepts abordés.
- L'espace Lab in Virtuo : Il s'agirait ici du coeur de l'exposition. Trois postes seraient installés au centre de la pièce. Deux personnes pourraient utiliser le même poste en même temps et interagir ensemble avec un avatar dans l'environnement 3D. Chaque poste peut proposer un scénario de médiation différent.
- Un petit CAVE permettant, au même titre que le Lab in Virtuo de découvrir la modélisation des forges. Ce dispositif pourrait être utilisé en complément, notamment pour le jeune public qui ne peut utiliser les casques de RV avant treize ans.
- L'espace d'exposition (Vitrines) : Celui-ci proposerait de reprendre les concepts «artefacts», «acteurs», «savoirs» et «activités» à travers des objets techniques, des archives ou encore des photographies. Il pourrait également être proposé aux visiteurs de s'équiper de casques de réalité augmentée (RA) durant la visite de l'espace d'exposition afin de faire le lien entre les «objets physiques» et le Lab in Virtuo. Le casque pourrait ainsi donner des informations sur les objets visualisés et faire le lien avec le Lab in Virtuo. La base de connaissances des objets «physiques» et «numériques» serait donc la même.
- Un espace de visionnage : Au fond de la pièce se trouverait un espace de visionnage proposant des films d'archives ainsi que des reportages.
- Un espace de médiation jeune public : Cet espace serait dédié au jeune public ainsi qu'aux scolaires qui fréquentent très régulièrement le Musée des Arts et Métiers. Cet espace serait doté de tables interactives permettant aux enfants de découvrir des activités pédagogiques sur les concepts de l'exposition mais également de se

40. Aujourd'hui encore, les médiateurs qui effectuent les visites au Musée des Arts et Métiers sont appelés «démonstrateurs».

41. «BACHELIER J.-J, *«Projet d'un cours public des arts et métiers»*, Imprimerie Royale, Paris, 1789.

familiariser avec de nouveaux dispositifs technologiques. Il serait alors possible de visualiser des animations sur les différents composants du marteau-pilon, ou encore de découvrir des scans 3D des outils de forges (voir figure 7.23).

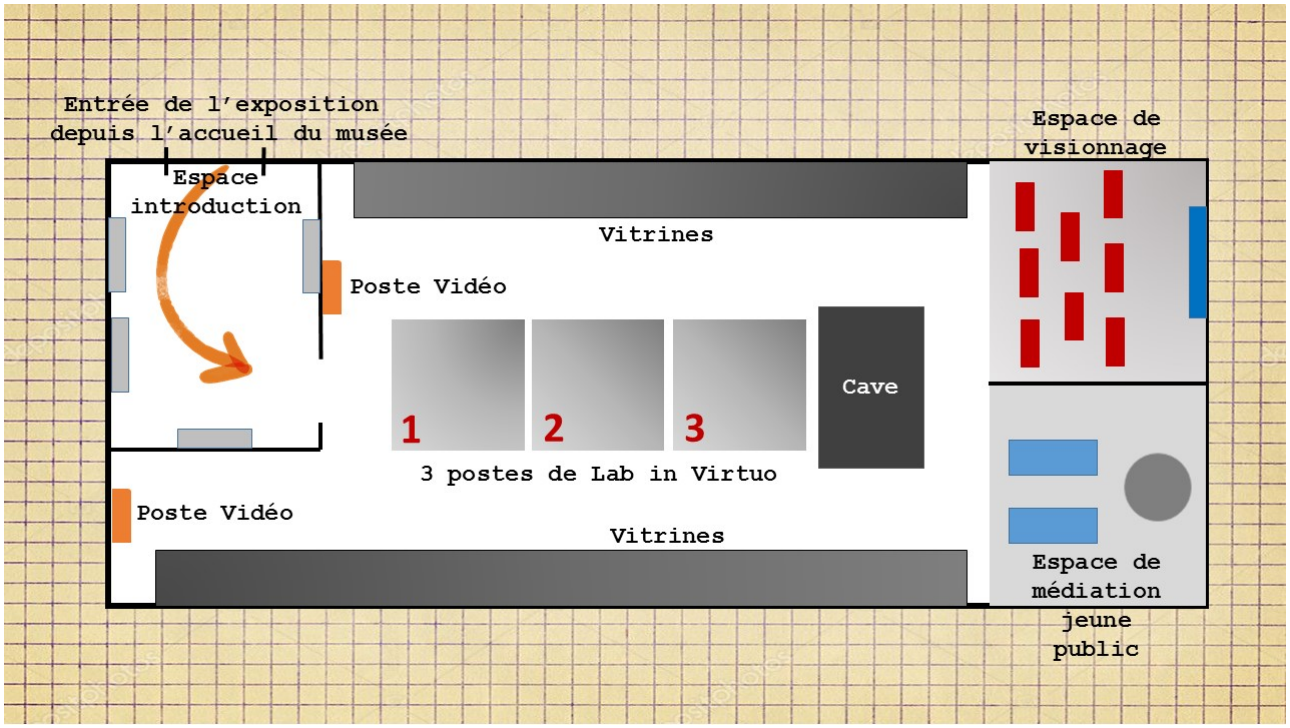


FIGURE 12.13 – Organisation de l'exposition

La scénographie d'une exposition est extrêmement importante car elle organise l'espace, met en valeur les objets et illustre le point de vue des auteurs sur le sujet abordé. Selon (DAVALLON 2011) reprit par (RASSE 2017), il existe différentes formes de scénographies.

- La muséologie d'objet : Ce type de scénographie se concentre exclusivement sur les objets exposés pour leurs caractéristiques propres.
- La muséologie du savoir : Cette scénographie organise les objets selon un contenu didactique, selon un discours et un parcours précis. Les supports didactiques sont nombreux et l'exposition possède un début et une fin.
- La muséologie de point de vue : La scénographie est organisée dans un espace ouvert sous forme d'«îlots» ou d'«expos». Il n'y a pas d'organisation précise ou de parcours à suivre, le visiteur se déplace selon ses propres intérêts.

Dans le cadre de cette exposition, le Lab in Virto se veut central, il serait le coeur de cette exposition. Les visiteurs pourront acquérir des connaissances dans l'environnement virtuel et manipuler des objets techniques. Le reste de l'exposition donnerait un complément aux connaissances que les visiteurs ont pu acquérir dans le Lab in Virtuo. Même si le Lab in Virtuo est important, il n'est pour autant pas question de forcer le visiteur à commencer par cela. Au contraire, il pourrait choisir son parcours de visite comme il l'entend, il s'agirait alors, d'une scénographie de point de vue. La description suivante convient parfaitement :

> *«Le visiteur embrasse l'ensemble du regard, puis déambule d'une expo à l'autre, curieux, attiré par tel ou tel aspect de la scénographie, par tel ou tel objet mis en scène. Il se rapproche ou s'en éloigne, glisse vers le suivant, en zappe certains, s'arrête longuement sur d'autres, se penche, cherche un cartel, le lit, retourne à l'objet, repart ; il est actif, physiquement impliqué dans l'espace qu'il parcourt au gré de ses envies, de sa curiosité et de ses intuitions, de sa fatigue ou de son enthousiasme, du temps dont il dispose (*RASSE *2017*).»*

Le contenu de l'exposition

Les méthodologies de conception en HST pour l'étude de l'activité ont nécessité l'usage du méta-modèle ANY-ARTEFACT (Voir chapitre 5) qui propose d'étudier l'activité en se basant sur les concepts d'acteurs, d'artefacts et de savoirs. L'exposition globale étant focalisée sur la notion d'activité, les vitrines présentant les «objets physiques» s'organiseraient autour de ces mêmes concepts.

ARTEFACTS : Les objets techniques

La partie «ARTEFACTS» se focaliserait sur les objets techniques, sur leur utilisation et sur leurs particularités. Cette zone de l'exposition présenterait l'évolution des techniques à travers l'histoire en s'appuyant sur des outils particuliers comme le martinet et le marteau-pilon. Cette thématique présenterait également aux visiteurs les outils qui étaient fréquemment utilisés dans les forges et leurs fonctions. Au-delà des outils du forgeron, un éclairage serait également fait sur les pièces fabriquées dans les forges. Le but de cette thématique est de se focaliser sur l'évolution des techniques en matière de forgeage. L'accent serait mis sur le marteau-pilon, sur ses usages, son fonctionnement mais aussi sur son invention. Un focus consacré à la querelle qui a opposé les ingénieurs James Nasmyth et François Bourdon pour la primauté de l'invention du marteau-pilon à vapeur serait également proposé. Cependant les artefacts ne concernent pas seulement les outils ou les pièces fabriquées il s'agit également des documents techniques qui permettent leur étude. Des archives de type plan de machines ou plans d'outils seraient exposés en raison de leur forte valeur patrimoniale (Voir figure 12.14). Les objets exposés proviendraient à la fois des collections du Musée des Arts et Métiers ainsi que des forges de Brest, premier démonstrateur du Lab in Virtuo. Ces objets pourraient être des maquettes de marteaux-pilons comme celui du Creusot ou celui créé par Nasmyth, ainsi que des outils manuels de types tenailles et pinces.

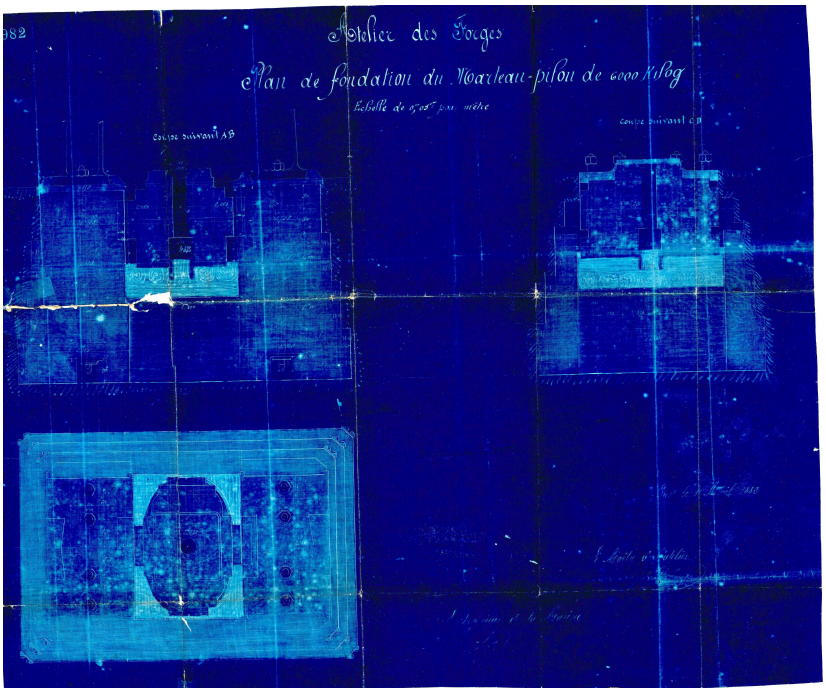


FIGURE 12.14 – Plan de fondation du marteau-pilon de 6000 kg[42]

ACTEURS : Les concepteurs et les ouvriers

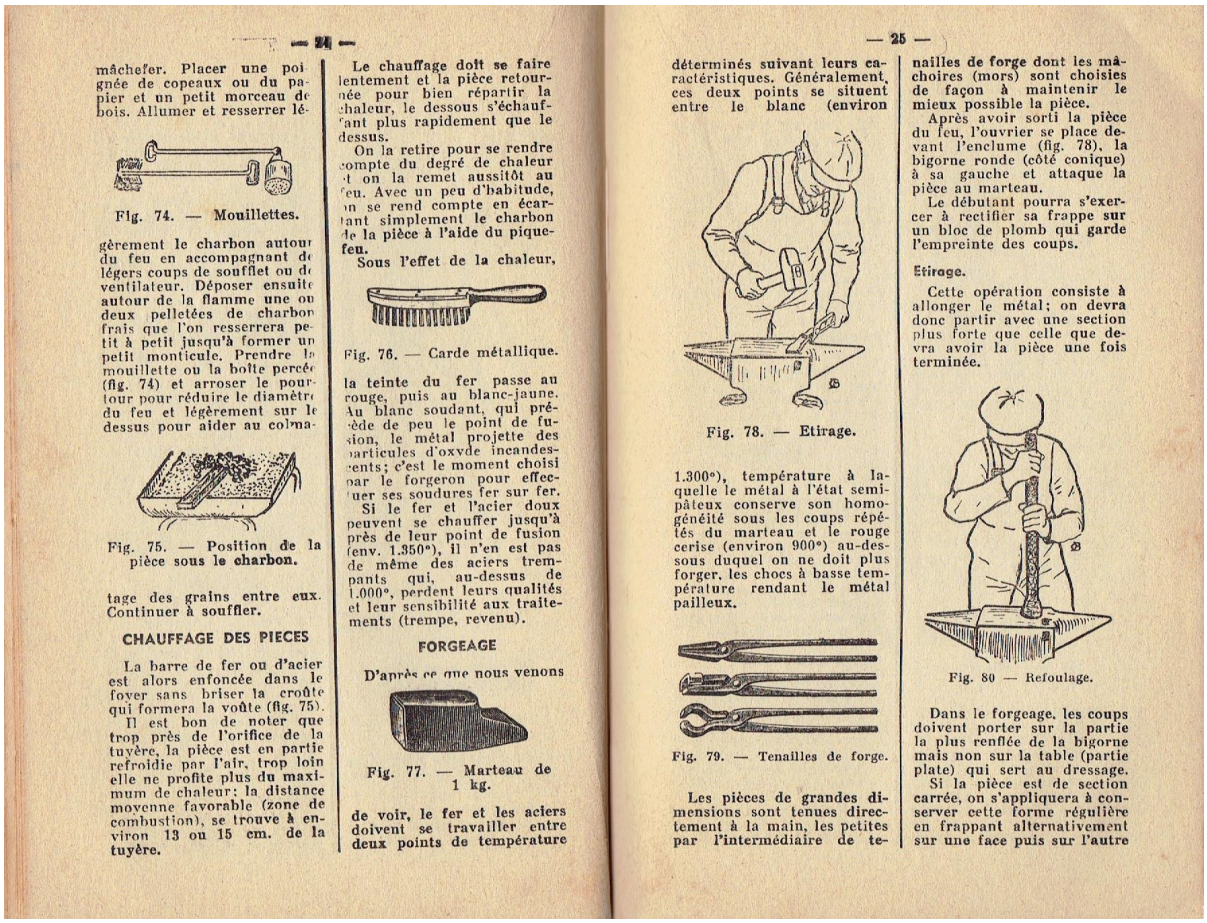
Une des zones de l'exposition serait entièrement consacrée aux acteurs. Ces acteurs peuvent être des concepteurs de machines, des inventeurs mais également des ouvriers. Cette thématique présenterait aux visiteurs les différents types de postes dans les forges, le quotidien des ouvriers et les difficultés du métier. Sur les panneaux explicatifs il serait possible de découvrir l'organigramme d'une forge avec les différents postes ainsi que leurs fonctions. Sur les écrans vidéos il serait également possible de regarder des interviews de forgerons qui témoignent de leurs expériences et de leurs conditions de travail.

SAVOIRS : Les connaissances et le savoir-faire de l'ouvrier

La thématique du savoir se focaliserait sur les connaissances relatives au domaine des forges et qui sont nécessaires au forgeron. La notion de savoir-faire et de gestuelle technique serait également abordée. L'intérêt serait ici de comprendre quelles sont les connaissances relatives aux artefacts ainsi qu'aux procédures de fabrication de pièces. Parmi les objets exposés, il est envisagé de proposer des ouvrages pédagogiques sur le métier de forgeron (Voir figure 12.15) mais également des photographies et des schémas expliquant les procédures de fabrication de pièces métalliques.

Comme il a été précisé précédemment, l'espace d'exposition présentant les objets en vitrine pourrait être complété par des casques de RA, permettant d'établir un lien entre les différents dispositifs de l'exposition. au-delà de l'espace d'exposition composé d'objets techniques, d'archives et de panneaux explicatifs, des écrans vidéos avec des vidéos d'archives seraient également proposés. Ces espaces vidéos proposeraient des documents d'archives des forges de Brest mais également plusieurs vidéos sur des forges présentes partout dans le monde. L'intérêt serait ici de comprendre véritablement l'univers des forges mais également de se focaliser sur le travail de l'ouvrier. Certaines vidéos pourraient également proposer des portraits d'anciens ouvriers comme ceux de M. Roué et M. Vourch qui ont participé au développement du Lab in Virtuo en tant qu'experts du domaine ou encore le processus de construction de l'EV des forges.

42. *«Plan de fondation du marteau-pilon de 6000 kilog»*, Avril 1882, Archives Naval Group.



— 24 —

mâchefer. Placer une poignée de copeaux ou du papier et un petit morceau de bois. Allumer et resserrer lé-

Fig. 74. — Mouillettes.

gèrement le charbon autour du feu en accompagnant de légers coups de soufflet ou de ventilateur. Déposer ensuite autour de la flamme une ou deux pelletées de charbon frais que l'on resserrera petit à petit jusqu'à former un petit monticule. Prendre la mouillette ou la boîte percée (fig. 74) et arroser le pourtour pour réduire le diamètre du feu et légèrement sur le dessus pour aider au colma-

Fig. 75. — Position de la pièce sous le charbon.

tage des grains entre eux. Continuer à souffler.

CHAUFFAGE DES PIECES

La barre de fer ou d'acier est alors enfoncée dans le foyer sans briser la croûte qui formera la voûte (fig. 75).

Il est bon de noter que trop près de l'orifice de la tuyère, la pièce est en partie refroidie par l'air, trop loin elle ne profite plus du maximum de chaleur; la distance moyenne favorable (zone de combustion), se trouve à environ 13 ou 15 cm. de la tuyère.

Le chauffage doit se faire lentement et la pièce retournée pour bien répartir la chaleur, le dessous s'échauffant plus rapidement que le dessus.

On la retire pour se rendre compte du degré de chaleur et on la remet aussitôt au feu. Avec un peu d'habitude, on se rend compte en écartant simplement le charbon de la pièce à l'aide du piquefeu.

Sous l'effet de la chaleur,

Fig. 76. — Carde métallique.

la teinte du fer passe au rouge, puis au blanc-jaune. Au blanc soudant, qui précède de peu le point de fusion, le métal projette des particules d'oxyde incandescents; c'est le moment choisi par le forgeron pour effectuer ses soudures fer sur fer.

Si le fer et l'acier doux peuvent se chauffer jusqu'à près de leur point de fusion (env. 1.350°), il n'en est pas de même des aciers trempants qui, au-dessus de 1.000°, perdent leurs qualités et leur sensibilité aux traitements (trempe, revenu).

FORGEAGE

D'après ce que nous venons

Fig. 77. — Marteau de 1 kg.

de voir, le fer et les aciers doivent se travailler entre deux points de température

— 25 —

déterminés suivant leurs caractéristiques. Généralement, ces deux points se situent entre le blanc (environ

Fig. 78. — Etirage.

1.300°), température à laquelle le métal à l'état semi-pâteux conserve son homogénéité sous les coups répétés du marteau et le rouge cerise (environ 900°) au-dessous duquel on ne doit plus forger, les chocs à basse température rendant le métal pailleux.

Fig. 79. — Tenailles de forge.

Les pièces de grandes dimensions sont tenues directement à la main, les petites par l'intermédiaire de tenailles de forge dont les mâchoires (mors) sont choisies de façon à maintenir le mieux possible la pièce.

Après avoir sorti la pièce du feu, l'ouvrier se place devant l'enclume (fig. 78), la bigorne ronde (côté conique) à sa gauche et attaque la pièce au marteau.

Le débutant pourra s'exercer à rectifier sa frappe sur un bloc de plomb qui garde l'empreinte des coups.

Etirage.

Cette opération consiste à allonger le métal; on devra donc partir avec une section plus forte que celle que devra avoir la pièce une fois terminée.

Fig. 80 — Refoulage.

Dans le forgeage, les coups doivent porter sur la partie la plus renflée de la bigorne mais non sur la table (partie plate) qui sert au dressage.

Si la pièce est de section carrée, on s'appliquera à conserver cette forme régulière en frappant alternativement sur une face puis sur l'autre

FIGURE 12.15 – Ouvrage pédagogique sur le forgeage (BEAUSOLEIL 1964)

Un dispositif de table interactive serait également proposé dans le cadre de l'exposition. Véritablement ciblée sur le système technique du marteau-pilon, elle proposerait de comprendre son fonctionnement en identifiant les différents éléments du marteau et leurs fonctions à travers des animations et des jeux. Il serait également possible de découvrir la modélisation 3D de l'environnement des forges. Ce dispositif est un bon compromis pour les enfants de moins de treize ans qui n'ont pas la possibilité d'utiliser des casques de RV ainsi que pour les personnes qui ne souhaitent pas utiliser le Lab in Virtuo. Les scénarios de médiation[43] proposés dans le chapitre 12 seraient proposés sur trois supports différents : le Lab in Virtuo, le CAVE, ainsi que les tables interactives. Il est très important de préciser que les connaissances acquises dans le Lab in Virtuo et dans le parcours «classique» de l'exposition ne seraient pas des redites, elles se compléteraient et permettraient d'aborder les informations de différentes manières.

La logistique nécessaire pour l'usage du Lab in Virtuo dans un musée

Afin d'être intégré dans le cadre d'une exposition temporaire, le Lab in Virtuo requerrait une logistique particulière. En effet, plusieurs éléments sont à prendre en considération :

- L'emplacement : Le Lab in Virtuo requiert une zone relativement importante afin de placer les différents capteurs du casque de RV ainsi qu'un bureau équipé d'un écran. La zone devrait au moins faire 3*3 mètres afin de permettre aux utilisateurs de se déplacer aisément. La zone devrait également être sécurisée et éloignée du passage des visiteurs afin d'éviter les soucis. Dans le cadre de cette exposition nous proposons trois postes. Deux personnes pourraient utiliser simultanément le même Lab in Virtuo et interagir ensemble dans l'environnement. Le CAVE nécessite également une place relativement importante. Celui-ci serait placé proche des postes de Lab in Virtuo afin de faciliter le déplacement des médiateurs.
- La main d'oeuvre : Il serait indispensable de former des médiateurs à l'usage du dispositif de RV. Ceux-ci doivent être capables de transmettre aux utilisateurs la démarche à suivre comme l'usage de la manette mais ils ont également pour mission de gérer les passages des visiteurs dans de bonnes conditions et de faire respecter les normes de sécurité.

Les médiateurs chargés du Lab in Virtuo devraient également prendre en considération les publics qui souhaiteraient tester le dispositif. Les enfants de moins de 13 ans ne sont pas autorisés à utiliser ce genre de technologies, ceux-ci devraient donc orienter ces personnes vers un autre dispositif comme les tables interactives ou les inviter à découvrir la modélisation 3D directement sur l'écran de l'ordinateur. Il serait également indispensable d'accompagner au mieux les utilisateurs pour leur offrir une bonne expérience du Lab in Virtuo comme les personnes âgées ou à mobilité réduite en les invitant à s'asseoir pendant la démonstration.

Les médiateurs travaillant dans le cadre de cette exposition doivent avoir les connaissances nécessaires sur les outils utilisés, notamment les tables interactives, les casques de RV ou encore les CAVE. En effet, ils doivent pouvoir réagir en cas de soucis techniques, mais également parler de ces types de dispositifs au public. Pour cela, les médiateurs doivent pouvoir témoigner d'expérience dans le domaine, ou participer à une session de formation qui serait dispensée avant l'ouverture de l'exposition.

43. Un scénario activité présentant les procédures de préparation d'une grosse pièce métallique, un scénario scolaire présentant l'environnement des forges, et enfin, un scénario de comparaison des forges de Brest et de Venise.

12.5.2 L'apport pour la médiation culturelle dans un musée

Dans cette exposition dédiée au domaine des forges et de l'activité, le Lab in Virtuo aurait pour vocation d'offrir aux visiteurs une expérience d'immersion et d'apprentissage innovante. Parmi les apports du Lab in Virtuo dans le cadre de cette exposition temporaire nous pouvons citer :

- La possibilité de réaliser des procédures : L'usage de cet outil permettrait aux visiteurs d'acquérir des informations sur des procédures techniques. De plus, l'environnement leur donnerait l'occasion de réaliser des actions comme déclencher le marteau-pilon ou commander la grue. Le visiteur ne serait plus passif mais actif (VERHAEGEN 2008).
- La possibilité d'acquérir des informations complémentaires sur le domaine au moyen des scénarios de médiation ou en posant des questions à l'agent virtuel.
- La possibilité d'adapter les scénarios de médiation au sein de l'environnement virtuel en fonction du public ou de leurs centres d'intérêt.
- La possibilité de vivre une expérience de médiation innovante : Ce type de dispositif associé à des moyens de médiation dits «classiques» offrirait au visiteur une expérience de visite complète. L'utilisation de la RV représenterait également un attrait pour les visiteurs et permettrait de se familiariser avec un type de technologie particulier.
- La possibilité d'offrir de nouvelles perspectives d'éducation pour le jeune public en transformant le musée en *«laboratoire muséal»* (ALLARD et LEFEBVRE 2001) :

  «Le musée est un formidable laboratoire aux dimensions multiples qui offre des conditions d'apprentissage bien distinctes de celles de l'école traditionnelle. Un musée est un lieu où on peut apprendre à son propre rythme, de manière souple, exploratoire et volontaire. Le laboratoire muséal permet donc d'envisager de perspectives nouvelles pour l'étude de questions relatives à la personne en apprentissage, à la pédagogie et au milieu».

Les apports du Lab in Virtuo pour l'exposition sont nombreux. Celui-ci permettrait d'offrir une expérience de visite innovante aux visiteurs mais également leur offrirait la possibilité d'acquérir des informations sur le domaine de façon différente (DAVALLON 2003). L'attrait des nouvelles technologies n'est pas anodin dans les musées comme l'explique (GRAVARI-BARBAS 2006) :

> *«Les musées ont, pour l'instant, démontré un fort potentiel d'adaptation à la nouvelle demande des publics, ce qui n'était pas, a priori, évident. De nos jours, les musées sont pris d'assaut par un public de plus en plus friand, sinon de culture, au moins d'expériences culturelles. Contrairement à ce que craignaient les responsables de la culture, l'institution n'a pas disparu, mais elle a entamé une mutation impressionnante».*

Cette «mutation impressionnante» est en partie liée à l'introduction de nouveaux dispositifs technologiques dans les musées qui permettent d'innover en termesde médiation culturelle. Cela est particulièrement perceptible en ce qui concerne les musées des sciences et des techniques qui cherchent à formaliser des concepts et à offrir de nouvelles expériences aux visiteurs. Depuis quelques années, les visiteurs des musées attendent plus. Ils recherchent de nouvelles expériences de médiation comme le souligne (BELAËN 2003) :

> *«La volonté de faire des expositions des évènements culturels et médiatiques a conduit certains musées à renouveler leurs techniques muséographiques en s'inspirant des attentes expérientielles repérées dans les autres formes médiatiques comme la recherche d'émotions, de sensations fortes, de dépaysement, d'agitation affective, de vibrations etc, face à la concurrence, notamment celle des parcs d'attractions , les musées des sciences et des techniques ont tenté d'attirer un plus large public en proposant des expositions qui procurent des expériences fortes, globales, envoûtantes, mémorables».*

L'usage du Lab in Virtuo, combiné à une démarche de médiation plus classique, permettrait aux visiteurs de capitaliser leurs connaissances sur le domaine de différentes manières et de faire le lien entre le matériel et le virtuel. Le fait de découvrir l'environnement des forges virtuellement ainsi que les outils au sein du l'EVI leur permettrait également de mieux appréhender et comprendre les différents concepts de l'exposition. L'usage du Lab in Virtuo dans un musée permettrait au visiteur d'être au centre de la réflexion en le plaçant au rang d'acteur de l'exposition :

> *«Regardant les protocoles d'enquêtes qui sont actuellement développés pour mesurer la satisfaction, on constate une tension qui peine à être résolue : tantôt, et le plus souvent, le visiteur est perçu comme un client ou un usager du musée, tantôt, et bien plus rarement,* ***il est conçu comme un acteur ou un auteur de sa visite.*** *»* (EIDELMAN, ROUSTAN et GOLDSTEIN 2008)

Considérer le visiteur comme un acteur de l'exposition renforcerait non seulement son implication, mais également le processus d'apprentissage.

12.6 Conclusion

Le développement du Lab in Virtuo accorde une grande place aux usages pour la médiation culturelle.

L'EV des forges de Brest a fait l'objet de démonstrations lors d'évènements scientifiques et d'une collaboration avec une école afin de travailler sur les différents usages et les différents publics en termes de médiation culturelle. L'environnement 3D a également fait l'objet d'une expérience exploratoire avec les forgerons afin de travailler sur la validation du modèle et le recueil de données *«in virtuo»*.

L'étude des indicateurs (Voir chapitres 6, 7 et 8), les travaux en HN (Voir chapitres 10 et 11) permettant le développement de l'EVI et la tenue fréquente de démonstrations auprès du public, ont permis la création de scénarios de médiation qui pourraient être employés dans le cadre d'une exposition dans un musée.

Les travaux en HST (Chapitres 5, 6, 7 et 8) et en HN (Chapitres 9, 10 et 11) ainsi que l'étude des usages du Lab in Virtuo pour la médiation (Chapitre 12), ont permis le développement de méthodologies spécifiques destinées à étudier les paysages culturels industriels et l'activité associée. Les méthodologies présentées dans le cadre de ces travaux de recherche font l'objet d'un guide méthodologique, la méthode KM-ACIL (Voir annexes A).

Références chapitre 12

ALLARD Michel et LEFEBVRE Bernard (2001), *La formation en muséologie et en éducation muséale à travers le monde*, Éditions MultiMondes.

BEAUSOLEIL Oscar (1964), *Mécanique, ajustage, tournage, trempe*, Editions techniques Oscar Beausoleil, Paris.

BELAËN Florence (2003), « L'analyse de l'apparition d'un nouveau genre culturel dans les musées des sciences: les expositions d'immersion. », in *CIFSIC Bucarest 2003*.

CAILLET Élisabeth (2007), *Accompagner les publics: l'exemple de l'exposition" Naissances" au Musée de l'Homme: novembre 2005-septembre 2006*, Editions L'Harmattan.

CORDIER Jean-Pierre, DESSAJAN Séverine et EIDELMAN Jacqueline (2009), « Une culture scientifique et technique au service d'une co-construction des savoirs », *La Lettre de l'OCIM. Musées, Patrimoine et Culture scientifiques et techniques*, n° 126, p. 28–35.

DALE Edgar (1969), « Audiovisual methods in teaching ».

DAVALLON Jean (1999), *L'exposition à l'oeuvre: stratégies de communication et médiation symbolique*, L'harmattan.

— (2003), « La médiation: la communication en procès », *Médiation et information*, t. 19, p. 37–59.

— (2011), « Le pouvoir sémiotique de l'espace », *Hermès, La Revue*, n° 3, p. 38–44.

EIDELMAN Jacqueline, ROUSTAN Mélanie et GOLDSTEIN Bernadette (2008), *La place des publics. De l'usage des études et recherches par les musées*.

FOREST Michel et SGARD Clotilde (2008), *Éducation et action culturelle: politique et activités: guide pratique*, Ministère de la culture, de la communication et de la condition féminine.

GRAVARI-BARBAS Maria (2006), « La ville à l'ère de la globalisation des loisirs », *ESPACES-PARIS-*, t. 234, p. 48.

JACOBI Daniel (2013), « Exposition temporaire et accélération: la fin d'un paradigme? », *La Lettre de l'OCIM. Musées, Patrimoine et Culture scientifiques et techniques*, n° 150.

KAPLAN Jeffrey S (2010), « D. Lynn McRainey and John Russick, eds. Connecting Kids to History with Museum Exhibitions », *Teaching History: A Journal of Methods*, t. 35, n° 2, p. 108–110.

LOISIRS Espaces tourisme et (2012), « Les enfants au musée », *Revue ESPACES tourisme et loisirs*, n° n°302, p. 1–48.

MERCIER Alain (2018), *Le conservatoire des arts et métiers des origines à la fin de la restauration (1794-1830)*, Snoeck, Le CNAM.

POLI Marie-Sylvie (2012), *Que signifie réellement engager des médiations innovantes?*

RASSE Paul (2017), *Le musée réinventé-Culture, patrimoine, médiation*, CNRS.

ROCHELEAU Johanne (2012), *La Méthode @pte : accompagnement pédagogique en technologie éducative*.

TISSEAU Jacques (2001), « Réalité virtuelle: autonomie in virtuo », *Habilitation à diriger des recherches, Université de Rennes*, t. 1.

VERHAEGEN Philippe (2008), « Enjeux de la médiation corporelle au sein du média exposition », *Recherches en communication*, t. 29, n° 29, p. 81–100.

Quatrième partie

Conclusion

Chapitre 13

Conclusion et perspectives

13.1 Conclusion

Dans cette thèse, nous avons présenté des méthodes en HST et en HN pour bâtir une histoire comparée entre les arsenaux de Brest et Venise. Ces travaux ont également permis de mettre au point un Lab in Virtuo dédié aux paysages culturels industriels et à la médiation culturelle.

Cette thèse présente une particularité : il s'agit d'une thèse transdisciplinaire au croisement de l'HST, de l'ingénierie des connaissances, de la RV et de la médiation culturelle. Ces travaux avaient deux objectifs principaux :

- Établir et comparer le cycle d'évolution et les pratiques des arsenaux de Brest et Venise du point de vue scientifique et technologique de leur création jusqu'à aujourd'hui en s'appuyant sur des indicateurs spécifiques similaires entre les deux lieux de l'étude (Voir chapitres 5, 6, 7 et 8).
- Construire une méthode en HN à partir des travaux en HST afin de permettre la conservation et la valorisation du patrimoine culturel industriel et de l'activité associée (Voir chapitres 9, 10, 11 et 12).

Les travaux en HST impliquent des méthodes pour l'étude des arsenaux et de l'activité associée et pour le recueil de données. L'essentiel des travaux est basé sur le méta-modèle ANY-ARTEFACT. Celui-ci a deux composantes : un modèle générique d'activité humaine se basant sur les notions d'artefacts, d'acteurs et de savoirs, ainsi qu'un modèle d'évolution temporelle permettant d'étudier les cycles de vie des artefacts, HST-ARSENAL. Les deux composantes, ont permis, dans le cadre de cette thèse, de faire une histoire comparée des arsenaux de Brest et de Venise. Pour cela, l'étude s'est concentrée sur des indicateurs spécifiques communs entre les deux lieux. Les indicateurs sélectionnés sont de deux types : des indicateurs relatifs à la mobilité comme différents types de grues ou un pont tournant et des unités de production industrielle comme des forges ou des corderies. Le recueil de données nécessaire pour cette étude à été réalisé aux moyens d'archives, de vidéos mais également d'entretiens auprès d'anciens utilisateurs des systèmes techniques.

Les travaux en HN proposent de nouvelles méthodes afin d'aborder des questions de conservation, de sauvegarde et de médiation pour le patrimoine. L'outil que nous avons présenté dans le cadre de cette thèse se nomme Lab in Virtuo. Il a pour objectif l'acquisition et la restitution de connaissances, savoir-faire, gestes techniques dans un environnement virtuel. Les travaux suivants ont permis le développement du Lab in Virtuo :

- En Web Sémantique : Deux ontologies spécifiques ont été créées pour les besoins du Lab in Virtuo. Une ontologie générique, ANY-ARTEFACT-O destinée à décrire les paysages culturels industriels à partir du méta-modèle ANY-ARTEFACT, et une ontologie spécialisée, Forge-o, qui permet de décrire le premier démonstrateur du Lab in Virtuo.
- En Réalité Virtuelle : Un environnement informé est rendu possible grâce à l'utilisation du méta-modèle MASCARET et à son alignement avec ANY-ARTEFACT. Cet EVI, généré automatiquement à partir de l'ontologie, permet, au moyen de scénarios de médiation, l'exécution d'activités dans l'environnement virtuel.

Nos principales contributions se résument par les points suivants :

Dans le champ de l'Histoire des Sciences et des Techniques :

1. HST-ARSENAL modèle d'évolution pour l'étude des arsenaux adapté du modèle HST-PORT (ROHOU 2018). L'adaptation de ce modèle a participé à la périodisation des deux arsenaux de l'étude.
2. Une étude des arsenaux de Brest et de Venise du point de vue de l'HST. Une périodisation pour les deux arsenaux a été élaborée en étudiant des systèmes technologiques ainsi que l'activité associée. Une histoire comparée a été produite et nous avons pu démontrer que sur une longue durée, la comparaison des cycles de vie des arsenaux est possible en choisissant des indicateurs liés à l'activité.
3. Une contribution à la sauvegarde d'archives sur les forges de Pontaniou à Brest. Les archives propriété de Naval Group ont été versées au Centre François Viète afin de permettre le recueil de données sur le démonstrateur du Lab in Virtuo.
4. La constitution de nouvelles archives sur l'activité de l'arsenal de Brest au moyen d'entretiens auprès d'anciens utilisateurs de systèmes : les forgerons de la forge de Pontaniou et les conducteurs de la grue électrique de Brest. Ces entretiens ont pour objectif d'être versés prochainement au Service Historique de la Défense de Brest (SHD).

Dans le champ des Humanités Numériques :

1. La méta-ontologie, ANY-ARTEFACT-O issue du méta-modèle en HST ANY-ARTEFACT qui permet de décrire les activités dans les paysages culturels industriels.
2. L'alignement entre la méta-ontologie formelle ANY-ARTEFACT-O et MASCARET, modèle d'activité permettant la simulation de systèmes techniques et des activités en Environnement Virtuel. Grâce à l'alignement des deux méta-modèles, il est possible de générer l'Environnement Virtuel automatiquement à partir de l'ontologie et de l'enrichir pour exécuter les activités.
3. Une ontologie spécialisée, «Forge-o» déclinée à partie d' ANY-ARTEFACT-O, en HST consacrée au domaine concerné par le démonstrateur (les Forges de Pontaniou).
4. En termes d'application et de démonstrateur, la production de différents types de scénarios en environnements virtuels dédiés à la médiation.

Ces contributions en HST et en HN ont permis la rédaction d'un guide, appelé KM-ACIL («***K**nowledge **M**odelling dedicated to **A**ctivities in **C**ultural **I**ndustrial **L**andscapes*»), explicitant chacune des étapes permettant de concevoir un EVI pour le domaine de la médiation culturelle à partir de données recueillies par les historiens (Voir annexes A).

Comme il a été précisé en introduction, cette thèse s'inscrit dans la transdisciplinarité. Selon (GLYKOS 1999) cité par (CLAVERIE 2010) la transdisciplinarité implique *«ce qui est au-delà de toute discipline et ce qui traverse toutes les disciplines possibles»*. Ce projet de recherche implique trois domaines avec des méthodologies et des outils spécifiques : l'HST, les HN et la médiation. Comme il a été précisé en introduction, selon l'article 3 de la *«Charte de la transdisciplinarité*[1]*»*, celle-ci implique :

- Une confrontation des disciplines

1. Adoptée au Premier Congrès Mondial de la Trandisciplinarité,Portugal, 1994.http://ciret-transdisciplinarity.org/chart.php

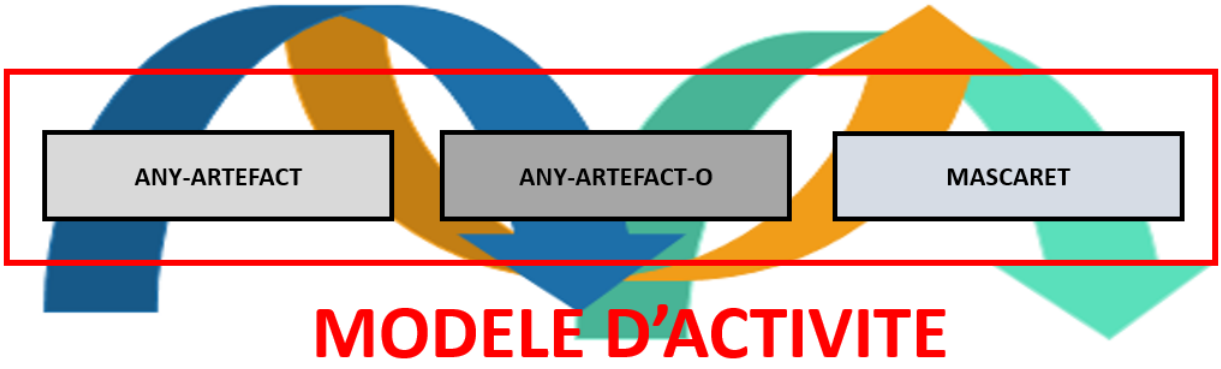


FIGURE 13.1 – Le modèle d'activité produit grâce aux trois domaines de recherche

- De nouvelles données qui s'articulent entre elles
- Une nouvelle vision de la nature et de la réalité
- Une ouverture de toutes les disciplines à ce qui les traverse et les dépasse

Les trois domaines de recherches concernés ainsi que les méthodologies employées vont prôner l'ouverture et le dépassement des habitudes inhérentes aux différents domaines de recherche. En effet, les travaux effectués en HST, en HN et en médiation a permis le développement d'un modèle d'activité traversant toutes ces disciplines (Voir figure 13.1)

Ce modèle d'activité est composé par le modèle ANY-ARTEFACT produit en HST, l'ontologie ANY-ARTEFACT-O synthèse de travaux en HST et en HN, et enfin MASCARET en HN. Il y a donc, pour le développement de ce modèle d'activité une confrontation des disciplines, et une production de nouvelles données (ontologies, scénarios, création de nouvelles archives 3D et historiques) qui s'articulent entre elles. La création de ce modèle d'activité offre donc une ouverture vers de nouvelles méthodologies et également une nouvelle vision de la médiation culturelle et de l'apprentissage des connaissances à travers la production de nouveaux outils pour la médiation culturelle.

13.2 Perspectives

Les recherches effectuées dans le cadre de cette thèse ouvrent des perspectives concernant l'usage du Lab in Virtuo. Ces perspectives concernent le recueil de données et la médiation, les recherches collaboratives et enfin la diffusion et la pérennisation des données.

Recueil de données et médiation

Le chapitre 12 fait état du premier essai de recueil «in virtuo» avec les forgerons M Vourch et M.Roué qui ont participé au projet depuis le début de cette thèse. Il serait intéressant de prolonger les recherches dans ce sens afin de juger la pertinence du Lab in Virtuo dans le cadre d'un recueil de données. Dans le cadre de cette thèse, le travail avec les forgerons impliquait un recueil de données dit «classique» au moyen d'entretiens, ainsi qu'un essai de recueil «un virtuo». Pour la poursuite des travaux sur le Lab in Virtuo, il serait pertinent de mettre au point des expérimentations de recueil de données «in virtuo» auprès d'autres forgerons [2] sans entretiens classiques au préalable. Cette expérimentation auprès d'autres experts du domaine qui ne connaissent pas l'environnement virtuel,

2. Deux anciens collègues de M.Vourch et M.Roué ayant collaboré au tournage du court métrage d'Olivier Bourbeillon, pourraient participer à cette expérimentation.

permettrait d'évaluer la pertinence d'entretiens en immersion. Contrairement aux entretiens classiques effectués avec M.Vourch et M.Roué, l'entretien «in virtuo» se focaliserait exclusivement sur les outils et les procédures pour que les forgerons puissent s'appuyer sur ce qu'ils voient dans l'EV. Pour que ce recueil de données soit efficace, il est possible de procéder à des entretiens individuels dans un premier temps, et de réunir ensuite les deux forgerons au sein de l'EV afin de favoriser leurs échanges. Ces expérimentations seraient filmées et ensuite retranscrites afin de compléter les recueils de données des forges de Brest.

Il est également question de poursuivre le développement des scénarios de médiation présentés dans le chapitre 12. Ces scénarios ont été développés au moyen des recherches historiques effectuées dans le cadre de cette thèse (Voir chapitre 6 et 7) et des travaux sur l'EVI (Voir chapitres 10, 11 et 12). La conception de ces scénarios a été développée mais leurs usages n'ont, pour le moment, pas fait l'objet de travaux. Il serait possible de mettre en place des expérimentations pour chacun des trois types de scénarios proposés : les scénarios «Activité», «Scolaire» et «Comparaison Brest-Venise». L'expérimentation du scénario «Activité» permettrait d'évaluer l'intérêt du contenu scénarisé, les réponses données à l'utilisateur quand celui-ci pose une question à l'agent autonome, mais également d'évaluer les actions de l'utilisateur quand celui-ci occupe un rôle métier (Forgeron, conducteur de grue, chef d'équipe).

Dans le cas du scénario «Scolaire», l'expérimentation devrait avoir lieu au moyen d'autres types de dispositifs comme directement sur un écran d'ordinateur, dans un CAVE ou sur une table interactive. La collaboration avec l'école qui a fait l'objet d'une partie dans le chapitre 12 pourrait se prolonger par la mise en place d'expérimentations auprès des élèves et de leur professeur, afin d'évaluer l'intérêt pédagogique du scénario dans le cadre d'activités en classe.

Le scénario «Comparaison Brest-Venise» a pour vocation de mettre en évidence les analogies, ou au contraire les différences entre les forges de Brest et de Venise. La construction de ce scénario est rendue possible au moyen de l'étude comparée effectuée entre les deux unités de production industrielle du chapitre 7. Ce scénario pourrait être testé au même titre que le scénario «Activité» afin de déterminer son intérêt en termes de médiation. Comme l'étude de la forge de Venise a été effectuée en très grande partie grâce à la collaboration d'acteurs[3] travaillant à sa valorisation, il serait pertinent de les faire participer à cette évaluation. Cette expérimentation permettrait d'une part, de leur soumettre l'étude comparée qui a été effectuée sur les deux forges, et d'autre part, de voir si l'étude de la forge de Venise est appropriée.

Toutes ces évaluations permettraient, pour la suite du projet, de voir si ces trois premiers types de scénarios sont pertinents en termes de médiation culturelle. Si ces expérimentations s'avèrent positives, cela permettrait la conception de scénarios plus complets ou abordant d'autres thématiques.

Dans le cadre du chapitre 12 qui est consacré aux usages du Lab in Virtuo, nous nous sommes intéressés aux manifestations scientifiques et aux premières démonstrations de l'environnement virtuel du Lab in Virtuo. Une proposition d'usage du Lab in Virtuo dans un musée a également été avancée, toujours dans un contexte de médiation culturelle. Il s'est avéré dans ce chapitre, que le Lab in Virtuo constitue un dispositif innovant pour la médiation culturelle dédié aux paysages culturels industriels. Les travaux effectués sur le démonstrateur du Lab in Virtuo, les forges de Brest, permettraient la mise en place d'ac-

3. M.Alessandro Ervas et le Forum Futuro Arsenale https://futuroarsenale.org/

tions de médiation «in situ», c'est à dire au coeur de l'arsenal de Brest. La forge de Pontaniou existe toujours mais celle-ci est encore aujourd'hui en zone militaire donc interdite au public. Les Capucins [4], anciens ateliers des machines de l'arsenal de Brest reconvertis en lieu culturel, représenterait le lieu adéquat pour l'organisation d'un évènement car celui-ci était fortement lié à l'activité des forges [5]. L'organisation d'une exposition sur le domaine et sur l'histoire des forges de Pontaniou sur le modèle de celle proposée pour le Musée des Arts et Métiers, serait envisageable. L'organisation d'une exposition de type classique, combinée à l'usage du Lab in Virtuo pourrait également être suppléée par un dispositif en Réalité Augmentée. Les Capucins étant situés juste au-dessus des forges, il serait intéressant de mettre au point un dispositif en RA permettant la transmission de connaissances au public.

Recherches collaboratives

Les méthodologies mises en place en HST ont permis la construction d'une histoire comparée des arsenaux de Brest et de Venise en se basant sur des démonstrateurs communs et pertinents. Pour le développement du Lab in Virtuo, un démonstrateur a été défini afin de tester les méthodologies en HST (Voir chapitres 5, 6, 7 et 8) et en HN (Voir chapitres 9, 10, 11 et 12). Ces méthodologies pourraient faire l'objet de recherches collaboratives avec des chercheurs travaillant également sur les arsenaux, afin de poursuivre les travaux. Dans le cadre de l'étude sur l'arsenal de Venise (Voir chapitre 6) nous avons évoqué des travaux effectués dans un laboratoire de l'Université IUAV de Venise. Le laboratoire CIRCE [6] a également travaillé sur des questions de modélisation de l'arsenal de Venise. Ayant pu tester les méthodologies du Lab in Virtuo sur un démonstrateur de l'arsenal de Brest, il pourrait être intéressant, toujours dans une optique d'histoire comparée, de travailler sur la construction d'un EVI permettant d'acquérir des connaissances sur les deux arsenaux, en découvrant les modélisations des forges de Brest et celles de l'arsenal de Venise qui a été produite à partir d'un ensemble de cartes. Les méthodologies seraient les mêmes que pour le Lab in Virtuo appliqué aux forges de Brest mais solliciteraient une base de connaissances sur les deux lieux de l'étude. Ce projet permettrait de mettre en commun des méthodologies de recherches différentes et mettrait également à disposition du CIRCE un outil permettant la valorisation de leurs travaux. Une partie de l'arsenal de Venise étant à présent ouverte au public, il serait intéressant, dans le cadre d'une journée d'étude, de présenter «in situ» les recherches effectuées à la fois à Brest et Venise et de permettre la mise en place de démonstrations auprès du public dans la prolongation du séminaire *«Gli arsenali del mediterraneo e del atlantico- Les arsenaux de la méditerranée et de l'atlantique»* [7]« qui a eu lieu le 27 novembre 2018 à l'Université de Ca'Foscari à Venise.

4. https://www.brest.fr/culture/les-equipements-culturels/les-ateliers-des-capucins-2135.html

5. Les pièces produites dans la forge de Pontaniou étaient ensuite envoyées à usiner à l'atelier des machines des Capucins.

6. http://www.iuav.it/SISTEMA-DE/Laboratori1/index.htm

7. Organisé en collaboration avec l'École des Hautes Études en Sciences Sociales, Centre de Recherches Historiques - Institut Supérieur de Gestion, Programme Business et Management), L'Université de Ca Foscari à Venise et le Centre François Viète. Voir https://www.ehess.fr/fr/journées-détude/arsenaux-méditerranée-et-latlantiquegli-arsenali-del-mediterraneo-e-del-atlantico et https://brestvenise.hypotheses.org/

La diffusion des méthodologies et la pérennisation des données

Dans le cadre du projet Lab in Virtuo, les questions de diffusion des méthodologies et de pérennisation des données sont au centre des préoccupations. Les annexes A présentent une synthèse des méthodologies développées pour l'étude des paysages culturels industriels et pour le développement du Lab in Virtuo. Ces méthodologies, appelées méthode KM-ACIL, vont faire l'objet d'un livrable plus complet et diffusable pour les chercheurs mais également pour la formation des étudiants en EHST et des doctorants. Ce livrable qui sera consultable en ligne permettra la construction d'autres types de Lab in Virtuo et favoriserait par la même occasion la construction d'un réseau de chercheurs.

Les problématiques de cette thèse sont fortement liées à celles du Livre Blanc (VERGNIEUX et al. 2017) du consortium 3D SHS [8] qui représente une référence sur l'usage des modèles 3D pour le patrimoine culturel. En effet, un des chapitres de l'ouvrage est consacré à l'archivage des modèles 3D. Comme il est précisé, il n'existe aujourd'hui pas de solutions pérennes permettant le stockage de ces données. Cette question est au centre des recherches du TGIR Huma Num [9], d'Archéovision [10] et du CINES (Centre Informatique National de l'Enseignement Supérieur) [11] qui travaillent ensemble à la mise en place de solutions d'archivage. Il est important dans le cadre de travaux de modélisation de pouvoir garantir non seulement la sauvegarde des modèles mais également leur diffusion. Le modèle 3D des forges utilisé dans le cadre du développement du Lab in Virtuo, pourrait être prochainement déposé dans le conservatoire numérique du consortium 3D SHS afin de le rendre accessible par d'autres communautés de chercheurs travaillant sur des thématiques proches mais également de contribuer à sa sauvegarde. Avec l'évolution des technologies et le développement croissant de projets en HN, de nouveaux outils et techniques voient le jour pour accompagner les chercheurs. C'est le cas par exemple de «la plateforme Humanités Numériques« [12] de la Maison des Sciences de l'Homme en Bretagne (MSHB) [13] qui permet de mutualiser un ensemble de services et d'infrastructures comme la TGIR Huma-Num [14]. Cette plateforme permet la numérisation et le stockage de données de recherche (Ressources textuelles, iconographie etc.).

En termes de perspectives au projet Lab in Virtuo, un autre type de plateforme pourrait être envisagé pour permettre à la fois la valorisation et la pérennisation des données. Cette plateforme, qui serait un «Conservatoire des Pratiques Culturelles Industrielles» (CPCI), permettrait aux chercheurs de déposer différents types de données sur leurs travaux relatifs aux paysages culturels industriels et à l'activité associée. Ces données pourraient être de différents types : Des données historiques (Photographies, entretiens, vidéos etc.) ou numériques (Modèles 3D, EVI, ontologies, motion capture etc.). Les présentations des projets et des méthodes employées pourraient être déposées sur le site par l'équipe de recherche ainsi que des articles scientifiques qui en font référence. Le dépôt de ces données sur la plateforme constituerait une collection ou base de données compréhensible et réutilisable par d'autres chercheurs. Il serait alors possible de procéder à des recherches dans la base de données en fonction des types de données (par exemple

8. https://shs3d.hypotheses.org/
9. https://www.huma-num.fr/
10. http://archeovision.cnrs.fr/
11. https://www.cines.fr/
12. Cette plateforme s'inscrit dans le réseau de plateformes Scripto du RnMSH http://www.msh-reseau.fr/plate-formes?7
13. https://www.mshb.fr/plateformes_mshb
14. https://www.huma-num.fr/

modèle 3D), de la thématique (Corderies) et de l'époque concernée (18e siècle). Ce type de plateforme participerait à la diffusion des travaux sur les paysages culturels et l'activité et par la même occasion favoriserait une mise en réseau de communautés de chercheurs travaillant sur les mêmes thématiques.

Références chapitre 13

CLAVERIE Bernard (2010), « Pluri-, inter-, transdisciplinarité: ou le réel décomposé en réseaux de savoir », *Projectics/Proyéctica/Projectique*, n° 1, p. 5–27.

GLYKOS A (1999), « Approche communicationnelle du Dialogue Artiste/Scientifique, Note de synthèse pour l'Habilitation à diriger des recherches », *Paris: Université Diderot Paris*, t. 7.

ROHOU Bruno (2018), « Modélisation des ports de Brest (France), Rosario et Mar del Plata (Argentine) en tant que macro systèmes technologiques complexes: application à la modélisation des connaissances pour l'histoire des sciences et des techniques », thèse de doct.

VERGNIEUX Robert et al. (2017), *Livre blanc du Consortium 3D SHS*.

Cinquième partie

Bibliographie générale

Bibliographie histoire des sciences et des techniques

ABÉGUILÉ-PETIT Catherine (2002), « Marine et industrie en Bretagne: l'arsenal de Brest et les établissements sous-traitants aux XVIIIème et XIXème siècles », thèse de doct., Rennes 2.

AGOSTINO Cortese (2007), « La corderia Inio : storia di una secolare tradizione veneziana », *Laguna Mare*, t. N°36, p. 26–29.

ALHEILIG A (1893), *Corderie: cordages en chanvre et en fils métalliques*, Gauthier-Villars et fils [etc](Paris).

ANDRÉ Bernard (2006), « Entre "réaffectation économique" et sens des lieux : retour sur des expériences passées et en cours », in, *Les friches industrielles, point d'ancrage de la modernité*, Histoire, mémoire et patrimoine, Lavauzelle.

ANDRIEUX Jean-Yves (1997), *Patrimoine et histoire*, Belin Paris.

ANGOT Céline (2013), « Gestes accomplis et paroles ouvrières: approche anthropologique du travail au plateau des Capucins à l'arsenal de Brest: culture ouvrière et savoir-faire entre mutations et patrimonialisation », thèse de doct., Brest.

ARMSTRONG William George (1859), « De l'emploi de l'eau comme moteur pour la manoeuvre des grues et autres appareils de ce genre destinés au chargement et au déchargement des fardeaux par M.William George Armstrong », *Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, t. Tome 6.

BALFET Hélène (1991), *Observer l'action technique: des chaınes opératoires, pour quoi faire?*, Editions du Centre national de la recherche scientifique.

BALLETTI Caterina, CALZAVARA Mauro, GUERRA Francesco et MAZZANTI Massimo (2013), « Walking through historical maps of Venice », *e-Perimetron*, t. 8, n° 4, p. 200–208.

BALLETTI Caterina et FERRIGHI Alessandra (2013), « ARSENALE, Another story, a new case study », *Giornale IUAV*, n° 123, p. 10–12.

BALLETTI Caterina et GUERRA Francesco (2016), « Historical Maps for 3D Digital City's History », *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, t. 51, n° 3, p. 115–126.

BAREL Yves (1977), « La ville avant la planification », *Prendre la ville, Anthropos*.

BEAUNE Sophie A de (2013), « De la beauté du geste technique en préhistoire », *Gradhiva. Revue d'anthropologie et d'histoire des arts*, n° 17, p. 26–49.

BEAUSOLEIL Oscar (1964), *Mécanique, ajustage, tournage, trempe*, Editions techniques Oscar Beausoleil, Paris.

BECKMANN Johann (1806), *Entwurf der algemeinen Technologie: aus dem Vorrathe kleiner Anmerkungen über mancherle gelehrte Gegenstände*, JF Röwer.

BELLAVITIS Giorgio (1983), *Arsenale di Venezia: storia di una grande struttura urbana*, Marsilio.

BETTIOL Giulia et al. (2010), « Preliminary Studies for the Recovering of the Armstrong, Mitchell & Co. Hydraulic Crane of the Arsenal of Venice », in *Advanced Materials Research*, t. 133, Trans Tech Publ, p. 519–524.

BIRD James Harold (1963), *The major seaports of the United Kingdom*, Hutchinson.

BLOCH Marc et FOSSIER Robert (1968), *La société féodale*, t. 7, Albin Michel Paris.

BLOCH-SÉE Lise (1935), *Le groupe des industries de l'acétylène et de la soudure autogène: ses organismes centraux*, Institute de Soudure Autogène.

BLONDEAU Etienne-Nicolas et DU CLAIRBOIS Honoré-Sébastien Vial (1783), *Encyclopédie méthodique, marine*, t. 160, Chez Panckoucke.

BONNECHERE Pierre (2011), *Profession historien*, Les Presses de l'Université de Montréal.

BORGNIS J-A (1818), *Traité complet de mécanique appliquée aux arts: Des machines employées dans les constructions diverses. 1818*, t. 3, Bachelier.

BOUILLON Didier, GUILLERME André, MILLE Martine et PIERNAS Gersende (2017), *Gestes techniques, techniques du geste*.

BRACCO Jean-Pierre, DUTOUR Olivier, CHENORKIAN Robert et DEFLEUR Alban (1992), « Gestes techniques et débitage expérimental. Elements de réflexion et potentialités de recherches dans l'étude du geste en préhistoire », *Treballs d'Arqueologia*, n° 1, p. 163–172.

BRAY Francesca (2016), « Liliane Hilaire-Pérez, La pièce et le geste. Artisans, marchands et savoir technique à Londres au xviiie siècle. Paris, Éditions Albin Michel,«L'Évolution de l'humanité», 2013 », *Artefact. Techniques, histoire et sciences humaines*, t. 4, n° 4, p. 403–406.

BRIL Blandine (2019), « Comment aborder la question du geste technique pour en comprendre l'expertise et l'apprentissage? », *Techniques & Culture. Revue semestrielle d'anthropologie des techniques*, n° 71, p. 78–91.

CAMBRY Jacques (1835), *Voyage dans le Finistère, ou, Etat de ce département en 1794 et 1795*, Come.

CAMPAIGNAC Antoine (1834), *Atlas du Génie Maritime par les officiers de ce corps*.

CARON François (2010), « La Dynamique de l'innovation », *Changement technique et changement social (XVIe-XXesiècle). Paris: Gallimard*.

CASONI Giovanni (1829), *Guida per l'Arsenale di Venezia*, Giuseppe Antonelli.

CASSAR Michael (2016), « The dockyard 160-ton hydraulic crane, guns, and an unlikely connection with Venice ».

CELETTI David (2003), « La canapa nell'economia veneta del cinque-seicento », thèse de doct., Université de Vérone.

CHAMOUX Marie Noëlle (1978), « La transmission des savoir-faire: un objet pour l'ethnologie des techniques? »

CHEDEVILLE (1852a), *Atlas des dessins et croquis joints au rapport sur la corderie du port de Brest*, Toulon: lithographie du génie maritime.

— (1852b), *Rapport sur la corderie du port de Brest, par Mr Chedeville, ingénieur de Marine*, Toulon: lithographie du génie maritime.

COAT P (2005), *L'arsenal de Brest*, Editions Sutton.

CONCINA Ennio (1991), « La casa dell'arsenale », *Storia di Venezia. Il mare, a cura di A. TENENTI, U. TUCCI, voi. XII, Roma*.

COTTE Michel (2009), « Les techniques numériques et l'histoire des techniques. Le cas des maquettes virtuelles animées », *Documents pour l'histoire des techniques. Nouvelle série*, n° 18, p. 7–21.

COUDURIER Marcel (1935), « ouverture du grand pont », *La Dépêche de Brest*, t. 49.

CROS Bernard (1984), *Les Formes de Pontaniou dans l'arsenal de Brest 1683-1904*.

— (2015), « Les corderies de la Marine Française aux XVIIe et XVIIIe siècles », *Neptunia*, t. 278, p. 35–44.

CROS Bernard, LITTOUX Jacques et RONOT Jacques (2005), *Brest face à la mer: trois siècles de marine et d'arsenal*, Éd." Le Télégramme.

CROUZET François (1997), « Naissance du paysage industriel », *Histoire, économie et société*, p. 419–438.

DAVIES Andrew (1996), « Innovation in large technical systems: the case of telecommunications », *Industrial and Corporate Change*, t. 5, n° 4, p. 1143–1180.

DE PROXY Daniel (1857), *Brest*, F. Alléguen.

DELBOS Geneviève et JORION Paul (1984), « La transmission des savoirs. 1984 », *Paris: éditions de la maison des Sciences de l'homme, chapitre*, t. 1.

DELOURMEL Louis (1923), *Histoire anecdotique de Brest: à travers les rues*, Editions de Bretagne.

DOYÈRE Ch (1895), *Notions élémentaires de mécanique du navire*, t. 2, A. Challamel.

DU MONCEAU Duhamel (1769), *Traité de la fabrique des manoeuvres pour les vaisseaux: ou, L'art de la corderie perfectionné*, chez Desaint.

DUCRUET César (2005), « Structures et dynamiques spatiales des villes portuaires: du local au mondial », *M@ ppemonde*, t. 77, n° 1.

DUVAL Marcellin (1953), *Mémoire sur le choléra-morbus asiatique : description du bagne de Brest : relation d'une épidémie de choléra*, impr. de E. Anner (Brest).

EDGERTON David (1998), « De l'innovation aux usages. Dix thèses éclectiques sur l'histoire des techniques », in *Annales. Histoire, sciences sociales*, t. 53, 4-5, Cambridge University Press, p. 815–837.

EDWARDS Alfred (6 octobre 1894), « Un accident au pont tournant-Réparations urgentes », *Le Matin : derniers télégrammes de la nuit*, p. 2–2.

ELLUL J (1977), *Le système technicien*, éditions Calmann-Lévy, Paris.

EMPORIO-PITTORESCO (1869), « Ponte levatoio di Brest », *L'emporio pittoresco e l'illustrazione universale giornale illustrato*, t. X, p. 358–359.

ENGESTRÖM Yrjö (2014), *Learning by expanding*, Cambridge University Press.

ERRERA A et ZANON G (1872), *L'industria navale e le sue industrie attinenti alla esposizione marittima di Napoli del 1871*.

EYMIN E (1865), *Les Ports militaires de la France: Brest*, t. 1, Challamel ainé Arth.Bertrand.

EYROLLES Léon (1911), *Exposition internationale des industries et du travail de Turin 1911: groupe VI, classe 35,36,37 ; Travaux publics; République française; ministère du commerce et de l'industrie*, Comité français des expositions à l'étranger.

FEBVRE Lucien (1935), « Réflexions sur l'histoire des techniques », in *Annales d'histoire économique et sociale*, t. 7, 36, Cambridge University Press, p. 531–535.

FISCHER Lewis R et JARVIS Adrian (2017), *Harbours and havens: essays in port history in honour of Gordon Jackson*, Oxford University Press.

FOOT Kirsten A (2014), « Cultural-historical activity theory: Exploring a theory to inform practice and research », *Journal of Human Behavior in the Social Environment*, t. 24, n° 3, p. 329–347.

FOURNIER Patrick (2005), « Une histoire des techniques pour quoi faire? Quelques orientations pour la période moderne. », *Siècles. Cahiers du Centre d'histoire, Espaces et Cultures*, n° 22, p. 95–107.

FRASCA Francesco (2012), *Il potere marittimo in età moderna. Da Lepanto a Trafalgar*, Lulu. com.

GARÇON Anne-Françoise (2006), « Les techniques et l'imaginaire », *Hypothèses*, t. 9, n° 1, p. 221–228.

GARÇON Anne-Françoise (2015), « Des modes d'existence du geste technique », *e-Phaıstos. Revue d'histoire des techniques/Journal of the history of technology*, t. 4, n° IV-2, p. 84–92.

GASNIER Marina (2006), « Une approche territoriale des friches industrielles », in, *Les friches industrielles, point d'ancrage de la modernité*, Histoire, mémoire et patrimoine, Lavauzelle, p. 125–130.

— (2011), *Patrimoine industriel et technique. Perspectives et retour sur 30 ans de politiques publiques au service des territoires*, Lieux Dits.

GÉNIE-CIVIL (1885), « Grues hydrauliques mobiles », *Le Génie civil : revue générale des industries françaises et étrangéres*, p. 363–364.

GILLE Bertrand (1980), *Les mécaniciens grecs: la naissance de la technologie*.

GRANIER H (1992), « Le lieutenant de vaisseau Charles Gervaise et l'ingénieur du Génie Maritime Victor Gervaise », *Le monde de Dinan*, t. XII.

GRÉHAN Amédée (1855), *La France maritime*, Dutertre.

HACHEZ-LEROY Florence (2017), « Un défi d'avenir : le patrimoine industriel », *Entreprises et histoire*, n° n°87, p. 5–13.

HATOT Thierry (1999), *Bâtisseurs au Moyen âge*, t. 2, L'Instant durable.

HAUSER A (1886), *Cours de construction navale professé à l'École d'application du génie maritime*, Imprimerie E. Bernard et Cie, Paris.

HERSENT H (1895), *Exposition internationale universelle d'Amsterdam*, Impr.de Chaix,Paris.

HILAIRE-PÉREZ Liliane (2013), *La pièce et le geste: artisans, marchands et savoir technique à Londres au XVIIIe siècle*, Albin Michel.

HOCQUET Jean-Claude (2011), « L'arsenal de Venise. Créations, modernisations, survie d'une grande structure industrielle », *Dix-septieme siecle*, n° 4, p. 627–638.

HOYLE Brian S (1968), « East African Seaports: An application of the concept of'anyport' », *Transactions of the Institute of British Geographers*, p. 163–183.

HOYLE Brian Stewart (1989), « The port-City interface: Trends, problems and examples », *Geoforum*, t. 20, n° 4, p. 429–435.

HUGHES Thomas Parke (1993), *Networks of power: electrification in Western society, 1880-1930*, JHU Press.

JACKSON Gordon (2007), « Early Modern European Seaports Studies: Highlights and Guidelines », *European Seaport Systems in the Early Modern Age*, p. 8.

JACOB C (2011), « Pour une anthropologie historique des savoirs », in *Conférence de la société française pour l'histoire des sciences de l'homme, Paris, EHESS*.

JACOMY Bruno (2015), *Une histoire des techniques*, Le Seuil.

JAL Augustin (1848), *Glossaire nautique: répertoire polyglotte de termes de marine anciens et modernes*, t. 2, Firmin Didot.

JOCKEY Philippe (1998), « Les représentations d'artisans de la pierre dans le monde gréco-romain et leur éventuelle exploitation par l'historien », *Topoi. Orient-Occident*, t. 8, n° 2, p. 625–652.

KASSEL Gilles (2009), « Vers une ontologie formelle des artefacts », in *20es Journées Francophones en Ingénierie des Connaissances*, 12–pages.

KOBILJSKI Aleksandra, HILAIRE-PÉREZ Liliane et CARNINO Guillaume (2016), *Histoire des techniques: Mondes, sociétés, cultures (XVIe-XVIIIe siècle)*, Presses Universitaires de France.

LAMY Yvon (1987), *Hommes de fer en Périgord au XIXe siècle*, La Manufacture.

LANE Frederic Chapin (1932), *The rope factory and hemp trade of Venice in the fifteenth and sixteenth centuries*.

LAUBÉ Sylvain (2018), « Pour une histoire anthropologique des paysages culturels industriels: le méta-modèle ANY-ARTEFACT et ses applications en humanités numériques ».

LAUBE Sylvain, GARLATTI Serge et QUERREC Ronan (2017), « Histoire des paysages culturels industriels et humanités numériques: le modèle d'activité humaine ANY-ARTEFACT », *"Capitalismo en el desierto: Materialidades, población y territorios en Atacama (ss. XIX-XXI)", III Jornada de Antropologıa e Historia*.

LAUBE Sylvain, QUERREC Ronan, GARLATTI Serge et MAISEL Éric (2016), « Un exemple de paysage culturel portuaire: le pont tournant de Brest en réalité virtuelle », in.

LAUBÉ Sylvain, ROHOU Bruno et GARLATTI Serge (2014), « Humanités numériques et web sémantique: de l'intérêt de la modélisation des connaissances en histoire des sciences et des techniques pour une histoire comparée des ports de Brest (France) et Mar del Plata (Argentine) », in.

LAUBÉ et SIRE Stéphane (2007), « Histoires autour de la maquette du pont tournant de Brest », *Neptunia*, t. 247, p. 48–53.

LAVOIE Marie (2014), « Les enjeux de la patrimonialisation dans la gestion du développement économique: un cadre conceptuel », *Sociétes*, n° 3, p. 137–151.

LEE Sung-Woo, SONG Dong-Wook et DUCRUET César (2008), « A tale of Asia's world ports: the spatial evolution in global hub port cities », *Geoforum*, t. 39, n° 1, p. 372–385.

LEMOINE Bertrand (1983), *Le grand Oeuvre. Photographies des grands travaux, 1860-1900*.

LEPELLETIER Almire (1853), *Voyage en Bretagne, illustré de vues prises sur les lieux : avec un résumé des fastes de cette province, une histoire générale des bagnes et l'iconographie des principaux types de forçats étudiés à la chiourme de Brest*, Plon freres (Paris).

LEVOT Prosper Jean (1864), *Histoire de la ville et du port de Brest*, t. 1, Selbstverl.

MARINI N (1876), « La fabbrica di Sir William Armstrong », *Rivista Marittima*, t. 1.

MARNOT Bruno (2011), *Les grands ports de commerce français et la mondialisation du XIXe siècle:(1815-1914)*, Presses de l'Université Paris-Sorbonne.

MARTINI Felice (1877), *Progetti e lavori pel riordinamento ed ingrandimento dell'Arsenale marittimo di Venezia*, Stabilimento tipografico di G. Antonelli.

MAUSS Marcel (2004), « Les techniques et la technologie », *Revue du MAUSS*, n° 1, p. 434–450.

MÉMAIN René (1937), *La marine de guerre sous Louis XIV: Le Matériel. Rochefort, arsenal modèle de Colbert*, Hachette.

MERCIER Alain (2018), *Le conservatoire des arts et métiers des origines à la fin de la restauration (1794-1830)*, Snoeck, Le CNAM.

MILLE Martine et PETIT Joëlle (2014), « La vie du geste technique. Approche pluridisciplinaire », *e-Phaistos. Revue d'histoire des techniques/Journal of the history of technology*, t. 3, n° III-1, p. 43–58.

MITCHELL Nora, RÖSSLER Mechtild et TRICAUD Pierre-Marie (2011), *Paysages culturels du patrimoine mondial: guide pratique de conservation et de gestion*, UNESCO.

MONTIER DESLONGCHAMPS Louis Jean (1763), *Recueil de toutes sortes de machines, d'outils, et d'ustensiles, en usages pour la construction et carene des Vaisseaux et de tout ce qui a rapport à leurs armements dans un Arsenal de Marine, Brest*, Toulon: lithographie du génie maritime.

MORGAN Frederick Wallace (1952), *Ports and harbours*, Hutchinson's University Library.

LA-NATURE (1893), « La grue de 160 tonnes de Toulon », *La Nature*, t. 21, p. 197–198.

NAVIGAZETTE (1906), « Chroniques Marine Militaire », *Navigazette*, p. 4–5.

NOBLE David (1985), *Forces of production: A social history of industrial automation*, Oxford University Press, New-York.

NORA Pierre et LE GOFF Jacques (1976), *Faire de l'histoire: Nouvelles approches*, Gallimard.

NOTICE-EXPOSITION-UNIVERSELLE (1862), *Notices sur les modéles, cartes et dessins relatifs aux travaux publics, réunis par les soins du ministére de l'agriculture, du commerce et des travaux publics / Empire français ; Exposition universelle à Londres en 1862*, E. Thunot et Cie (Paris).

NOTTEBOOM Theo E et RODRIGUE Jean-Paul (2005), « Port regionalization: towards a new phase in port development », *Maritime Policy and Management*, t. 32, n° 3, p. 297–313.

OLIVIER Laurent (2011), « Temps des vestiges et mémoire du passé: à propos des traces, empreintes et autres palimpsestes », *Le Genre humain*, n° 1, p. 309–326.

OPPERMAN CA (1867), *Visites d'un ingénieur à l'exposition universelle de 1867, notes et croquis, chiffres et faits utiles*, t. 2, J. Baudry.

OZANAM Jacques (1691), *Dictionnaire mathématique ou idée générale des mathématiques. Dans lequel l'on trouve outre les termes de cette science, plusieurs termes des arts et des autres sciences*, Michallet.

PETER Jean (1998), *Le port et l'arsenal de Brest sous Louis XIV*, Economica.

PICON Antoine (1992), « Gestes ouvriers, opérations et processus techniques. La vision du travail des encyclopédistes », *Recherches sur Diderot et sur l'Encyclopédie*, t. 13, n° 1, p. 131–147.

POLÓNIA Amélia (2018), « Les petits ports dans le système portuaire européen a l'âge moderne (XVIe.-XVIIIe. siècles) », *História: revista da Faculdade de Letras da Universidade do Porto*, t. 9.

PRADÈRE Onésime (1889), *Brest: son château, son port, sa rade et ses environs; guide du touriste*, Dumont.

RABARDEL Pierre (1995), *Les hommes et les technologies; approche cognitive des instruments contemporains*, Armand Colin.

RIMMER Peter J et al. (2007), « Port dynamics since 1965: Past patterns, current conditions and future directions », *Journal of International Logistics and Trade*, t. 5, n° 1, p. 75–97.

RIVISTA Marittima (1878), « Sistemazione dell'alberatura », t. 2.

RIVISTA-MARITTIMA (1876), « La grua da 160 tonnellate », *Rivista Marittima*, t. 2.

ROBINSON Ross (2002), « Ports as elements in value-driven chain systems: the new paradigm », *Maritime Policy & Management*, t. 29, n° 3, p. 241–255.

RODRIGUE Jean-Paul, COMTOIS Claude et SLACK Brian (2009), *The geography of transport systems*, Routledge.

ROHOU Bruno (2018), « Modélisation des ports de Brest (France), Rosario et Mar del Plata (Argentine) en tant que macro systèmes technologiques complexes: application à la modélisation des connaissances pour l'histoire des sciences et des techniques », thèse de doct.

ROZENBLAT Céline et al. (2004), « Les villes portuaires en Europe analyse comparative, Rapport final septembre 2004 ».

RUSSO François (1986), *Introduction à l'histoire des techniques*. Librairie scientifique et technique Albert Blanchard.

SAUPIN Guy (2016), « Mondialisation et modification des hiérarchies des grands ports de commerce, mi XVIIE–mi xixe siècle: une comparaison entre l'Espagne, la France et la Grande Bretagne », *Nuevo Mundo Mundos Nuevos. Nouveaux mondes mondes nouveaux-Novo Mundo Mundos Novos-New world New worlds*.

SCHATZBERG Eric (1994), « Ideology and technical choice: the decline of the wooden airplane in the United States, 1920-1945 », *Technology and Culture*, t. 35, n° 1, p. 34–69.

SCHWARTZ Yves (2007), « Un bref aperçu de l'histoire culturelle du concept d'activité », *Activités*, t. 4, n° 4-2.

SEIGNOBOS Charles (1909), *La méthode historique appliquée aux sciences sociales*, t. 12, F.Alcan.

SIGAUT François (1991), « Un couteau ne sert pas à couper mais en coupant. Structure, fonctionnement et fonction dans l'analyse des objets », *25 ans d'études technologiques en préhistoire: Bilan et perspectives*, p. 21–34.

— (2012), *Comment Homo devint faber: comment l'outil fit l'homme*, CNRS éd.

TAN Tai-Yong (2007), « Port cities and hinterlands: A comparative study of Singapore and Calcutta », *Political Geography*, t. 26, n° 7, p. 851–865.

VENTRICE Pasquale (non daté), « Arsenale museo d'arte e di sperimentazione tecnico-scientifica: conservare con l'inserimento di nuove tracce ».

VÉRIN Hélène (1993), *La gloire des ingénieurs*, Albin Michel.

VIGARIÉ André (1984), « Les ports de commerce français de 1965 à 1983 », *Norois*, t. 121, n° 1, p. 15–29.

WOO Su-Han, PETTIT Stephen J, KWAK Dong-Wook et BERESFORD Anthony KC (2011), « Seaport research: A structured literature review on methodological issues since the 1980s », *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, t. 45, n° 7, p. 667–685.

Bibliographie Humanités Numériques

ABOWD Gregory D et al. (1997), « Cyberguide: A mobile context-aware tour guide », *Wireless networks*, t. 3, n° 5, p. 421–433.

ALLIEZ Pierre et al. (2017), *Digital 3D Objects in Art and Humanities: challenges of creation, interoperability and preservation. White paper*.

ASTIC Isabelle, AUNIS Coline, DAMALA Areti et GRESSIER-SOUDAN Eric (2011), « A ubiquitous mobile edutainement application for learning science through play », in *Museum and the Web*.

BACH THANH LE Briand Président Henri et al. (2006), « Construction d'un Web sémantique multi-points de vue », thèse de doct., INRIA Sophia Antipolis.

BACHIMONT Bruno (2000), « Engagement sémantique et engagement ontologique: conception et réalisation d'ontologies en ingénierie des connaissances », *Ingénierie des connaissances: évolutions récentes et nouveaux défis*, p. 305–323.

BARREAU Jean-Baptiste et al. (2015), « An immersive virtual sailing on the 18th-century ship Le Boullongne », *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, t. 24, n° 3, p. 201–219.

BENOIT Serge, KILOUCHI Shadia, MICHEL Alain et POUYLLAU Stéphane (2009), « Usines 3D. La simulation pour questionner les sources et les vestiges de l'histoire industrielle », in *Virtual Retrospect 2009*, t. 4, Editions Ausonius, p. 31–40.

BERETTA Francesco (2016), *L'interopérabilité des données historiques et la question du modèle: l'ontologie du projet SyMoGIH*.

BERNERS-LEE Tim, HENDLER James et LASSILA Ora (2001), « The semantic web », *Scientific american*, t. 284, n° 5, p. 34–43.

BORGO Stefano et al. (2014), « Technical artifacts: An integrated perspective », *Applied Ontology*, t. 9, n° 3-4, p. 217–235.

BOWMAN Doug A et al. (2003), « Information-rich virtual environments: theory, tools, and research agenda », in *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, ACM, p. 81–90.

BRATIANU Constantin (2010), « A critical analysis of Nonaka's model of knowledge dynamics », in.

BRUNEAU Olivier et al. (2015), « SemanticHPST: applying semantic web principles and technologies to the history and philosophy of science and technology », p. 416–427.

BURKHARDT Jean-Marie (2010), « Conception, utilisation et formation: trois perspectives sur l'apprentissage en ergonomie des technologies émergentes », *Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Université de Provence*.

CANOPÉ (2017), « apprentissage á travers la réalité virtuelle ».

CHARLET Jean, BACHIMONT Bruno, MAZUEL Laurent et al. (2009), « OntoMenelas: motivation et retour d'expérience sur l'élaboration d'une ontologie noyau de la médecine », *Journées Francophones des Ontologies*.

CHARLET Jean, BACHIMONT Bruno et TRONCY Raphaël (2004), « Ontologies pour le Web sémantique », *Revue I3, numéro Hors Série, Web sémantique*, p. 43–63.

DENKER A (2017), « PALMYRA AS IT ONCE WAS: 3D virtual reconstruction and visualization of an irreplacable lost treasure », *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, t. 42.

DENKER Ahmet (2016), « VIRTUAL PALMYRA: 3D reconstruction of the lost reality of "the bride of the desert" », in *8th International congress on archaeology, computer graphics, cultural heritage and innovation*, Editorial Universitat Politècnica de València, p. 318–320.

DESCLÉS Jean-Pierre (1987), « Réseaux sémantiques: la nature logique et linguistique des relateurs », *Langages*, n° 87, p. 55–78.

DOERR Martin (2005), « The cidoc crm, an ontological approach to schema heterogeneity », in *Dagstuhl Seminar Proceedings*, Schloss Dagstuhl-Leibniz-Zentrum für Informatik.

DONIKIAN Stéphane (2004), « Modélisation, contrôle et animation d'agents virtuels autonomes évoluant dans des environnements informés et structurés », *Hdr, IRISA*.

EIDE et al. (2008), « Encoding cultural heritage information for the semantic web. procedures for data integration through cidoc-crm mapping », in *Open Digital Cultural Heritage Systems Conference*, t. 25, p. 47.

FLEURY Philippe et MADELEINE Sophie (2007), « Réalité virtuelle et restitution de la Rome antique du IVe siècle après J.-C. », *Histoire urbaine*, n° 1, p. 157–165.

FUCHS Philippe (1996), *Les interfaces de la réalité virtuelle*, éditeur AJIIMD.

GAUGNE Ronan et al. (2014), « Immersia, an open immersive infrastructure: doing archaeology in virtual reality ».

GAVISH Nirit et al. (2011), « Transfer of skills evaluation for assembly and maintenance training », in *BIO Web of Conferences*, t. 1, EDP Sciences, p. 00028.

GUIDI Gabriele et al. (2008), « 3D Modeling of Large and Complex Site Using Multi-sensor Integration and Multi-resolution Data. », in *VAST*, p. 85–92.

HAREL Idit Ed et PAPERT Seymour Ed (1991), *Constructionism*. Ablex Publishing.

HARZALLAH Mounira (2017), « Contributions à l'Ingénierie des Connaissances: Construction et Validation d'Ontologie et Mesures Sémantique », thèse de doct., Université de Nantes, Ecole Polytechnique.

HEILIG Morton L (1962), *Sensorama simulator*.

HERNANDEZ Nathalie (2005), « Ontologies de domaine pour la modélisation du contexte en recherche d'information », thèse de doct., Université Paul Sabatier-Toulouse III.

HOAREAU Charlotte, QUERREC Ronan, BUCHE Cédric et GANIER Franck (2017), « Evaluation of internal and external validity of a virtual environment for learning a long procedure », *International Journal of Human–Computer Interaction*, t. 33, n° 10, p. 786–798.

HUANG Chu-Ren (2016), « Endurant vs Perdurant: Ontological Motivation for Language Variations », in *Proceedings of the 30th Pacific Asia Conference on Language, Information and Computation: Keynote Speeches and Invited Talks*, p. 15–25.

IERONUTTI Lucio et CHITTARO Luca (2007), « Employing virtual humans for education and training in X3D/VRML worlds », *Computers & Education*, t. 49, n° 1, p. 93–109.

KHUNDAM Chaowanan (2019), « Evaluation of the virtual reality usage for the promotion of historical heritage », thèse de doct.

KRATHWOHL David R (2002), « A revision of Bloom's taxonomy: An overview », *Theory into practice*, t. 41, n° 4, p. 212–218.

LAROCHE Florent (2017), *KLM for Heritage*, Habilitation à diriger des recherches, Université de Nantes.

LAROCHE Florent, BERNARD Alain et COTTE Michel (2009), « Une vision produit-process et sa méthodologie dédiée à la sauvegarde du patrimoine technique et industriel sous une forme virtuelle », *Revue MICADO Ingénierie Numérique Collaborative*, 26–pages.

LAUBÉ Sylvain (2009), « Modélisation des documents numériques pour l'histoire des techniques: une perspective de recherche », *Documents pour l'histoire des techniques. Nouvelle série*, n° 18, p. 37–41.

LE CORRE Frédéric et al. (2014), « A Pedagogical Scenario Language for Virtual Learning Environment based on UML Meta-model », in *Proceedings of the 6th International Conference on Computer Supported Education-Volume 1*, SCITEPRESS-Science et Technology Publications, Lda, p. 301–308.

LÉGER Alain et CHARLET Jean (2019), « Applications du Web sémantique ».

LOURDEAUX Domitile (2001), « Réalité virtuelle et formation: conception d'environnements virtuels pédagogiques », thèse de doct., École Nationale Supérieure des Mines de Paris.

MARQUIS Pierre, PAPINI Odile et PRADE Henri (2014), « Panorama de l'intelligence artificielle », *Ses Bases Méthodologiques, ses Développements*, t. 1.

MASOLO Claudio et al. (2002), *The wonderweb library of foundational ontologies*, Citeseer.

MASOLO C et al. (2003), *The WonderWeb library of foundational ontologies and the DOLCE ontology. WonderWeb (EU IST project 2001-33052) deliverable D18*, rapp. tech., LOA-ISTC-CNR.

MESSAOUDI Tommy (2017), « Proposition d'une ontologie de domaine dédiée à l'annotation d'images spatialisées pour le suivi de la conservation du patrimoine culturel bâti », thèse de doct.

MIYASHITA Tsutomu et al. (2008), « An augmented reality museum guide », in *Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, IEEE Computer Society, p. 103–106.

MOUNIER Pierre (2018), *Les humanités numériques: une histoire critique*, Éditions de la Maison des sciences de l'homme.

NONAKA Ikujiro (1994), « A dynamic theory of organizational knowledge creation », *Organization science*, t. 5, n° 1, p. 14–37.

NONAKA lkujiro, TAKEUCHI Hirotaka et UMEMOTO Katsuhiro (1996), « A theory of organizational knowledge creation », *International Journal of Technology Management*, t. 11, n° 7-8, p. 833–845.

NORROS L (1991), « Development of operator's expertise in implementing new technologies », *Enander, A. et al.*

PAQUETTE Gilbert (2002), *Modélisation des connaissances et des compétences: un langage graphique pour concevoir et apprendre*, PUQ.

PERNIN Jean-Philippe et LEJEUNE Anne (2004), « Dispositifs d'apprentissage instrumentés par les technologies: vers une ingénierie centrée sur les scénarios », in *Technologies de l'Information et de la Connaissance dans l'Enseignement Supérieur et de l'Industrie*, Université de Technologie de Compiègne, p. 407–414.

PRADEL Camille (2013), « D'un langage de haut niveau à des requêtes graphes permettant d'interroger le web sémantique », thèse de doct., Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier.

QUERREC Ronan (2010), « Apprentissage de procédures en environnements virtuels », thèse de doct., Université Européenne de Bretagne.

QUERREC Ronan, LAUBE Sylvain et al. (2018), « Lab in Virtuo: un Environnement Virtuel Intelligent pour l'histoire et le patrimoine des paysages culturels industriels ».

QUERREC Ronan, TAOUM Joanna, NAKHAL Bilal et BEVACQUA Elisabetta (2018), « Model for Verbal Interaction between an Embodied Tutor and a Learner in Virtual Environments », in *18th ACM International Conference on Intelligent Virtual Agents (IVA'18)*, p. 197–202.

RAJAONARIVO Hiary Landy (2018), « Approche co-évolutive humain-système pour l'exploration de bases de données », thèse de doct.

RHEINGOLD Howard (1993), *La réalité virtuelle: quand l'illusion a toutes les apparences de la réalité*, Dunod.

RICKEL Jeff et JOHNSON W Lewis (1999), « Animated agents for procedural training in virtual reality: Perception, cognition, and motor control », *Applied artificial intelligence*, t. 13, n° 4-5, p. 343–382.

ROCHE Christophe (2005), « Terminologie et ontologie », *Langages*, n° 1, p. 48–62.

ROCHELEAU Mathieu (2011), « La modélisation 3D comme méthode de recherche en sciences historiques », in *Actes du 10e colloque international d'ARTEFACT*, p. 245–265.

SCHREIBMAN Susan, SIEMENS Ray et UNSWORTH John (2008), *A companion to digital humanities*, John Wiley & Sons.

STUART Rory et THOMAS John C (1991), « The implications of education in cyberspace », *Multimedia Review*, t. 2, n° 2, p. 17–27.

SUTHERLAND Ivan E (1968), « A head-mounted three dimensional display », in *Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I*, ACM, p. 757–764.

TAOUM Joanna, QUERREC Ronan, SAUNIER Julien et BLANDIN Bernard (2015), « EAST: Environnements d'Apprentissage Scientifiques et Techniques », in.

TCHOUNIKINE Pierre (2004), « Platon-1: quelques dimensions pour l'analyse des travaux de recherche en conception d'EIAH ».

THRUN Sebastian et al. (1999), « MINERVA: A second-generation museum tour-guide robot », in *Proceedings 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No. 99CH36288C)*, t. 3, IEEE.

TISSEAU Jacques (2001), « Réalité virtuelle: autonomie in virtuo », *Habilitation à diriger des recherches, Université de Rennes*, t. 1.

TRAUB David C (1991), « Simulated world as classroom: The potential for designed learning within virtual environments », *Virtual reality: Theory, practice, and promise*, p. 111–121.

TRAUM David et RICKEL Jeff (2002), « Embodied agents for multi-party dialogue in immersive virtual worlds », in *Proceedings of the first international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems: part 2*, ACM, p. 766–773.

VERGNIEUX Robert et al. (2017), *Livre blanc du Consortium 3D SHS*.

VEYRET Morgan, MAISEL Eric et TISSEAU Jacques (2009), « Guide virtuel autonome immergé dans un environnement réel dynamique », *Technique et Science Informatiques*, t. 28, n° 6-7, p. 831–856.

YILDIRIM Gürkan, ELBAN Mehmet et YILDIRIM Serkan (2018), « Analysis of Use of Virtual Reality Technologies in History Education: A Case Study. », *Asian Journal of Education and Training*, t. 4, n° 2, p. 62–69.

Bibliographie Médiation

ALLARD Michel et LEFEBVRE Bernard (2001), *La formation en muséologie et en éducation muséale à travers le monde*, Éditions MultiMondes.

BELAËN Florence (2003), « L'analyse de l'apparition d'un nouveau genre culturel dans les musées des sciences: les expositions d'immersion. », in *CIFSIC Bucarest 2003*.

CAILLET Élisabeth (2007), *Accompagner les publics: l'exemple de l'exposition" Naissances" au Musée de l'Homme: novembre 2005-septembre 2006*, Editions L'Harmattan.

CARRÉ Ann-Laure et LUCCHETTA Sylvain (2010), « Le fac-similé virtuel ou la remise en fonctionnement: deux choix distincts au sein des collections du Musée des Arts et Métiers. », *Utopia instrumentalis: fac-similés au musée*, p. 36.

CORDIER Jean-Pierre, DESSAJAN Séverine et EIDELMAN Jacqueline (2009), « Une culture scientifique et technique au service d'une co-construction des savoirs », *La Lettre de l'OCIM. Musées, Patrimoine et Culture scientifiques et techniques*, n° 126, p. 28–35.

DALE Edgar (1969), « Audiovisual methods in teaching ».

DAVALLON Jean (1999), *L'exposition à l'oeuvre: stratégies de communication et médiation symbolique*, L'harmattan.

— (2003), « La médiation: la communication en procès », *Médiation et information*, t. 19, p. 37–59.

— (2011), « Le pouvoir sémiotique de l'espace », *Hermès, La Revue*, n° 3, p. 38–44.

EIDELMAN Jacqueline, ROUSTAN Mélanie et GOLDSTEIN Bernadette (2008), *La place des publics. De l'usage des études et recherches par les musées*.

FOREST Michel et SGARD Clotilde (2008), *Éducation et action culturelle: politique et activités: guide pratique*, Ministère de la culture, de la communication et de la condition féminine.

GRAVARI-BARBAS Maria (2006), « La ville à l'ère de la globalisation des loisirs », *ESPACES-PARIS-*, t. 234, p. 48.

JACOBI Daniel (2013), « Exposition temporaire et accélération: la fin d'un paradigme? », *La Lettre de l'OCIM. Musées, Patrimoine et Culture scientifiques et techniques*, n° 150.

KAPLAN Jeffrey S (2010), « D. Lynn McRainey and John Russick, eds. Connecting Kids to History with Museum Exhibitions », *Teaching History: A Journal of Methods*, t. 35, n° 2, p. 108–110.

LOISIRS Espaces tourisme et (2012), « Les enfants au musée », *Revue ESPACES tourisme et loisirs*, n° n°302, p. 1–48.

MERLEAU-PONTY Claire (2010), *La transmission culturelle, nouveaux modes de médiation*.

POIRIER Philippe (2004), « Musées et politiques culturelles en France », *La Lettre de l'OCIM*, t. 3, p. 13–18.

POLI Marie-Sylvie (2012), *Que signifie réellement engager des médiations innovantes?*

RASSE Paul (2017), *Le musée réinventé-Culture, patrimoine, médiation*, CNRS.

ROCHELEAU Johanne (2012), *La Méthode @pte : accompagnement pédagogique en technologie éducative*.

SWARTOUT William et al. (2010), « Ada and Grace: Toward realistic and engaging virtual museum guides », in *International Conference on Intelligent Virtual Agents*, Springer, p. 286–300.

VERHAEGEN Philippe (2008), « Enjeux de la médiation corporelle au sein du média exposition », *Recherches en communication*, t. 29, n° 29, p. 81–100.

Autres ouvrages

BOURGUIGNON André (1997), « De la pluridisciplinarité à la transdisciplinarité », *Bulletin interactif du*.

CLAVERIE Bernard (2010), « Pluri-, inter-, transdisciplinarité: ou le réel décomposé en réseaux de savoir », *Projectics/Proyéctica/Projectique*, n° 1, p. 5–27.

DESTRÉE Pierre (2002), « Platon, La République. Traduction, introduction et notes par Georges Leroux ».

GLYKOS A (1999), « Approche communicationnelle du Dialogue Artiste/Scientifique, Note de synthèse pour l'Habilitation à diriger des recherches », *Paris: Université Diderot Paris*, t. 7.

PAQUELIN Didier (1999), *De l'image au savoir*, Xoana.

PASQUIER Florent (2018), « La transdisciplinarité, combien de divisions? »

RAMOGNINO Nicole (2014), « Les entités sociales: réflexions ontologiques. Discussion de l'ouvrage de Pierre Livet et Frédéric Nef Les Êtres sociaux. Processus et virtualité, Paris, Éditions Hermann, 2009 », *SociologieS*.

STOVEL Herb et al. (1998), *Risk preparedness: a management manual for world cultural heritage*.

TANAKA Shogo (2011), « The notion of embodied knowledge », *Theoretical psychology: Global transformations and challenges*, p. 149–157.

TRICOT Jean (1933), « Aristote. La Métaphysique », *Bibliothèque des textes philosophiques)*, t. 1966, p. 23.

Sixième partie

Sources historiques et entretiens

13.3 Sources Historiques

Archives Nationales, Paris

Série MAR/D - Matériel

MAR/D/2 - Travaux hydrauliques et bâtiments civils

MAR/D/2/23 à MAR/D/2/27. Brest. 1443-1789.

AN MAR/D/2/23 : Choquet de Lindu,A.,*«Description du port et Arsenal de Marine de Brest et tout ce qu'ils peuvent contenir»*, 8 novembre 1761,

AN MAR/D/2/23 : *«Projet d'estimation des ouvrages et bâtiments nécessaires pour l'agrandissement du port de Brest, ainsi que des fortifications indispensables pour sa sûreté»*, 1764.

AN MAR/D/2/23 : *«Mémoire de M.Beaussier lieutenant de port»* , 1er avril 1743,

AN MAR/D/2/23 : *Mémoire touchant aux droits de passage de Brest à Recouvrance et de Brest à Recouvrance par le sieur Ollivier seigneur de Rozarnou,* 26 avril 1694,

AN MAR/D/2/23 : *"Mémoire des établissements qu'il conviendrait de faire dans la ville et port de Brest pour la gloire de dieu et le service du Roy"*, 1726,

AN MAR/D/2/23 : Choquet de Lindu *"Description du port et Arcenal de Marine de Brest en tout ce qu'il peuvent contenir"*, 8 novembre 1761

AN MAR/D/2/24 : F° 76 à 83 : Dépenses faites ou à faire pour les ouvrages du port de Brest (1669-1675).

Service Historique de la Défense, Vincennes

Série DD - Matériels

Sous série DD2 - Travaux maritimes puis travaux hydrauliques

DD2 691 11 : Choquet de Lindu,*Plan de la ville, du port et de l'arsenal*,21 octobre 1771,

DD2 691 49 A : *"Projet pour batir une corderie au dessous de l'hôpital de la marine"*, 1744.

DD2 692 23 : *"Plan d'une partie de l'arcenal"*, 1743.

DD2 692 32 : *"Plan de l'anse de Pontaniou où sont commencée les nouvelles formes"*, 1747.

DD2 692 60 : *"Élévation de la forge neuve"*, 24 juillet 1789.

DD2 703 II 91 C : *"Projet du prolongement des grandes forges de construction navales*, 1831,

DD2 703 II 104 : *Pont de Brest à Recouvrance-Avant-projet*, 1836.

DD2 704 II 146 : Penfeld. - Projet de pont tournant à deux volées entre Brest et Recouvrance : plan. 1861.

DD2 704 II 152 : *"Projet de construction de nouvelles forges sur le plateau de Bordenave, au nord des ateliers des Capucins"*, 1861,

DD2 691 50 : *"Plan des deux corderies et du mûr de clôture derrière ces corderies"*, 1746.

Rapport et correspondance reçue et expédiée. Lettre du Ministre (minutes),Ports secondaires.

DD2 0091 : Rapport daté du 8 mars 1845.

Dossiers des ports, Arrondissement maritime de BREST, Ateliers des constructions navales

DD2 0913 : Rapport du 7 décembre 1839 adressé au préfet maritime par Trotté de la Roche, le directeur des Travaux Hydrauliques.

Bibliothèque site de Vincennes, Manuscrits du dépôt des cartes et plans (service hydrographique).

SH 146 : *Rapport à son altesse impériale le prince vice-roi d'Italie sur les travaux du port de Venise*, 1811.

SH 318 : Plans de machines destinées aux constructions navales, des diverses parties d'un vaisseau et des canons de marine, signés de Deslongchamps (1745-1759).

Série COLL : Fonds iconographique

Sous Série : Arsenaux, base navale et aéronavale, ports, côte et ville portuaires

MV5 COLL 27 : *"Port de Brest à la libération"*
MV 5 COLL 28 : *"Port de Brest à la libération"*

Fonds iconographique Jacques Prache

Brest, PA 22, cliché 8.

Bibliothèque Nationale de France

Département des cartes et plans

GE D-15718 : "Plan de Brest pour servir aux projet [sic] de 1768", 1768.

Service Historique de la Défense, Brest

Série G : Construction navales

Sous série 1G : Direction des constructions navales : correspondance, rapports, comptabilité (1858-1960)

1G 776 : Extrait du courrier de M.Neustadt pour M.Bayle, directeur des constructions navales, en date du 1er décembre 1859.

1G 785 : Note de M.Le directeur de l'établissement d'Indret au sujet des services ayant en charge les grues du Viaduc et de l'artillerie du port de Brest.

1G 790 : Chédeville A., Directeur de la Construction Navale, Rapport DCN, Exercice 1863, (1864).

1G 791 : Direction des constructions navales, Rapport annuel 1902.

1G 792 : Direction des constructions navales, Rapport annuel année 1903.

1G 796 : Direction des constructions navales, Rapport annuel année 1907.

1G 797 : Direction des constructions navales, Rapport annuel année 1908.

1G 799 : Direction des constructions navales, Rapport annuel année 1910.

1G 801 : Direction des constructions navales, Rapport annuel année 1912.

Série Fi - Fonds iconographiques

Sous-série 9 Fi : DCNS : Direction des constructions navales, systèmes et services.

9FI 2/1 : Grande grue électrique après les bombardements.
9 Fi/2/8 : La grue à mâter de Brest en 1860 (détail).

Archives départementales du Finistère, Quimper

Série Q : Domaine. Enregistrement. Hypothèques

Sous-série 1Q : Domaines Nationaux Fonds de l'administration de l'enregistrement et des domaines

1 Q 1557 : "Plan de Brest 1691" (Pour copie conforme au plan déposé dans les archives de la direction des travaux hydrauliques et bâtiments civils), 22 novembre 1830,

Série S : Travaux publics et transports

Sous série 3S : Navigation intérieure fleuves et canaux

3S Supplément art.1310 : Lettre du bureau des travaux publics à l'ingénieur en chef le 25 8bre 1861,

3S Supplément art.1310 : Lettre du ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics au préfet du Finistère, 5 mars 1862,

3S Supplément art.1310 : Rapport de l'ingénieur ordinaire des ponts et chaussées du département du Finistère,17 juin 1861,

3S Supplément art.1310 : Courrier du 14 juin 1861 du conducteur autorisé des Ponts et chaussées à l'ingénieur en tournée,

3S Supplément art.1310 : Courrier du 3 avril 1838 du bureau des travaux publics de la préfecture du Finistère à l'ingénieur en chef des ponts et chaussées,

3S Supplément art.1310 : Lettre du ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics au préfet du Finistère, 5 mars 1862,

3S Supplément art.131 : Tarifs des droits à percevoir au passage d'eau de Brest à Recouvrance arrêté par le Gouvernement,le 8 août 1849,

3S Supplément art.1310 : Cahier des charges de l'adjudication des droits à percevoir, pendant les années 1853, 1854, 1855,1856, 1857 et 1858, au passage d'eau de Recouvrance situé sur la rivière de Penfeld commune de Brest et arrondissement de Brest.

Archives municipales de Brest

Série : Fi - Documents Figurés

2Fi - Photographies Ville de Brest

2Fi07926 : *Grande grue électrique de l'arsenal*
2Fi14949 : *Arsenal de Brest en Penfeld (Inconnu),*

Série : Fi - Documents Figurés

3Fi - Cartes Postales

3Fi007-190 : *Brest Pot de Chambre de la Bretagne. - Pont National ou grand pont : dessin humoristique représentant les effets d'une bourrasque sur le pont tournant*

Archives d'état Venise

Série : Patroni e Provveditori

N°546 : "Pianta dell arsenale di Venezia", Zendrini,
N°542 : ""Memori intorno ai carcatori e filateri di tana dal 1764 al 1797", classeur 31.

Bibliothèque Nationale Marciana, Venise

GEO0001922. : Lazzari, Antonio (1798-1834), *"Interno dell'Arsenale. La Tana"*
GEO0003292 : Pividor, Giovanni (1812-1872), *"Officina detta la Tana"*

Musée Naval, Venise

Album «Esposizione Parigi» , Museo Navale Venezia, 1873
Gian Maria Maffioletti, Mappa dell'arsenale di Venezia, 1797,

Bibliothèque du Musée Correr, Venise

Série : Lodoli

N°54 : *"Canevi"*,

13.4 Entretiens

13.4.1 Entretiens forgerons

M.VOURCH, Entretien le 20 janvier 2017 à Guipavas, entretien mené par M.-M. ABIVEN et J.HAGEAUX.

M.ROUE, Entretien le 26 janvier 2017 à Guipavas, entretien mené par M.-M. ABIVEN et J.HAGEAUX.

13.4.2 Entretiens conducteurs de grues

M.BODREMON, Entretien le 17 octobre 2018 à Brest, entretien mené par M.-M. ABIVEN.

M.GUIDAL, Entretien le 19 octobre 2018 à Brest, entretien mené par M.-M. ABIVEN.

Septième partie

Annexes

La septième et dernière partie de cette thèse est consacrée aux annexes. La partie A concerne le guide regroupant de manière générique toutes les méthodologies développées dans le cadre de ces travaux, le guide KM-ACIL. La partie B regroupe tous les entretiens effectués dans le cadre de ce projet ainsi que les scénarios de médiation.

Annexe A

Synthèse des travaux à travers le guide méthodologique : La méthode KM-ACIL

A.1 Introduction

Les méthodologies développées dans le cadre de cette thèse regroupant Histoire des Sciences et des Techniques (Voir chapitres 5, 6, 7 et 8) et Humanités Numériques (Voir chapitres 9, 10 et 11) ont permis le développement du guide méthodologique KM-ACIL (*"**K**nowledge **M**odelling dedicated to **A**ctivities in **C**ultural **I**ndustrial **L**andscapes"*). Ce guide, permet de concevoir un Lab in Virtuo consacré à l'étude des paysages culturels industriels dans un contexte de médiation culturelle.

Comme il est précisé dans le chapitre 10, le processus de conception du Lab in Virtuo et de la méthode KM-ACIL fonctionne grâce à un méta-modèle générique (partie bleue sur la figure 10.3) destiné à étudier tous les paysages culturels industriels. Ce méta-modèle générique est composé d'une ontologie générique, ANY-ARTEFACT-O qui est destinée à étudier l'activité. Celle-ci est alignée avec MASCARET un méta-modèle représentant les connaissances ce qui permet de générer de manière automatique l'EVI. Ces méta-modèles génériques sont figés et peuvent être utilisés pour tous les cas d'étude relatifs aux paysages culturels industriels.

Le guide méthodologie KM-ACIL, s'adresse à des acteurs pouvant appartenir à différents domaines :

- Des chercheurs provenant de différents domaines de recherche (historien, archéologue, anthropologue, ethnologue...)
- Des experts en patrimoine
- Des acteurs locaux non académiques (collectivités territoriales, municipalité, région...)
- Des experts en médiation, des chercheurs ou des acteurs locaux.
- Des étudiants de master ou des doctorants en Histoire des Sciences et des Techniques

La méthode KM-ACIL est composée de sept étapes (Voir figure A.1) qui impliquent des travaux de modélisation en Histoire des Sciences et des Techniques et en Informatique.

Ces différentes étapes de la méthode KM-ACIL impliquent plusieurs rôles :

- **Le chercheur en histoire :** Ce rôle participe aux étapes 1,2 et 3. Il peut, s'il a des compétences en informatique, participer aux étapes 4 et 5.
- **L'informaticien :** Ce rôle est impliqué dans les étapes 4, 5 et 6. Les étapes 4 et 5 peuvent être effectuées avec un chercheur en histoire. L'informaticien participe également à l'étape 7 pour la scénarisation des activités avec un expert en médiation.
- **L'expert en médiation :** Ce rôle participe à l'élaboration des scénarios de médiation, en collaboration avec un informaticien (Étape 7)

Ces étapes, sont présentées en détail dans le cadre de ce chapitre. La méthode KM-ACIL nécessite l'utilisation d'outils pour la construction des ontologies, le développement de l'environnement virtuel ou les scénarios de médiation. Ce guide présente la méthode avec des outils particuliers mais propose toutefois d'autres possibilités.

Pour les besoins du développement du Lab in Virtuo appliqué à la médiation culturelle, le démonstrateur retenu est la forge de l'arsenal de Brest. Certains exemples de ce guide font donc référence à ce cas d'étude.

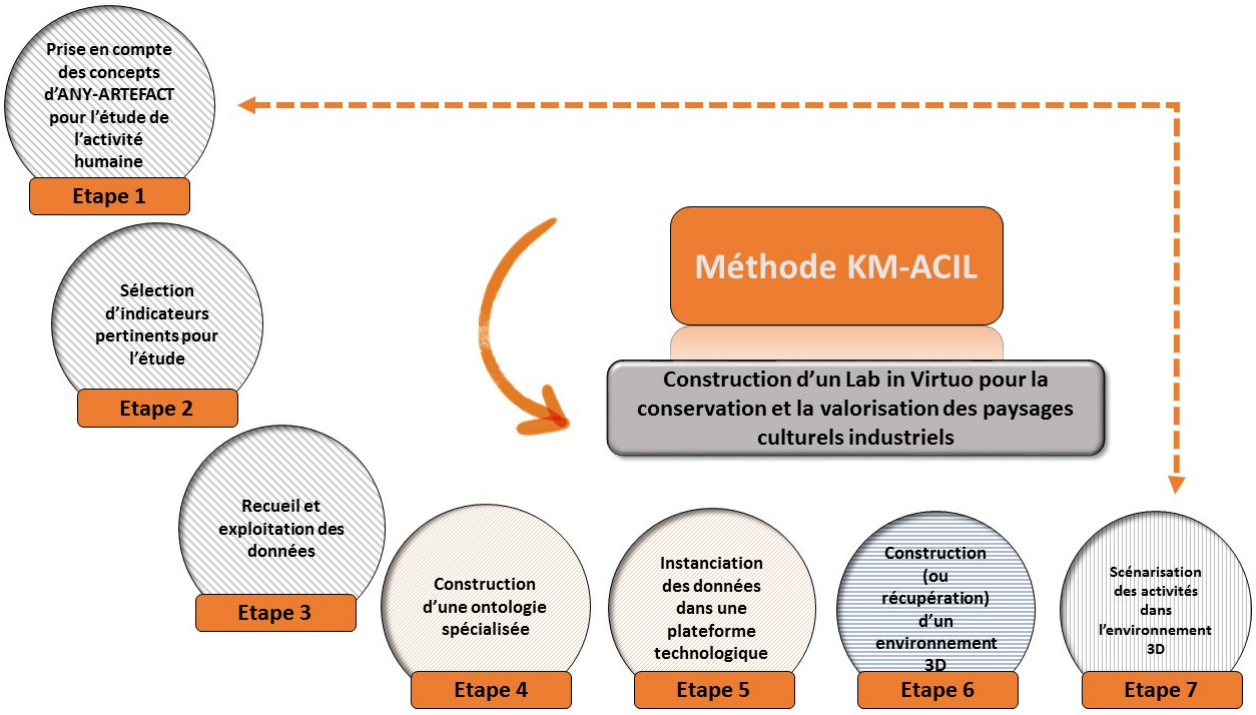


FIGURE A.1 – Les objectifs de la méthode KM-ACIL

Nous allons dans ce chapitre, nous intéresser à l'analyse des données historiques (Étapes 1, 2 et 3 de la figure A.1), à la représentation des données (Étapes 4 et 5 de la figure A.1). et enfin, nous terminerons avec le développement de l'Environnement Virtuel Informé (Étapes 6 et 7 de la figure A.1).

A.2 L'analyse des données historiques

La première étape de conception d'un Lab in Virtuo est la phase de recueil de données. Dans le cadre de la méthode KM-ACIL, nous proposons de guider ce recueil au moyen du méta-modèle ANY-ARTEFACT (Voir chapitre 5).

Ce méta-modèle SHS est doté de deux composantes :

- Un modèle d'activité s'appuyant sur les concepts d'artefact, d'acteur et de savoir (Voir figure 5.1)
- Le modèle HST-ARSENAL permettant d'étudier les cycles de vie des artefacts (Voir figure 5.5)

L'analyse des données historiques correspond aux étapes 1,2 et 3 de la figure A.1.

A.2.1 L'étude de l'activité

La composante modèle d'activité d'ANY-ARTEFACT implique l'étude et la définition des concepts suivants (Étape 1 figure A.1) :

- **La notion d'acteur :** L'analyse de la notion d'activité humaine conduit à se questionner sur les différentes catégories d'acteurs impliqués. Il existe plusieurs typologies d'acteurs : l'être humain en tant que personne, les groupes, c'est-à-dire plus

de deux individus présentant une organisation sociale, et enfin les personnages qui représentent des statuts ou des postes occupés,

- **La notion d'artefact :** Un artefact est une production humaine ayant une fonction et une capacité à réaliser une action, ainsi qu'un usage c'est à dire l'activité concrète pour laquelle l'artefact a été créé,
- **La notion de savoirs :** Les savoirs liés à l'activité humaine peuvent être de différents types : théorique ou procédurale.

L'étude des notions d'acteur, d'artefact ainsi que de savoirs a pour objectif d'étudier l'activité humaine liée aux paysages culturels industriels :

- **La notion d'activité :** L'activité est considérée comme une succession d'événements impliquant les notions d'acteurs, d'artefacts ainsi qu'un système de savoirs. L'activité se déroule dans le temps et est également située spatialement.

L'étude de ces notions est essentielle dans le cadre de la méthode KM-ACIL. En effet, le recueil ainsi que l'analyse des données historiques permettent de mettre à jour les informations liées aux notions d'ANY-ARTEFACT afin d'effectuer une analyse pertinente sur l'activité.

A.2.2 L'étude des cycles de vie des artefacts

Dans le cadre de la méthode KM-ACIL et de l'étude des paysages culturels industriels, l'étude des systèmes techniques et de l'activité associée est centrale.

Pour permettre cette étude, nous proposons l'utilisation de la seconde composante du méta-modèle ANY-ARTEFACT, le modèle HST-ARSENAL. Le modèle HST-ARSENAL, permet d'étudier les cycles de vie des indicateurs liés à l'étude (Étape 1 figure A.1). Au même titre que pour le modèle d'activité, HST-ARSENAL permet de mettre en évidence des informations essentielles pour l'étude des indicateurs et de l'activité associée.

Les cycles de vie des artefacts sont composés de 5 étapes visibles sur la figure 5.5.

- **Étape 1 :** Cette étape correspond à l'émergence d'un besoin ou d'un problème socialement posé ainsi que le choix d'une solution.
- **Étape 2 :** Il s'agit là du choix d'une solution afin de pallier à l'étape 0. Un acteur propose donc des solutions technologiques pour faire face à un besoin et/ou à un problème. Cette étape correspond également à la concrétisation de ce choix, c'est-à-dire la construction de l'artefact.
- **Étape 3 :** Cette étape concerne les usages de l'artefact. Il est ici question de la phase d'utilisation de l'artefact, des modifications qui ont été effectuées comme des améliorations, des changements d'énergie ou la mise en place de systèmes de sécurité. Mais cette étape concerne également les acteurs concernés et les savoir-faire associés.
- **Étape 4 :** Cette phase du cycle de vie de l'artefact est celle de l'obsolescence. L'artefact ne répond plus aux besoins. Cette phase peut conduire à une destruction de l'artefact.
- **Étape 5 :** Cette dernière étape est celle de la "patrimonialisation".Il s'agit d'un processus socio-culturel destiné à transformer un artefact en objet culturel dans le but de le conserver ou de le valoriser.

Ces cinq étapes correspondent aux cycles de vie d'un artefact et permettent de comprendre son évolution sur une période donnée. L'utilisation de ce modèle offre en quelque sorte un cadre à l'étude et permet de n'omettre aucune information. Ce modèle est également utile dans le cadre d'une étude comparée entre plusieurs indicateurs du même type. Au même titre que le modèle d'activité ANY-ARTEFACT, le modèle HST-ARSENAL permet d'organiser l'étude historique.

A.2.3 La sélection d'indicateurs

Pour l'étude de macro-systèmes technologiques complexes il est nécessaire de sélectionner des indicateurs pertinents (Voir étape 2 figure A.1). Ceux-ci permettent la périodisation du lieu et font l'objet d'une étude poussée de leurs propriétés et de leur évolution dans le temps. Dans le cadre d'une étude de paysages portuaires, voici des exemples d'indicateurs pertinents :

- Les quais : La longueur et la profondeur des quais sont des propriétés pertinentes pour l'étude des ports. En effet, ces propriétés sont liées directement avec les navires que l'on souhaite recevoir. Plus un quai est long et profond plus le navire est imposant.
- Les engins de levage : Le nombre de grues, la capacité de levage ou encore l'énergie utilisée sont des propriétés pertinentes pour l'étude des ports.
- Des unités de production industrielle : Le type de production, les systèmes technologiques employés...

En complément des propriétés énoncées, ces indicateurs sont étudiés en fonction des usages permettant une étude ciblée sur l'activité.

A.3 La représentation des données

Le recueil de données effectué lors des étapes 1, 2 et 3 de la figure A.1, permet ensuite de travailler sur la représentation de ces données afin d'en faire un modèle (Étapes 4 et 5 de la figure A.1). Cette représentation des données se fait au moyen d'une ontologie, mais peut tout de même faire l'objet d'un travail préparatoire au moyen de cartes conceptuelles.

A.3.1 Les cartes conceptuelles

Après avoir pris en compte les concepts importants du méta-modèle ANY-ARTEFACT et procédé au travail de recueil de données historiques, le travail d'exploitation de ces données peut débuter afin de formaliser les informations nécessaires à l'étude de l'activité dans les paysages culturels industriels.

Le chercheur peut alors procéder à un travail préparatoire à l'aide de cartes conceptuelles. Ce genre de représentation graphique des connaissances permet de mettre en évidence des classes ainsi que les liens qui les unissent. La conception de carte de ce type permet au chercheur de mettre en évidence les informations importantes du sujet d'étude tout en veillant à ce que celles-ci soient liées aux notions d'ANY-ARTEFACT (activité, acteur, artefact, savoirs). Les informations présentes dans ces représentations graphiques pourront par la suite être organisées dans l'ontologie spécialisée.

L'usage des cartes conceptuelles peut s'avérer utile pour les chercheurs en histoire qui n'ont pas, ou peu de connaissances en matière de construction d'ontologies (Étape

4 figure A.1)) mais l'étape de construction de l'ontologie spécialisée peut tout de même s'effectuer sans l'élaboration de cartes conceptuelles.

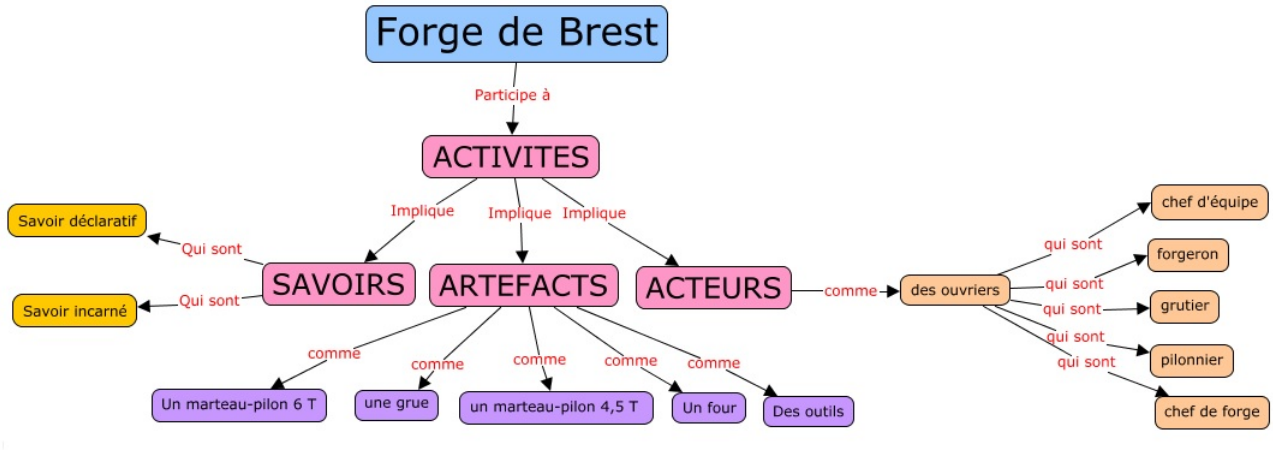


FIGURE A.2 – Exemple de carte conceptuelle sous CMapTools

Les cartes conceptuelles comme celle de la figure A.2 permettent d'organiser les données en fonction des notions d'ANY-ARTEFACT. Dans le cadre du développement du Lab in Virtuo appliqué au démonstrateur des forges de Brest, des cartes conceptuelles ont été produites sous le logiciel CmapTools [1] qui permet de créer des arborescences autour de plusieurs notions.

A.3.2 L'ontologie spécialisée

Les étapes de la méthode KM-ACIL impliquent la construction d'une ontologie spécialisée sur le domaine étudié (Étape 4 de la figure A.1). Il s'agit d'une extension de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O. Elle permet d'affiner la représentation de concepts moins génériques qui s'appliquent à l'étude de cas.

Pour effectuer cette méthode il est nécessaire d'avoir recours à un éditeur d'ontologies comme Protégé [2], Cognitium [3], OntoEdit [4] ou encore NeOn Toolkit [5].

Le logiciel utilisé dans le cadre du développement du Lab in Virtuo et de la méthode KM-ACIL est Protégé. Développé par l'université de Standford, il s'agit du logiciel le plus connu et le plus simple d'utilisation.

La création de classes

Pour commencer l'ontologie spécialisée, il faut partir d'une classe de l'ontologie générique et lui ajouter des sous-classes.

Le but de l'ontologie spécialisée est de compléter ANY-ARTEFACT-O (Voir chapitre 10) avec des concepts provenant du domaine étudié. Par exemple, dans le cadre du démonstrateur des forges de Brest, l'ontologie spécialisée "Forge-o" (Voir chapitre 11) a développé tous les concepts relatifs au domaine de la forge.

L'ontologie spécialisée implique :

1. https://cmaptools.fr.softonic.com/
2. https://protege.stanford.edu/
3. https://www.cognitum.eu/semantics/FluentEditor/
4. http://www.semafora-systems.com/
5. http://neon-toolkit.org/wiki/Main_Page.html

1. L'identification dans les sources primaires et secondaires relatives aux artefacts, de leurs différentes classes et propriétés afin d'élaborer une périodisation en lien avec ANY-ARTEFACT.
2. L'identification des "acteurs", des "savoirs" et des "pratiques culturelles industrielles" ainsi que leurs différentes sous-classes.
3. L'identification des propriétés pertinentes pour chaque classe d'"acteurs", de "savoirs" et "pratiques culturelles industrielles".

L'usage de cartes conceptuelles en tant que travail préparatoire aura déjà permis de "faciliter" les points 2 et 3.

La création des propriétés

La création de propriétés permet de créer des liens entre les différentes classes.

Dans Protégé, cela se fait en attribuant une classe "domain" et une "range" à la propriété :

- Le "Domain" précise la classe de la propriété.
- Le "Range" définit le domaine de valeur d'une propriété.

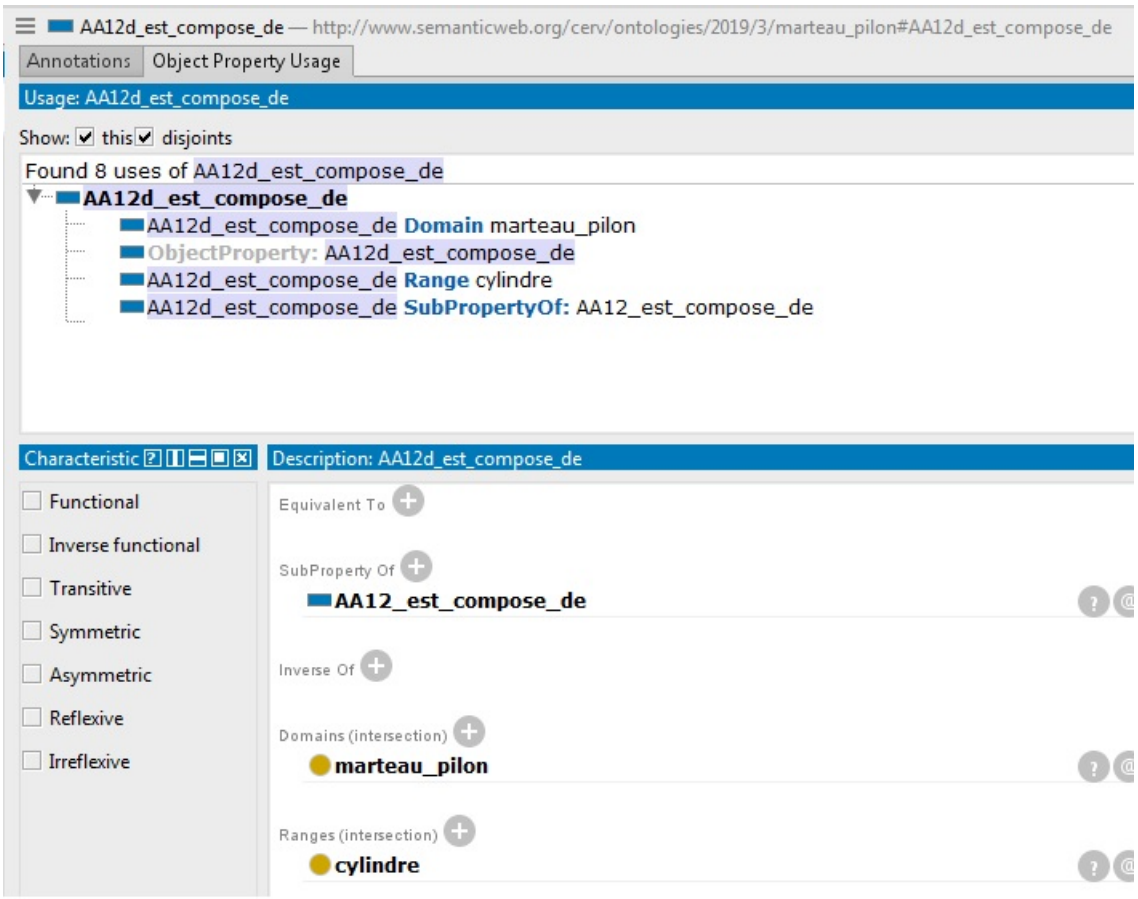


FIGURE A.3 – L'attribution des propriétés dans l'ontologie

La figure A.3 est un exemple de création de propriétés. La propriété "AA12d_est_compose_de" lie les classe "marteau_pilon" et "cylindre.

Pour lier les classes de l'ontologie spécialisée, il est possible d'utiliser les propriétés de l'ontologie ANY-ARTEFACT-O. Mais selon le domaine étudié, il est nécessaire de créer des

propriétés particulières. Certaines propriétés peuvent être utilisées à plusieurs reprises. Dans protégé et selon les recommandations OWL, il n'est pas recommandé de mettre plusieurs "Range" et "Domain" pour une seule propriété. Il faut donc créer une nouvelle propriété.

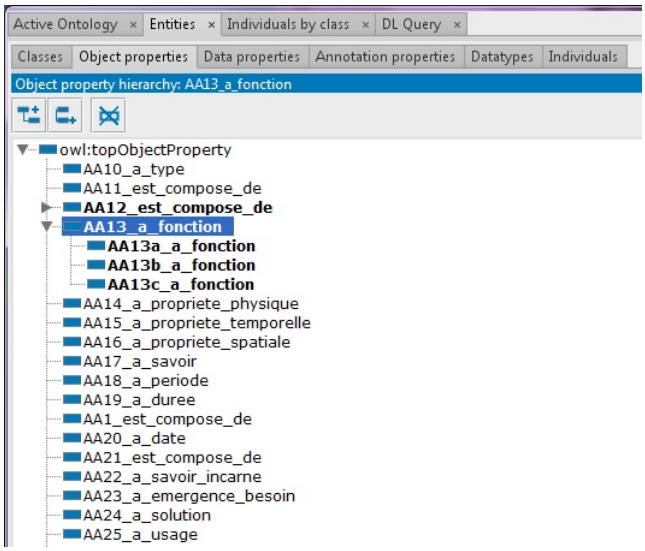


FIGURE A.4 – La création des propriétés dans Protégé

La figure A.4 montre un exemple de l'ontologie générique et de l'ontologie spécialisée "Forge-o". Les propriétés en gras sont celles de "Forge-o". La propriété "a_fonction" est nécessaire plusieurs fois donc nous avons choisi de leur attribuer des préfixes différents plutôt que de changer le terme "a_fonction" pour qu'elles restent facilement identifiables. Chacune de ces propriétés peut ensuite être utilisée pour un "Domain" et un "Range".

Les propriétés entre les concepts peuvent relier deux classes de cette ontologie spécialisée mais aussi une classe de cette ontologie à l'une d'ANY-ARTEFACT-O puisqu'elles sont écrites en continuité, l'une étant un raffinement de l'autre. Ces deux ontologies peuvent ainsi être fusionnées pour décrire avec précision l'ensemble du cas d'utilisation

A.3.3 L'instanciation

L'instanciation correspond à l'indexation des données relatives au sujet (Étape 5 figure A.1). Ces instanciations peuvent être effectuées directement dans le logiciel Protégé.

Dans le cadre du développement d'ontologies consacrées aux paysages culturels industriels, il peut s'avérer utile de publier les sources analysées concernant le domaine de recherche sur un portail consacré à l'histoire ou au patrimoine. Ceux-ci permettent de rendre ces données consultables et réutilisables. Parmi les portails, nous pouvons citer, entre autres, ARCHES [6] et SyMoGIH (SYstème de MOdélisation et de Gestion de l'Information Historique) [7].

Pour la méthode KM-ACIL et le développement de l'EVI du Lab in Virtuo, l'instanciation via ce type de portail permet de créer une base de données sur le domaine étudié et de faciliter l'instanciation.

L'outil utilisé dans le cadre de ces travaux est ARCHES. Développée par le Getty Conservation Institute et le World Monuments Fund, ARCHES est une plateforme logicielle open-source géospatiale dédiée à l'inventaire et à la gestion du patrimoine culturel.

6. https://www.archesproject.org/
7. https://www.symogih.org

Cet outil permet de créer une base de données composée d'éléments ayant une même structure et qui pourra donc être interrogée automatiquement par un ordinateur.

L'enregistrement des données se fait au moyen d'un formulaire dont la structure correspond aux classes et aux propriétés de l'ontologie. Un script a été créé dans Protégé afin de générer automatiquement les formulaires à partir de l'ontologie dans ARCHES.

Créer de nouveaux modèles (formulaires) sur ARCHES

Les modèles sont des formulaires construits à partir de l'ontologie choisie et constituent l'IHM (Interface Homme Machine) pour la création de ressources interrogeables par un logiciel.

Dans le cadre du développement du Lab in Virtuo un plug-in Protégé a été créé afin de générer automatiquement des formulaires utilisables par ARCHES (Voir figure A.5). Ceux-ci constituent une première base mais il est possible de les modifier en fonction des besoins ou d'en créer de nouveaux. Les formulaires ainsi générés permettent à l'utilisateur de créer une ressource en remplissant les champs demandés sans s'occuper de l'harmonisation et de la cohérence des données.

La création de ces formulaires est l'étape qui permet de déterminer la structure des données. Ces modèles permettent de dissimuler à l'utilisateur la complexité de la structure des données (les ontologies, les différents types d'informations, les liens entre les champs...)

Afin de débuter la création d'un formulaire, il faut donner un nom au modèle et choisir l'ontologie que l'on souhaite utiliser. Une description peut lui être ajoutée afin de guider l'utilisateur dans le choix du formulaire lors de la création des instances.

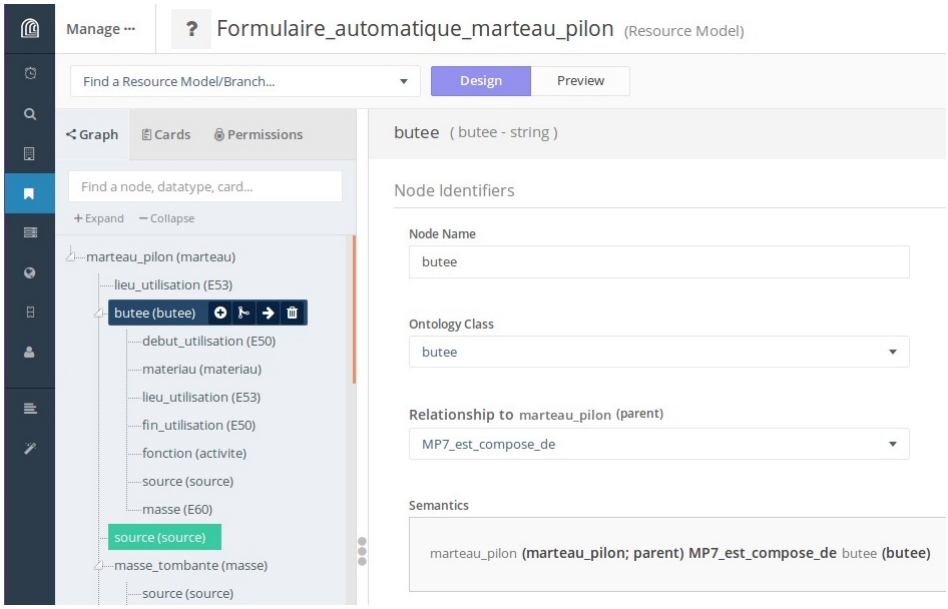


FIGURE A.5 – L'interface de création de formulaires

Créer de nouvelles ressources sur ARCHES

La création de nouvelles ressources dans ARCHES correspond à l'instanciation, soit l'étape 5 de la figure A.1). Il s'agit ici de sélectionner le type d'informations que l'on souhaite renseigner. Il est alors possible de sélectionner le type de réponse parmi un menu déroulant, comme par exemple un choix de date, plusieurs réponses au choix ou encore

un texte à écrire etc. La figure A.6 représente l'interface qui permet de rentrer les données. Il s'agit ici de renseigner des informations sur les différents composants du marteau-pilon de Brest. Chaque composant possède ses propres champs à renseigner en fonction de ses spécificités. Dans le cadre des butées par exemple, l'utilisateur peut renseigner la masse de la pièce, le type de matériaux, ou encore les dates de début et de fin d'utilisation. Les données renseignées dans ce type de formulaires sont celles qui sont mises à jour au moyen du recueil de données historiques.

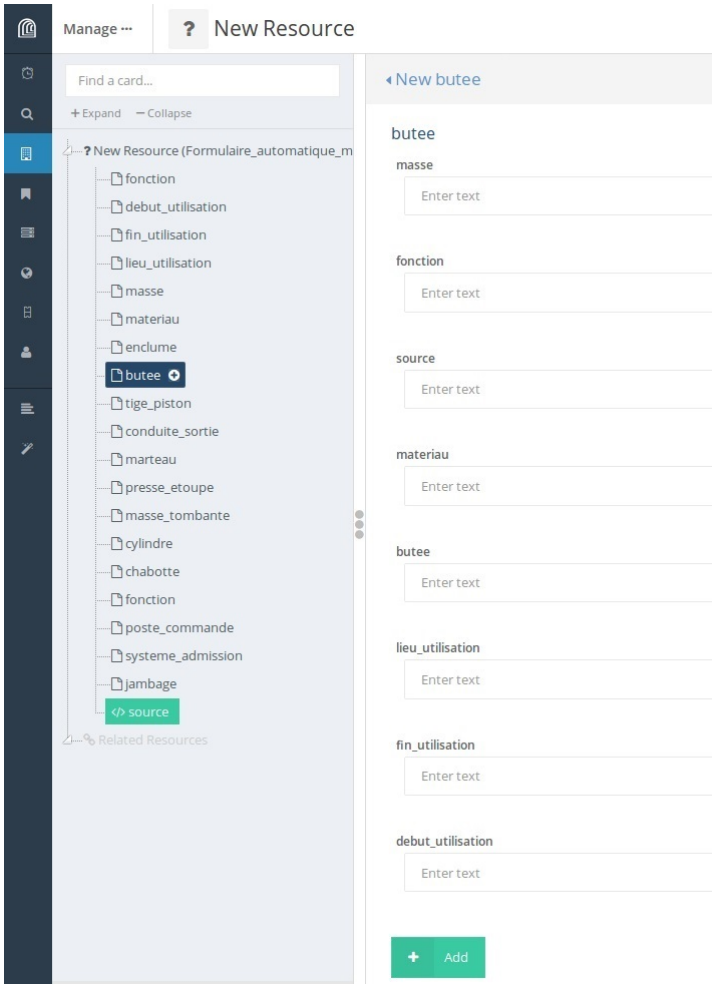


FIGURE A.6 – La création de ressources

Les données qui sont instanciées sont celles qui ont été récoltées lors de l'étape 3 de la figure A.1, soit lors du recueil de données.

Rechercher une ressource sur ARCHES

Il est possible de procéder à une recherche de ressources ayant été instanciées par d'autres utilisateurs de la plateforme ARCHES, les résultats s'affichent sur une carte et il est alors possible de consulter ces données. Sur la figure A.7, la recherche a été effectuée au moyen d'un mot-clef, "mine".

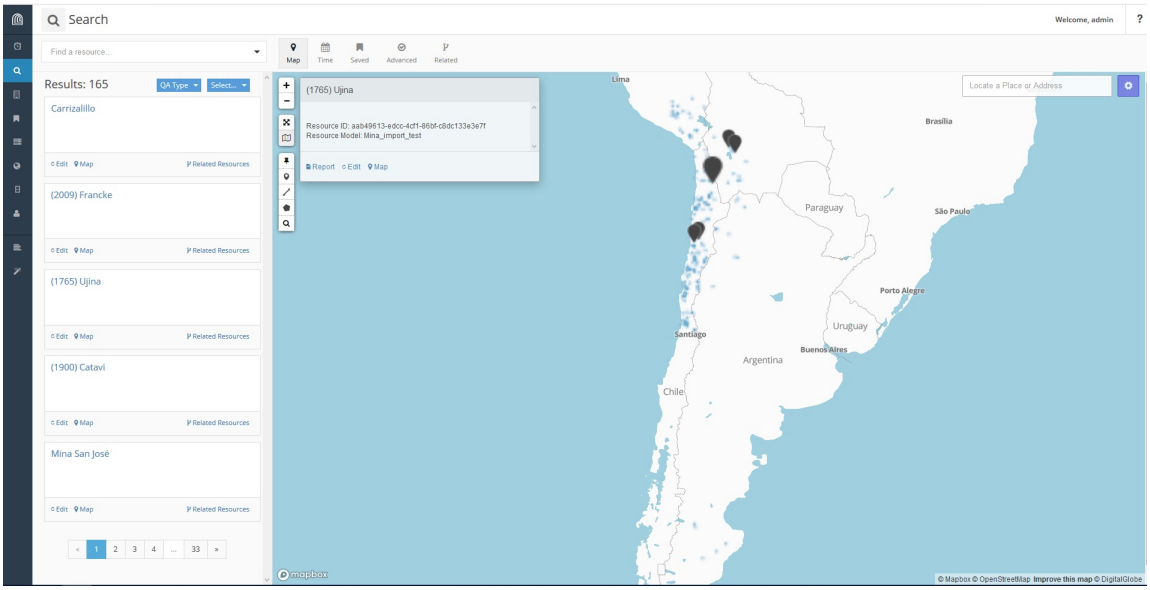


FIGURE A.7 – Méthode de recherche via une carte sur ARCHES

Les données instanciées dans la plateforme ARCHES peuvent donc être consultées par d'autres utilisateurs travaillant sur le même domaine.

Malgré l'intérêt évident de ARCHES, il s'agit d'un outil relativement difficile à installer. Le maintien, la gestion des différents projets, ou encore le chargement des ontologies requièrent l'expertise d'un informaticien.

A.4 L'environnement Virtuel Informé

L'analyse des données historiques (Étapes 1,2 et 3 de la figure A.1) ainsi que la représentation des données (Étapes 4 et 5 de la figure A.1) ont participe au développement de l'environnement virtuel informé (EVI) permettant ainsi la réalisation d'activités.

L'ontologie spécialisée ainsi que les données instanciées dans ARCHES vont permettre d'alimenter l'EVI en informations sur le domaine étudié au moyen du méta-modèle MASCARET.

Les travaux sur l'environnement virtuel informé correspondent aux étapes 6 et 7 de la figure A.1.

A.4.1 La récupération des modèles 3D

L'environnement virtuel constitue l'enveloppe du Lab in Virtuo (Étape 6 figure A.1). Pour créer le modèle 3D d'un environnement, plusieurs méthodes sont possibles comme les suivantes :

- La modélisation à partir de lasergrammétrie ou photogrammétrie : Cette technique consiste à obtenir des empreintes 3D de l'environnement ou de l'objet à modéliser. Cette technique peut être complétée par une étude des archives pour les couleurs ou des textures par exemple.
- La modélisation à partir de scanner 3D : L'usage de cette technique permet de produire un modèle 3D généralement de petite taille. La géométrie du modèle est captée mais un travail en amont est à réaliser sur les couleurs et les textures.

Ces environnements peuvent être développés à partir de logiciels comme Blender [8], Unity [9] ou encore Sketchup [10]. Des entreprises prestataires sont également amenées à travailler avec des équipes de chercheurs pour la production de modèles 3D.

Il est également possible de récupérer des modèles 3D sur des plateformes dédiées comme sketchfab [11] qui propose des modélisations de site classé UNESCO.

A.4.2 L'import de l'ontologie

Les modeleurs UML permettent la création de diagrammes d'activités comme Modelio [12], Visual Paradigm Online [13] ou encore StarUML 2 [14].

Dans l'ontologie il s'est avéré possible de déclarer les activités et les rôles associés par contre il n'est pas possible de décrire la manière dont elles vont s'exécuter. Pour qu'elles puissent s'exécuter dans l'EVI, il est alors nécessaire d'enrichir le modèle en utilisant MASCARET. La création de l'EVI s'appuie sur le méta-modèle MASCARET qui s'appuie lui-même sur le langage UML.

La première étape consiste alors à importer l'ontologie dans un modeleur UML. Modélio a été utilisé dans le cadre de ces travaux et nous avons proposé un module qui lit un fichier d'ontologie et génère automatiquement le modèle correspondant en UML (Voir figure A.8).

Les diagrammes UML sont par la suite exportés dans l'EVI et interprétés en temps réel par le méta-modèle MASCARET afin de contrôler les actions des agents dans l'environnement.

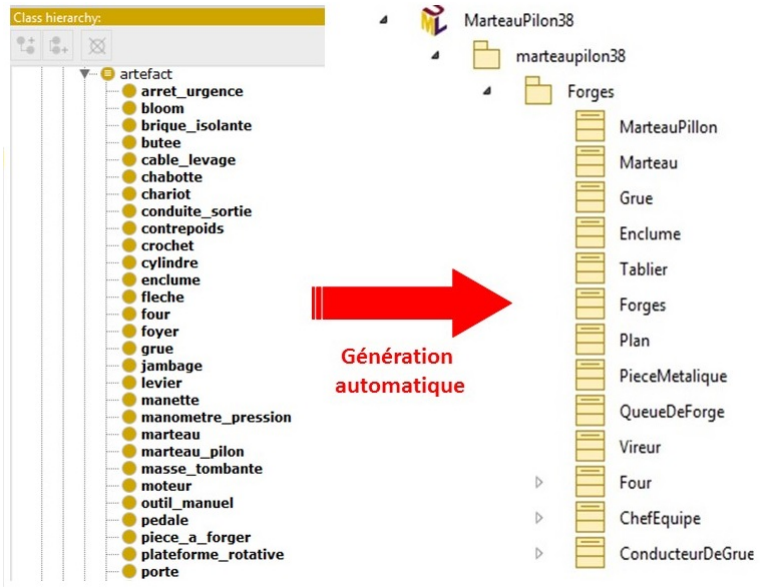


FIGURE A.8 – L'importation des classes de l'ontologie dans Modelio

8. https://www.blender.org/
9. https://unity.com/fr
10. https://www.sketchup.com/fr
11. https://sketchfab.com/store/3d-models/cultural-heritage-history
12. https://www.modelio.org/
13. https://online.visual-paradigm.com
14. http://staruml.io/

A.4.3 La description des activités métier

Lors de l'import de l'ontologie présenté précédemment, les activités et les rôles ont été importés (Voir figure A.8). Cependant, la description de l'exécution n'étant pas présente dans l'ontologie, il s'agit donc ici de créer une activité sous forme UML. Le diagramme UML agence l'ensemble des actions impliquées pour la réalisation de l'activité.

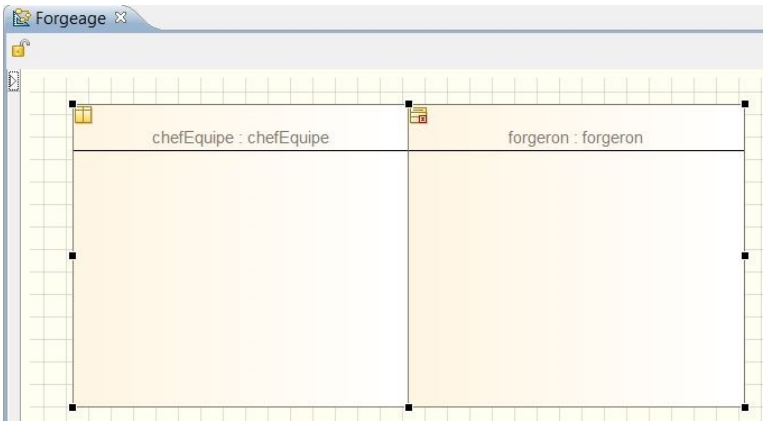


FIGURE A.9 – La récupération des rôles métiers dans Modelio

Une fois l'ontologie importée, il est alors possible de récupérer les différents rôles métiers concernés par une activité (Voir figure A.9). Cependant, l'agencement des actions n'a pu être réalisé dans l'ontologie.

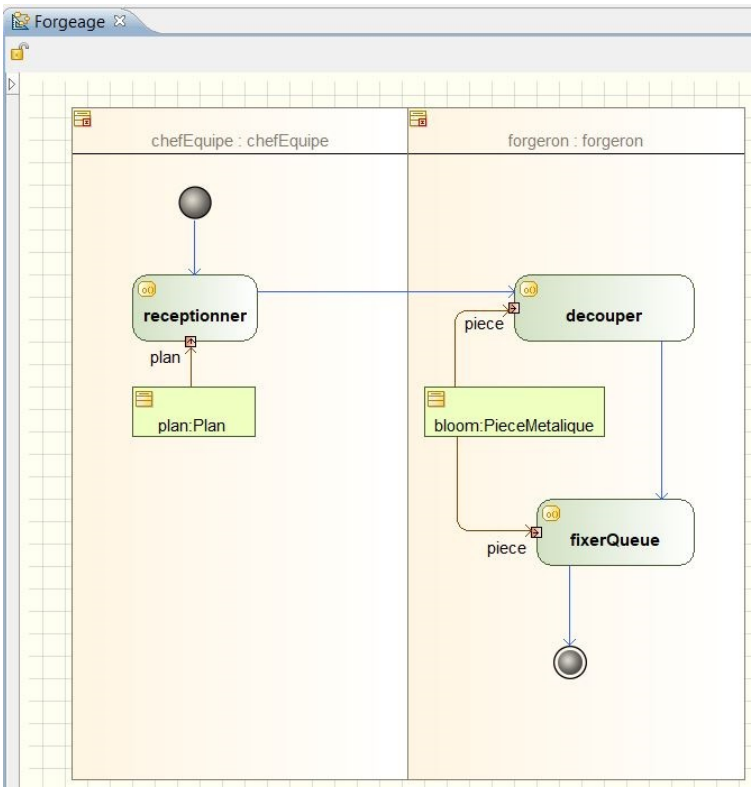


FIGURE A.10 – La récupération des actions dans Modelio

Au-delà des rôles métiers impliqués dans l'activité (dans le cas de la figure A.9, le chef d'équipe et le forgeron), il est également possible d'ajouter des actions participants à

la procédure. Ces actions sont organisées en fonction de leur chronologie et des rôles concernés (Voir figure A.10).

A ce stade, le modèle peut être exporté dans l'EVI et au sein de cet environnement, est capable de faire jouer ces activités automatiquement par des agents autonomes.

A.4.4 Les scénarios de médiation

Pour un usage en médiation le médiateur crée des scénarios s'appuyant sur le modèle généré et augmenté des étapes précédentes en utilisant le même formalisme que pour des activités métiers, c'est-à-dire des diagrammes d'activité UML.

Les rôles métiers impliqués dans le scénario "activité" de la figure 12.9 sont déjà présents dans Modelio et peuvent alors réaliser des activités. Par exemple, sur la figure A.11, le forgeron peut effectuer un certain nombre de procédures dans le cadre du scénario "activité".

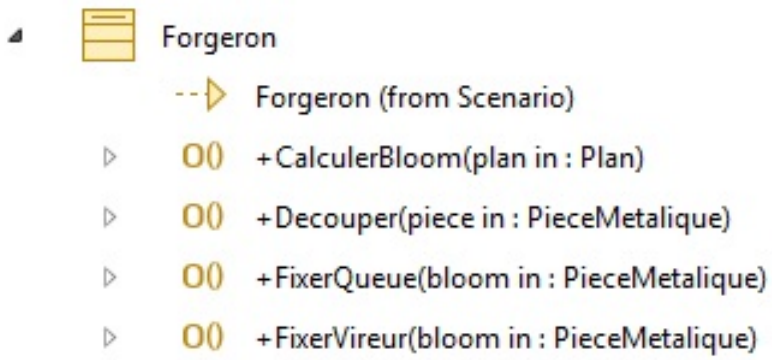


FIGURE A.11 – Les actions réalisables par le rôle métier "forgeron" dans le scénario "activité"

Dans le cadre d'un scénario de médiation il est possible de créer des rôles spécifiques tel un visiteur ou un élève par exemple. Le scénario peut également s'appuyer sur le rôle de guide qui peut effectuer un certain nombre d'actions dans l'EVI (Voir Chapitre 12 et figure 12.8)

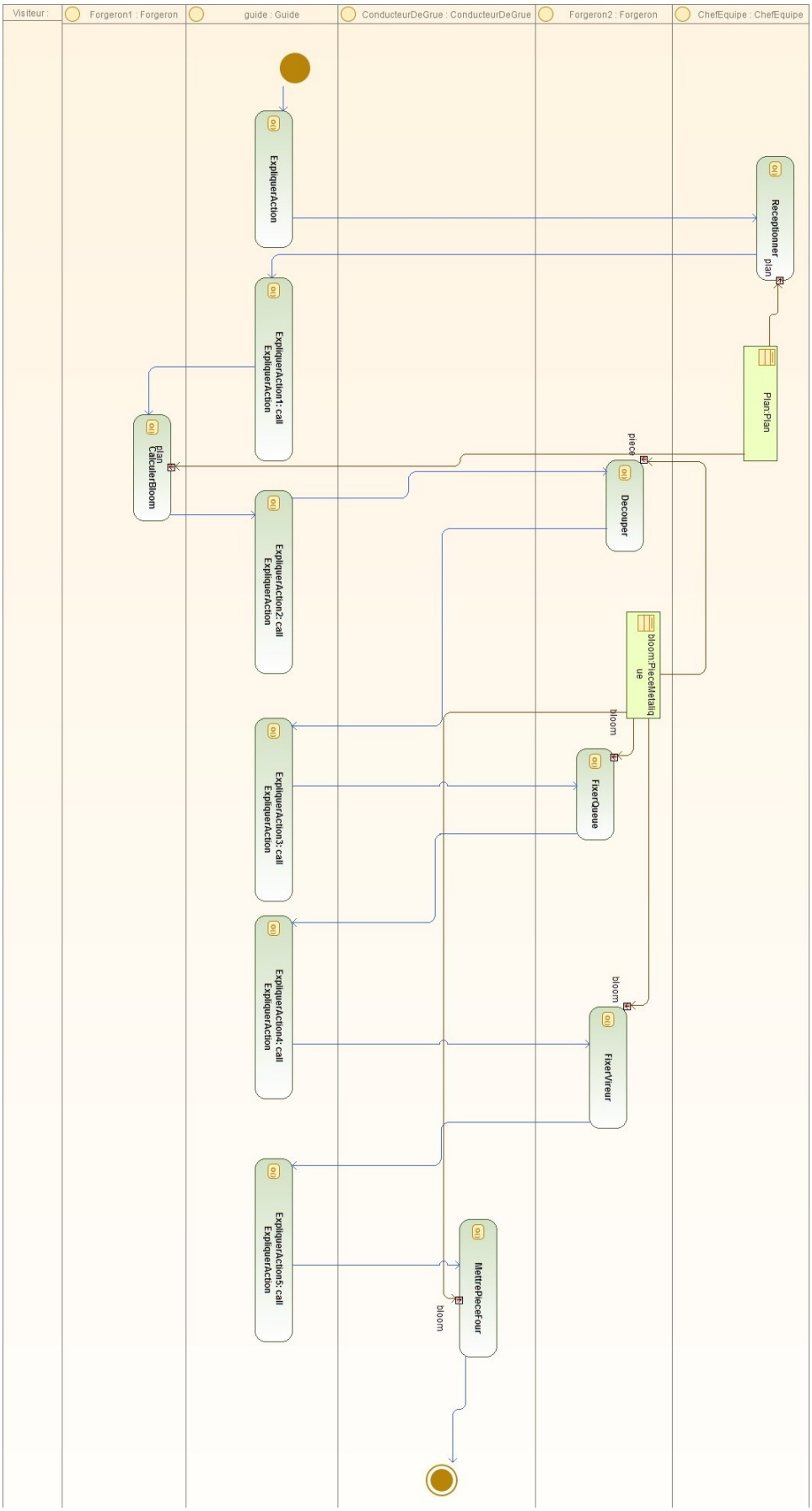


FIGURE A.12 – Exemple de scénario de médiation sous Modelio

L'étape 7 de la figure A.1 nécessite parfois des retours vers les étapes 1,2 et 3 correspondant à l'analyse des données historiques. En effet, la partie "analyse historique des données" est celle qui permet une scénarisation des activités.

A.5 Conclusion

La méthode KM-ACIL a été mise au point grâce aux méthodologiques employées dans le cadre de cette thèse en Histoire des Sciences et des Techniques (Voir chapitres 5 ,6 , 7 et 8) et en Humanités Numériques (Voir chapitres 9, 10,11 et 12).

Le chapitre *"Synthèse des travaux à travers le guide méthodique : La méthode KM-ACIL"* présente une version synthétisée des travaux en prenant en compte les différentes méthodologies présentées dans le cadre de cette thèse.

Il s'agit ici d'un travail préparatoire en vue d'un guide plus détaillé sous forme de livrable à destination de plusieurs communautés : à la fois celles des chercheurs (et étudiants de Master) en Sciences Humaines et Sociales et en Humanités numériques, celles des acteurs de la sauvegarde et la conservation du patrimoine industriel et scientifique comme celles de la valorisation du patrimoine et de la médiation culturelle.

Annexe B

Entretiens et scénarios de médiation

B.1 Les entretiens avec les anciens utilisateurs de systèmes techniques

B.1.1 M.Vourch (Forgeron)

Retranscription de l'interview de RobertVourch à Guipavas, le 20 Janvier 2017. Cet entretien est mené par Marie-Morgane Abiven et Julien Hageaux (Etudiant en Master 2 EHST)

Note : Les images utilisées pendant les entretiens et présentes dans ces retranscriptions proviennent du film d'archives DCNS et du court-métrage d'Olivier Bourbeillon (Voir chapitre 5)

MM (Marie-Morgane) : Alors on va vous expliquer Mr.Vourch comment ça va se dérouler, comme vous a dit Julien, ce qu'on va faire, c'est qu'on va poser les questions à tour de rôle.

R.Vourch : A tour de rôle, chacun son tour

MM : Voilà, comme ça il n'y a pas de jaloux. Donc en fait ce qu'on va faire, c'est qu'on a divisé notre interview en différentes parties. La première partie ça va être plus des questions générales, sur votre parcours, sur le travail dans les forges de Pontaniou. Ensuite, on aura plus une partie technique, donc c'est pour ça que l'on vous a mis un ordinateur avec des photos du reportage de 1986 et du film de Bourbeillon. Donc là, ça sera plus, voilà sur les aspects techniques de votre métier.

R.Vourch : Le film est de 2005.

MM : Oui pour Bourbeillon, exactement. Donc là ça sera plus des questions axées sur le matériel, sur les gestes que vous avez acquis au cours de votre expérience de forgeron. Ensuite, on va parler plus de notre projet de recherche donc au niveau de la réalité virtuelle et de la modélisation 3D, et ensuite, on va conclure l'interview. C'est moi qui vais commencer, donc là c'est vraiment les questions plus générales. En fait pour commencer, on aimerait savoir quel a été votre parcours, et comment vous êtes arrivé dans les forges à Brest ?

R.Vourch : Je peux vous dire tout de suite, moi je suis arrivé en 1975, et j'ai été embauché à la DCN de Brest. J'ai été affecté à la fonderie au plateau des Capucins. J'ai dû

travailler un an à la fonderie, et au bout d'un an je voyais que la fonderie n'avait pas beaucoup d'avenir. J'ai dit moi ce qui m'intéresse, c'est l'acier, c'est la forge, je veux descendre en bas, près de la direction, à la forge. Effectivement, à la forge y'avait des anciens qui étaient partis en retraite, 4 ou 5, ils embauchaient du monde. Alors j'ai été pris de suite. En 76, je suis arrivé aux forges. Et donc, c'était l'été 76, où il faisait très chaud...

MM : La canicule

R.Vourch : La canicule, je peux vous dire que les portes des ateliers on les ouvrait grandes ouvertes, pour que l'air rentre dans les forges, parce que les fours dégagent de la chaleur, vous savez dans les forges cela dégage énormément de chaleur, et au préalable on ouvrait les portes pour respirer, pour avoir de l'air. L'hiver par contre, on était bien près des fours, on se chauffait, c'était agréable. Voilà c'est tout.

J (Julien) : Comment et par qui avez-vous été formé et combien de temps cela a-t-il duré pour le marteau-pilon ?

R.Vourch : Pour le marteau-pilon ? Oh, il m'a fallu six mois...

J : Six mois !

R.Vourch : ...avec des anciens, des anciens forgerons qui m'ont formé. Au début, je tenais les calles pour l'épaisseur de l'acier, et vous vous voyez à forger, on avait des calles à la dimension, des calles de hauteur et on écrasait la pièce à la calle, et comme ça c'était bon.

J : Très bien

MM : Alors ce qu'on aimerait savoir aussi, est-ce que les personnes qui travaillaient avec vous, vous aviez été formés pour pouvoir occuper plusieurs postes ?

R.Vourch : Ah, on est polyvalent, moi j'ai fait 30 ans de forge, et j'ai peut-être fait une quinzaine d'années au marteau-pilon dans ma carrière. J'ai été affecté à d'autres postes importants dans l'atelier après. J'ai été aux presses après, la presse hydraulique, j'ai longtemps travaillé à la presse hydraulique, où on forgeait des têtes de marqueur dans les missiles pour la pyrotechnie de Saint-Nicolas. Et donc j'ai travaillé aux presses, les presses à frictions aussi qui avaient des balanciers, avec une courroie en cuir qui été cerclée, où on montait cela porté sur un côté du disque et pour descendre cela portait sur l'autre côté avec la main, de manière manuelle, et cela se travaillait très bien aussi.

J : Cela avait la même efficacité aussi pour les pièces plus petites ?

R.Vourch : Oui, pour les pièces plus petites.

J : Sinon, comment se déroulait une journée type au sein des forges, donc au niveau des horaires, des pauses ou de la mise en route soit du four ou du marteau ?

R.Vourch : Je vais vous dire, moi j'étais chargé le matin d'allumer le four une heure avant d'embaucher. Et le lundi, une heure et demie avant, parce que le four était froid du week-end, il fallait le mettre en marche. Et le four marchait au début au charbon.

J : Ah oui !

R.Vourch : Alors là, il fallait qu'un collègue la veille, le soir, remplisse la benne de charbon, et moi j'allumais un feu de bois le foyer avec un peu de bois, du papier et du gasoil, et du charbon un peu dessus. Et après la nuit c'était en route, ça alimentait tout seul, ça brulait, ça démarrait le four.

J : Et ensuite, il est passé au gaz ?

R.Vourch : Au gaz, au gaz, il est passé.

J : Au propane ?

R.Vourch : Au gaz de ville, qu'il est passé.

J : Et au niveau de l'amplitude horaire sur une journée cela donnait quoi ?

R.Vourch : Avec le four, on embauchait à 8h, à 7h, on le mettait en marche dans la semaine, et le lundi à 6h30, il fallait être sur place, 6h30 le matin. Je me rappelle toujours

des horaires.

J : Et pour finir pour à peu près quelle heure la journée ?

R.Vourch : La journée, dans le temps c'était la sirène à 18h03, 6h03 cela sonnait, fin de travail 6h03. Après il y a eu l'horaire variable, cela a modulé, avec des plages horaires restant les mêmes, nous avions des plages plus libres, on pouvait partir à 16h mais on embauchait à 6h30 le matin au lieu de 8h. Alors on avait des plages plus disponibles pour nous.

J : Des pauses, il y en avait combien ?

R.Vourch : Des pauses ? Oh cela durait un quart d'heure, le temps de boire un café avec les copains c'est tout. On avait un local pour cela, un petit local.

MM : On le voit dans le film de Bourbeillon ?

R.Vourch : Oui on le voit dans le vestiaire, on fait une pause et on boit un café. Oh c'est 10 minutes, un quart d'heure, pas plus.

MM : On voulait savoir également, s'il y avait une planification préalable aux travaux de forge, par exemple, avec un chef de service ou des ingénieurs pour travailler les pièces, est-ce que vous aviez un briefing avant ?

R.Vourch : Un briefing, le matin, briefing avec le chef d'atelier et le chef de travaux, c'était Mr. Roué, à l'époque, Jean-Pierre Roué, que vous allez connaître bientôt je pense.

MM : Oui

J : Oui, en fait, on le rencontre dans une semaine.

R.Vourch : (Rire) Oui je sais

J : Ah ! Il vous a contacté ?

R.Vourch : Il était chez moi, l'autre jour. On a fêté la galette des rois, les anciens forgerons on se réunit toujours, on est 5 à se réunir et on fête la galette des rois tous les ans. Cela tourne chacun son tour doit recevoir.

J : Et il y a qui d'autre, Jacky Patry, non ?

R.Vourch : Comment ?

J : Jacky Patry ?

R.Vourch : Non il ne vient pas lui.

J : D'accord

R.Vourch : Il travaillait avec nous lui, d'ailleurs il a été meilleur ouvrier de France.

MM : Du coup, vous vous voyez en début de journée pour savoir quelle pièce vous alliez travailler ?

R.Vourch : Nous, on nous donnait le plan de la pièce, on calculait son poids, et on gardait la matière du gras aussi pour l'usinage en plus, la perte au feu 0,5 qu'on calculait, parce qu'il y avait de la perte au feu, et ensuite on coupait le morceau d'acier, en fonction du poids, on calculait le morceau d'acier qu'il nous fallait. Généralement, on travaillait sur du carré, parce que le carré était assez facile à forger, pour décalaminer, parce qu'au four, quand la pièce chauffait, une pellicule de calamine venait se mettre sur la pièce…

J : D'accord

R.Vourch : …sur le bloc d'acier. Pour le décalaminer, on forgeait sur les angles, vous avez dû le voir dans le film…

MM et J : Oui

R.Vourch : …celui de Bourbeillon, on attaquait par-là de suite, et là cela décalaminait. Un coup de soufflette, et il n'y avait plus rien sur l'enclume, la calamine était enlevée.

MM : D'accord

J : Et je vais en finir, en fait, sur quelle pièce travaillait vous le plus souvent et combien de personnes étaient requises, on va dire, pour une pièce courante ?

R.Vourch : Les manilles, fin les grosses manilles.

J : Et il vous fallait combien de personnes pour cette tâche-là ?

R.Vourch : Les manilles, trois

J : Trois personnes ?

R.Vourch : Trois personnes

J : Un à la grue ? Ah non ça c'est pour les plus grosses pièces !

R.Vourch : Ça c'est le bloom. Les manilles, on travaillait à trois, un au pilon et deux aux tenailles.

J : D'accord

R.Vourch : Un de chaque côté de l'enclume.

MM : D'accord. Et au niveau du travail dans les forges en fait, on voulait s'intéresser à la difficulté du travail, donc on aimerait savoir qu'est-ce qui était le plus dur pour vous, si c'était par exemple l'environnement, la chaleur ou au contraire le bruit, l'odeur ?

R.Vourch : Je vais vous dire, il y a plusieurs éléments. Il y a la chaleur...

MM : Oui j'imagine.

R.Vourch : ... le choc dans les tenailles, le bruit, qu'est-ce qu'il y a encore.

J : Au niveau de l'odeur ?

R.Vourch : Oh non pas d'odeur, plutôt le choc, le bruit et la chaleur. Et surtout, on ne pouvait pas porter de casque. On devait communiquer entre nous et donner des ordres au pilonnier. Le gars qui est à la manœuvre, ça s'appelle un pilonnier. Le gars qui est à la manœuvre au pilon, on lui donnait des ordres, on lui disait donne un coup, plus fort, plus faible, suivant ce qu'on voulait faire avec la pièce.

MM : Vous aviez eu du mal à vous habituer justement quand vous êtes arrivé au marteau-pilon, est-ce que cela a été compliqué au début de vous habituer à la chaleur et surtout aux coups du marteau ?

R.Vourch : Ah oui

MM : Au début, cela a dû être compliqué.

R.Vourch : Les vibrations, je vous dirai aussi, parce que le sol vibrait, c'était de la terre battue qu'on avait, de manière qu'on puisse poser les pièces sur le sol, sur la terre. Si cela avait été du béton, le béton aurait éclaté à la figure, et ce n'est pas bon.

MM : Vous avez mis longtemps à vous habituer ?

R.Vourch : Oh 6 mois, 6 bons mois

MM : Ah oui, quand même !

R.Vourch : Oh oui

MM : Au début, cela a dû être difficile.

R.Vourch : Cela a été très dur au départ, au début je tenais que les pannes, c'est tout, et je n'avais pas le droit aux tenailles encore.

J : Vous avez fait pilonnier ou pas ?

R.Vourch : Non, j'ai essayé, j'ai jamais réussi.

J : D'accord

R.Vourch : Pilonnier, fallait un an de formation.

J : Ah oui !

MM : Ah !

R.Vourch : Un an pour faire un bon pilonnier. Vous voyez ce n'est pas facile !

J : En revenant sur la difficulté, y'avait-il souvent des blessures, des accidents de travail ?

R.Vourch : Il y en a eu, mais pas énormément.

J : D'accord

R.Vourch : Moi, j'ai eu une fracture du scaphoïde (nous montrant l'endroit sur sa main), vous voyez j'ai été fracturé là, un contrecoup avec un bloom, on mettait une queue,

une rallonge si vous voulez, pour faire contrepoids pour faire avancer sur l'enclume la pièce, le bloc d'acier, pour forger. Et il y a eu un coup de pilon malheureux, et moi j'avais les mains encore sur...

J : La poutre

R.Vourch : ...l'embout, la queue qu'on appelait cela, et j'ai pris un choc et fracture du scaphoïde.

J : D'accord

R.Vourch : Il y a eu des brûlures et c'est à peu près tout ce que l'on a eu comme casse.

MM : Et est-ce que vous aviez des normes de sécurité spécifiques à respecter quand vous étiez au contact du marteau-pilon ?

R.Vourch : Des normes de sécurité...

MM : Par exemple...

J : Au niveau des chaussures de sécurité, des gants...

R.Vourch : Ah oui, je peux vous montrer justement là-dessus (il nous montre une photo personnelle) des tabliers, des gants.

MM : Oui

R.Vourch : Et donc...

MM : C'est les protections...

R.Vourch : Protection de la chaleur, les gants qui sont en amiante d'ailleurs, vous pouvez les voir.

MM : Ah oui

R.Vourch : Ce n'était pas interdit à l'époque.

J : Ah oui d'accord

R.Vourch : Ce n'était pas interdit encore à l'époque, cela-là était après.

J : Chaussures de sécurité aussi ?

R.Vourch : Oui, chaussures de sécurité, bien sûr.

J : Et on vous a jamais dit de mettre des casques ?

R.Vourch : Non

J : D'accord

MM : Ce n'était pas obligatoire ?

R.Vourch : Ce n'était pas obligatoire le casque.

J : Vous mettiez des lunettes de protection ?

R.Vourch : Des lunettes de protection, non. On transpirait tellement qu'avec la buée, on aurait rien vu.

MM : Est-ce que vous avez constaté des évolutions au niveau de l'équipement quand vous êtes arrivé au marteau-pilon et à la fin de votre carrière ? Est-ce qu'il y a eu des nouvelles normes, par exemple, est-ce qu'on vous a dit qu'il fallait mettre ce genre d'équipement ou pas ?

R.Vourch : Non, il y a eu des améliorations qui ont été apportées, au niveau du travail, de la pénibilité. Nous avons acheté une machine, une pince de forge, je vous montre la photo.

MM et J : Ah d'accord

R.Vourch : C'est un manipulateur, si vous voulez.

MM : D'accord

R.Vourch : Qui permettait de tourner la pièce, la matrice (en montrant la même photo), ça c'est une matrice. La pièce est chauffée là, on la voit chaude là.

J : D'accord

R.Vourch : Et là, on va la retourner, pour la chasser de la matrice. Ça c'est des pinces (sur une autre photo), que nous avons inventées pour adapter à ces matrices.

MM : Comme cela, vous n'étiez pas au contact direct de la pièce.

R.Vourch : Eh bien là, on n'était pas au contact direct.

MM : Voilà

R.Vourch : Ben oui, c'est une amélioration formidable pour nous.

J : Une sécurité, voilà.

R.Vourch : Cela a été introduit en 1990.

J : Ah oui!

R.Vourch : 1990! On en a profité que très peu de temps pour une quinzaine d'années à peine. C'est venu en 1990, alors vous voyez moi je suis rentré en 1976, en 90, on a eu la pince de forge. Cela a été une avancée.

MM : Oui oui, j'imagine.

R.Vourch : Très importante.

J : Là on va passer à la deuxième partie qui est une partie technique et qui va être appuyée sur le film de Bourbeillon et de 86 [1].

R.Vourch : Oui

J : Donc en fin de compte le but c'est de vous montrer plusieurs images. Je vais juste voir si ça fonctionne (Julien vérifie le dossier photo sur l'ordinateur).

R.Vourch : Allez-y!

MM : Vous êtes à l'image 1 normalement.

J : Ah il s'était mis en veille.

R.Vourch : Il s'était mis en veille.

FIGURE B.1 – Image 1

J : Donc voilà, sur la question 1 à chaque fois en fin de compte on va voir l'image et on va vous poser plusieurs questions d'ordre technique et après une fois terminé on passera à une image suivante et on alternera toujours l'un et l'autre pour vous poser des questions. Alors donc sur la première image nous allons vous demander tout d'abord comment attachiez-vous les pièces en tout cas sur cette image ci?

R.Vourch : Sur cette image-là?

J : Oui

R.Vourch : Ben... on la fixe avec des éléments auquel on cale des coins et on fixe des chaînes pour maintenir le tout à l'aide de manilles on les referme, on relie les maillons de chaînes et de manilles et ça permet de faire contrepoids au bout par les ouvriers et

1. Il s'est avéré depuis ces entretiens que finalement cette vidéo d'archive date de 1996 et non de 1986.

justement la pièce est au four là et elle va pas tarder à sortir parce qu'elle est apparemment bien chaude.

J : Et cela nécessitait une certaine technique?

R.Vourch : Oui parce qu'il fallait savoir équilibrer la pièce.

MM : Pour pas qu'elle bouge en fait de la poutre qui est ici quoi?

R.Vourch : Bah oui, de la queue, ça s'appelle une queue.

MM : D'accord!

R.Vourch : Queue de forge.

J : Donc concernant le four, vous avez déjà répondu à quelques questions, j'en aurai une à rajouter, quels outils étaient associés au four? Parce qu'on voit par exemple à un moment qu'il y a certains ouvriers qui prennent une sorte de pierre pour isoler la porte du four avec l'extérieur.

R.Vourch : Ah ça c'est des briques réfractaires.

J : D'accord

R.Vourch : C'est pour calfeutrer le four pour pas qu'il y ait de perte de chaleur justement. A l'aide de tenailles on ajustait les briques réfractaires.

J : D'accord

R.Vourch : Qui elles contiennent la chaleur.

FIGURE B.2 – Image 2

MM : D'accord alors on va passer à la seconde image. Donc l'attache que nous voyons sur cette image elle est spécifique à certaines pièces par exemple? Donc on parle de l'attache de la grue qui se trouve ici on voulait savoir justement si vous utilisiez cette attache pour certaines pièces en particulier?

R.Vourch : Les éléments qu'on voit là ici ça s'appelle un vireur.

MM : Un vireur?

R.Vourch : Un vireur, c'est le vireur. Il est maintenu par une chaîne, vous voyez la chaîne? Et il y a une commande électrique avec des manettes qui permet de faire tourner la pièce. La chaîne tourne et permet de retourner la pièce.

MM : D'accord!

R.Vourch : Ou de la mettre sur l'angle ou la position où on veut la mettre.

MM : D'accord!

R.Vourch : Vous cernez le...

MM et J : Oui oui!

MM : C'est le mouvement de la chaîne qui fait que la pièce va se retourner.

R.Vourch : Oui c'est une rotation ! Voilà c'est ça je cherchais le mot, une rotation ! Pour donner une rotation le vireur la commande, il appuie sur la manette, hop il pouvait lever, monter, descendre aussi.

J : Et ça c'était au niveau du grutier ?

R.Vourch : C'était le gars qui était à la grue.

J : D'accord

R.Vourch : C'était... y'avait un gars à la grue, un gars au pilon, et d'autres à faire contre-poids pour avancer ou reculer sur l'enclume.

J : Et ce boîtier il était situé où, parce qu'en fin de compte nous on a vu le poste et on voyait juste les commandes, les trois commandes de la grue ?

R.Vourch : Oui c'est ça, le poste est là ! Le gars était au-dessus, il voyait bien la manœuvre, il fallait qu'il voit tout l'ensemble, qu'il n'y ait pas de gars qui ai la main sur la queue, de manière à pas blesser les gens.

MM : Et justement toujours à propos de la grue, on se demandait à partir de quel poids vous vous serviez de la grue pour déplacer les pièces.

R.Vourch : Quel poids ?

MM : Ou quelle taille ?

R.Vourch : Oh bah ça allait à des pièces de 4 tonnes hein.

MM : Parce qu'il y avait des pièces qui étaient plus légères que vous pouviez travailler sans avoir besoin... (R.Vourch coupe)

R.Vourch : On a forgé des verges d'angles je vais vous montrer là (montre une de ses photos), on a forgé ça.

MM : D'accord

R.Vourch : Et on cassait l'angle ici, sur les gros angles. Ça c'est une petite maquette que j'ai confectionné moi-même (nous montre la maquette d'une petite ancre) et puis on offrait à chaque ancien qui partait en retraite.

MM : Ah ! En souvenir !

R.Vourch : C'était le cadeau des forges. C'est moi qui l'ai confectionné.

J : Donc on va passer à l'image numéro 3. Donc ici ... (R.Vourch coupe)

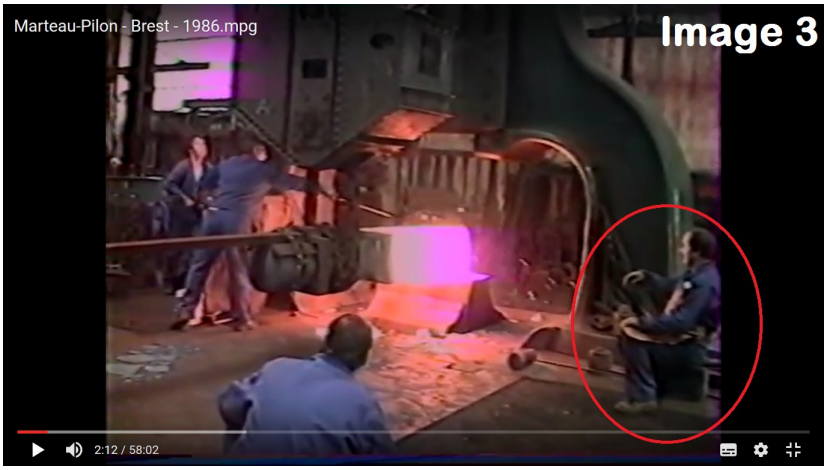


FIGURE B.3 – Image 3

R.Vourch : (En regardant l'image) Ah !! Là elle est chaude la pièce ! Elle est à 1250 degrés je peux vous le dire.

J : D'accord, ah bah au pire vous pourrez même nous dire l'évolution en température au fil des images.

R.Vourch : Ah oui !

J : Donc ici on voit l'utilisation d'un de vos collègues de la soufflette.

R.Vourch : Ouais il chasse la calamine.

J : Voilà d'accord

R.Vourch : Dont je vous ai parlé tout à l'heure. Vous vous rappelez au départ je vous ai dit qu'il y avait une pellicule qui se formait sur la pièce, la calamine.

J : D'accord et donc était-elle directement liée au marteau-pilon cette soufflette ? Est-ce qu'elle marche à l'air comprimé ?

R.Vourch : Elle marche à l'air comprimé.

J : D'accord

R.Vourch : Ah tout à fait ! C'est relié au pilon et y'avait une prise d'air.

MM : C'est le même circuit que le marteau du coup ?

R.Vourch : Oui c'est branché sur le circuit du marteau ouais ouais.

J : Et est-elle davantage utilisée sur un certain type de métal, la soufflette ?

R.Vourch : Ah bah par exemple l'inox y'a pas besoin, y'a pas de calamine (rire).

J : D'accord oui c'est plus sur le fer l'acier...

R.Vourch : L'acier, c'est toutes les nuances d'acier, là je vous dirai pas plus parce que j'ai pas droit d'en parler mais... les nuances d'acier qu'on employait (rire).

J : Et quand sait-on quand on doit l'utiliser, enfin quand on voit qu'il y a assez de calamine à souffler on va dire.

R.Vourch : Comment ?

J : Comment vous saviez à quel moment il fallait passer un coup de soufflette sur la pièce ?

R.Vourch : Ben... si on le faisait pas l'inconvénient que ça donnait c'est que ça pouvait mettre des petites crevasses à la pièce.

J : Et la fragiliser ?

R.Vourch : Non pas la fragiliser mais des marques qui partirait peut-être pas à l'usinage si on n'avait pas laissé assez de gras.

MM : D'accord

J : Sinon sur cette image quel est le rôle de l'homme qui est à droite dans le cercle rouge, le poste pouvait-il être occupé par un autre ?

R.Vourch : (regarde attentivement l'image et reste silencieux)

MM : Oui en fait il reste positionné là c'est pour avoir une vision précise sur la pièce ?

R.Vourch : Oui c'est pour voir si la pièce est à niveau sur l'enclume.

MM : D'accord

J : Et donc d'après ce que vous nous avez dit c'est le premier poste que ceux qui travaillent au marteau-pilon occupent ?

R.Vourch : Non c'est le dernier poste justement (rire).

J : D'accord

R.Vourch : Parce que là c'est le responsable c'est lui qui commande toute la manœuvre.

J : Et pourquoi il n'y a que lui qui porte un tablier et les autres n'en ont pas ?

R.Vourch : Parce qu'ils n'ont pas pris leurs mesures de sécurité (rires).

J : Et donc les gestes ont une grande importance, on voit qu'il fait un petit geste dans le cercle rouge là, et en fin de compte, ce petit geste qu'est-ce qu'il désigne ?

R.Vourch : Il désigne au gars à la grue de monter ou de descendre de manière à ce que la pièce ne soit pas en porte à faux sur l'enclume inférieure.

J : D'accord

R.Vourch : Il faut qu'elle ait un niveau, sinon s'il donne un coup, ça va tout dérégler, ça va tout nous déranger notre matériel ici.

MM : Donc il faut avoir de l'expérience quand même pour pouvoir occuper ce poste là et avoir l'œil.

R.Vourch : Ça c'est un ancien, c'est un des plus anciens au pilon qui commande la manœuvre.

MM : Voilà qui a un œil vraiment précis.

R.Vourch : Qui a l' œil précis ! Ouais

MM : D'accord. Alors on va passer à l'image 4. Donc sur l'image 4 on voit que l'homme qui se trouve ici à un instrument avec lui qu'il va positionner directement à côté de la pièce à forger, et la question qu'on se posait, c'était de savoir à quoi servait cet objet ?

FIGURE B.4 – Image 4

R.Vourch : Ah… très bonne question ! (rires) Ca ça va servir à marquer. C'est une pièce qui est froide. Il va la positionner sur la pièce chaude à l'endroit et la dimension à laquelle on veut la forger. Vous saisissez ?

MM et J : Oui !

R.Vourch : Et le marteau-pilon va donner un coup, faire une empreinte.

J : D'accord

R.Vourch : Et comme ça on va pouvoir travailler au pilon sur cette partie-là.

J : On va passer ensuite à l'image numéro 5.

FIGURE B.5 – Image 5

R.Vourch : Ouais

J : Alors ici on voit au bout d'un moment il est nécessaire... est-ce qu'il est nécessaire de changer le mouton ou l'enclume à force de mettre des coups au marteau-pilon ?

R.Vourch : Non, de temps à autre, ce qu'on faisait, on démontait l'enclume inférieure, on la faisait porter au plateau des Capucins et ils donnaient un coup de fraiseuse ou un autre outillage, ils usinaient le dessus pour enlever les marques de forgeage, les empreintes qu'il y a dans l'enclume à la fin au bout de 7/8 ans de forgeage il y a des marques qui se font par rapport à la calamine toujours sur l'enclume de forgeage.

J : Donc ça a une assez grande durée de vie ?

R.Vourch : Ah ouais !

J : Et la partie supérieure... (RV coupe)

R.Vourch : On n'a jamais changé les enclumes ! (rires)

J : Et la partie supérieure donc c'est une enclume ? Parce que nous on avait vu certains qui disent, ils parlent de mouton.

R.Vourch : Ah ça c'est un autre appareil.

J : D'accord

R.Vourch : C'est pas la même chose, on avait un mouton mais on ne se servait plus de lui, moi je l'ai vu travailler quelques fois c'est tout au début où je suis arrivé en 76.

J : Et donc pour le pilonnier comment savait-il le nombre de coups et la force qu'il fallait exercer sur l'objet ?

R.Vourch : Oh bah c'était à l'œil.

J : C'était à l'œil ?

R.Vourch : Il voyait à l'œil, si il mettait la cale à la hauteur aussi, il savait qu'elle hauteur descendre arriver à la cale. On avait des repères.

MM : Et puis c'est à force de faire aussi... (R.Vourch coupe)

R.Vourch : Bah oui le pilonnier à la longue il pigeait, il savait lui-même quelle force donner pour arriver à sa cale, il savait lui-même.

J : D'accord très bien

MM : Alors on va passer à l'image 6, donc en fait on voulait savoir quand vous travaillez des grosses pièces comme celle-ci, est-ce que c'était arrivé, pendant que vous utilisiez le marteau-pilon, qu'il y ait des pièces qui cassent ?

FIGURE B.6 – Image 6

R.Vourch : Non

MM : Ça n'arrivait jamais ?

R.Vourch : (Signe de tête pour dire non) L'acier chaud ne casse pas, il n'y a aucun risque.

MM : Parce qu'on voulait savoir aussi comment est-ce que vous reconnaissiez suivant la couleur du métal qu'il fallait la repasser au four? Justement ce dont on parlait tout à l'heure par rapport aux différentes couleurs.

R.Vourch : S'il est à cette température là (Montre l'image sur l'ordinateur).

MM : Donc rouge

R.Vourch : Ah bah là on le remet au four.

MM : Quand il devient rouge la température n'est plus assez importante?

R.Vourch : Elle n'est plus assez importante pour forger et ça présente des dangers et des risques au pilon aussi.

J : Il faut qu'il soit de couleur jaune alors?

MM : Jaune, blanc pratiquement

R.Vourch : Blanc vif!

J : Et est-ce que ça varie suivant les différents métaux parce que vous avez parlé de l'inox tout à l'heure?

R.Vourch : Ah bah ouais, l'inox c'est facile à travailler, c'est un acier qui est plus souple (rires). Quand il est chaud on fait ce qu'on veut avec l'inox.

J : D'accord oui, ce qui est plus dur en fait enfin, c'est l'acier.

R.Vourch : C'est l'acier le plus dur.

MM : Et pour une pièce comme celle-ci donc celle de l'image 6 qui est quand même une pièce relativement importante, combien de temps de chauffe à peu-près il fallait pour une pièce de cette taille-là?

R.Vourch : Au four?

MM : Oui au four

R.Vourch : Heu... ouh là... Le gars il mettait en route le four le matin à 6h30 qu'il venait quand il y'avait un bloom, il allumait son four, la pièce était mise dedans la veille

MM : Ah la veille!

R.Vourch : La veille, on mettait la pièce dedans.

MM : Ah d'accord

R.Vourch : On mettait la pièce de forge la veille, elle prenait la température du four un peu déjà parce que le four n'est pas froid en une nuit il refroidit pas hein, 1250 degrés il va pas passer à 100 degrés hein, il reste à 500, 600, 700. Alors là déjà il prenait la température, et le matin il venait à 6h30 et nous on démarrait vers les 10h.

MM : D'accord, comme ça la pièce était déjà prête quand vous arriviez, vous étiez prêt à travailler.

R.Vourch : C'était chaud, on pouvait attaquer tout de suite le forgeage.

MM : D'accord, et du coup ça on en a parlé tout à l'heure, c'est une question qu'on comptait poser justement, on se demandait qu'elles étaient les aspérités donc ça c'est bon vous nous expliqué, c'est la calamine.

R.Vourch : C'est la calamine.

MM : Et pour une pièce comme celle-ci une fois que vous avez terminé de la travailler, c'était quoi à peu près le temps de refroidissement de la pièce?

R.Vourch : Oh très lent, heu... une journée peut-être, 24h, heu... peut-être plus.

MM : D'accord

R.Vourch : Oh ouais, au-delà de 24h

MM : Ah oui

R.Vourch : Oh bah ouais le temps que ça refroidisse une masse de métal comme ça vous imaginez.

MM : Vous la mettiez jamais dans l'eau?

R.Vourch : Non, ça c'est la trempe ça, quand on confectionnait des pointerolles, des burins, par exemple pour ceux qui travaillent la maçonnerie, on leur reforgeait des burins, et même pour des bateaux aussi on avait besoin des burins et donc on les trempait à l'huile ! A l'huile ou à l'eau, mais je préférais la trempe à l'huile c'était meilleur.

J : Donc là on va passer à l'image numéro 7, donc tout d'abord quels sont les objets qui se trouvent là dans le jambage du marteau-pilon ?

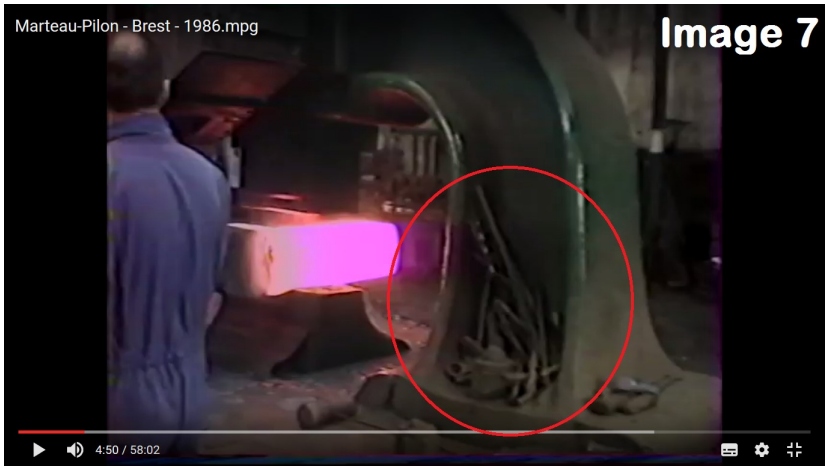


FIGURE B.7 – Image 7

R.Vourch : (rires) Là, y'a des tenailles, y'a un peu de tout.

MM : Elles étaient placées là pour que vous soyez juste à côté pour les prendre rapidement ?

R.Vourch : C'est pas des pièces de grande importance.

J : D'accord, et faut-il une formation particulière pour certains outils manuels ?

R.Vourch : Certains outils manuels heu...

J : Vous avez parlé tout à l'heure de la tenaille par exemple qui nécessitait une certaine expérience.

R.Vourch : Ah bah oui pour tenir les tenailles il fallait déjà de l'expérience. Un gars arrivait le premier jour on lui donnait pas les tenailles, il faut quand même avoir vu, tenu les tenailles déjà pour les petites pièces parce qu'on avait des petits pilons de 150 kilos, 250 kilos, 350 kilos, on travaillait déjà au petit pilon pour habiliter les gars et après il passait au 4,5 tonnes et après au 6 tonnes, vous voyez il y avait plusieurs épreuves avant.

J : Et donc vous avez fait le geste pour tenir les tenailles mais en fait quel était le risque pour un jeune de lui donner les tenailles directement ?

R.Vourch : Il se casserait les poignets (rires) ah oui ça c'est évident.

J : Comment contrôlait-on le marteau-pilon ?

R.Vourch : Comment ?

J : Comment contrôlait-on le marteau-pilon, en tout cas le pilonnier il avait on a vu une barre qui permettait de monter descendre et une pédale, comment ça marchait ?

R.Vourch : (Montre ses photos) Là c'est une journée porte-ouverte, je montre à des gens comment on tenait la tenaille, y'a pas de pièce on s'imagine qu'il y en avait une (rires). Et le pilon quand il frappe bien lancé c'est plus de 6 tonnes hein la frappe, alors si vous tenez la tenaille pas bien, déjà vous avez le choc dans le poignet, ah bah obligatoirement.

J : Et donc il y a une manière particulière de la prendre en main la tenaille ?

R.Vourch : Ah bah faut bien la serrer, bien la tenir, pas lâcher et que ce soit bien serré.

J : Il y a une position des bras particulière ?

R.Vourch : Oui il faut les bras comme ceci (fait le geste) Suivant la position de la pièce des fois c'est comme ça aussi (fait le geste).

J : Et donc pour le marteau-pilon comment il était contrôlé ? Enfin comment celui qui l'utilisait s'en servait ?

R.Vourch : Oulah, là c'est la question la plus difficile la manœuvre du pilon, très délicat.

J : La pédale ça permettait de contrôler l'arrivée d'air comprimé ?

R.Vourch : La pédale au sol vous avez vu ?

MM et J : Oui !

R.Vourch : Ça c'est pour le frein pour le linguet qui se trouve en haut pour tenir la masse du pilon accroché en haut du marteau-pilon. Il appuie sur la pédale, le linguet sortait, et il reposait sa masse de pilon sur le linguet, vous avez saisi ?

MM : Oui

R.Vourch : C'est bon

J : Et donc le fait de monter ou descendre la barre c'était de faire rentrer de l'air comprimé ?

R.Vourch : Oui l'admission et c'est très dur à maîtriser parce que moi j'ai essayé pendant deux ou trois mois d'apprendre, ben j'étais pas bon, je n'arrivais pas à la maîtriser.

J : Et donc l'air comprimé il poussait la masse, et après il était évacué et la masse tombait d'elle-même, c'est ça ?

R.Vourch : Ouais poussée par l'air comprimé.

J : Ah oui ça poussait aussi en haut ?

R.Vourch : Ouais ouais

J : Et donc l'air comprimé était dans un compresseur ?

R.Vourch : Des compresseurs qui se trouvaient sous le tunnel où passait le train qui va à Laninon, là y'avait les groupes de compresseurs énormes, immenses, et quand on manquait d'air on leur téléphonait on leur disait « dépêchez-vous mettez un autre groupe en route, on a plus de pression nous on peut plus travailler ! ».

J : Et l'évacuation elle se faisait . . . parce que l'air devait sortir à un endroit.

R.Vourch : Ouais elle sortait par une tuyauterie extérieure.

J : Ah oui donc c'est par le toit que ça sortait ?

R.Vourch : Pas par le toit, par le côté par un mur.

J : Parce qu'on voyait qu'il y'avait un tuyau qui sortait du toit, et ça c'était pour la vapeur plutôt alors ?

R.Vourch : Oui ça ça a dû servir à la vapeur mais je ne sais pas comment ça fonctionnait à la vapeur.

J : D'accord très bien

R.Vourch : Ça je vous répondrai pas.

MM : Alors on va passer à l'image 8, là la question qu'on se posait par rapport à l'image 8 c'est l'utilisation de cette barre, donc pour faire contrepoids.

FIGURE B.8 – Image 8

R.Vourch : C'est la queue, c'est la queue du marteau-pilon pour faire contrepoids, on appuie dessus là vous voyez, on appuie normalement dessus pour faire levier sur le vireur, et hop à la grue il avance, la pièce avance sur l'enclume, ou recule sinon, ça dépend où on veut frapper.

MM : Parce que la question qu'on se posait justement avec Julien, c'est si ça arrivait que vous travailliez des pièces que vous transportiez directement avec la grue sans utiliser cette barre ?

R.Vourch : Oh oui bien sûr.

MM : Si c'était des pièces plus petites et plus légères ?

R.Vourch : Oui on les sortait directement du four.

MM : Donc là (en montrant l'image) c'était vraiment pour des pièces importantes et très lourdes quoi.

R.Vourch : Là c'est pour les pièces les plus importantes qu'on forgeait là, on mettait la queue, moi j'ai vu 6/7 gars à la queue.

MM : C'est pour mettre tout leur poids sur la barre.

R.Vourch : Tout notre poids pour faire levier, pour appuyer sur la chaîne, faire pencher pour avancer.

J : Et là vous êtes sur la photographie ou pas ?

R.Vourch : Oh je suis là quelque part.

MM : Nous on pensait que cette personne c'était vous (en désignant un homme sur la photographie). On trouve qu'elle vous ressemble.

R.Vourch : Peut-être je dirais même pas (rires) On a été tellement de fois à la queue que... (Rires)

J : Donc on va passer à l'image numéro 9 maintenant. Donc ici on voit un homme avec une masse, et tout d'abord la première question c'est pourquoi frappe-t-il ?

FIGURE B.9 – Image 9

R.Vourch : Ah...

MM : Pourquoi cet endroit-là ?

J : Est-ce les calles ou l'objet qu'ils frappent ?

R.Vourch : C'est les coins. C'est les coins qui se sont desserrés parce qu'ils étaient coincés dans l'emporte-pièce métallique, vous voyez ici (montre l'écran avec l'image) qui est rectangulaire.

MM : Oui

R.Vourch : Donc la queue passe dedans, la queue est engagée dedans et les chaînes maintiennent la queue sur le bloc et donc il arrive que les coins se desserrent au cours du forgeage et là le gars à la masse, c'est Jean-René un copain il resserre les coins à la masse.

J : Et comment vous saviez que c'était en train de se desserrer, vous voyiez du jeu dans la pièce ?

R.Vourch : Ah y'avait du jeu ! Oh bah la queue ça bouge de partout ! Y'a plus de stabilité.

J : Et donc là à ce moment-là en fait le pilonnier lui il a lâché toutes les commandes ?

R.Vourch : Ah ben il maintient son pilon au-dessus de la pièce c'est tout.

J : Avec la pédale quoi ?

R.Vourch : Oh non pas la pédale, la pédale je vous ai dit c'est pour l'accrocher là-haut, la pédale, il appuie dessus, son linguet sort la masse de pilon pose dessus et là y'a aucun risque.

J : D'accord donc il maintient juste sa barre pour pas... (RV coupe)

R.Vourch : Il maintient en pression son pilon au-dessus, à 1,50, 1 mètre au-dessus.

MM : Alors on va passer à l'image 10. Là on va poser la question par rapport à l'image 10 et l'image 11. En fait on voyait qu'à ce moment-là il y avait une personne qui frappait le marteau... (RV coupe)

FIGURE B.10 – Image 10

FIGURE B.11 – Image 11

R.Vourch : AAAhh!

MM : Il y a une barre de métal.

R.Vourch : Ca je peux vous dire c'est le bélier ça.

MM : On appelle ça un bélier ?

R.Vourch : Oui cette pièce là c'est un bélier ça. C'est le bélier qui est relié avec deux chaînes et c'est la queue du pilon, la clavette, la clavette du pilon, la clavette de la masse supérieure qui s'est desserrée à force de donner des grands coups de pilon. Et nous pour la resserrer et ben on prend le bélier (mime le geste du bélier contre le marteau) on tire à trois ou quatre dessus et le bélier avec sa force il enfonce la clavette et le pilon peut repartir à ce moment-là, parce que la clavette c'est un danger si elle part.

MM : Et ça ça arrivait si vous utilisiez le marteau-pilon pendant un certain moment

R.Vourch : Ouais c'est au bout de plusieurs frappes, et de fortes frappes que ça arrive. Les petites frappes ça n'arrive pas.

J : Donc c'était souvent en fait que vous mettiez des grands coups.

R.Vourch : Oh bah ouais, quand on faisait de grands coups de grands forgeages et bien il arrivait que la queue...c'est pas toutes les fois hein! Mais il est arrivé qu'au bout d'un moment elle se desserrait et il fallait la rebloquer. Et ça s'appelle le bélier.

MM : D'accord et on se posait la question de savoir si c'était déjà arrivé que le marteau-pilon tombe en panne ?

R.Vourch : Oh oui y'a eu des pannes.

MM : C'était des pannes de quel ordre ?

R.Vourch : Y'avait un service de maintenance... Heu bah je vais vous dire tout de suite la panne qui est arrivée, vous n'avez peut-être pas vu au-dessus du pilon, de la masse, y'avait deux butées en bois cerclées avec des cercles métalliques de 4cm, coniques qu'elles étaient les butées, des butées en bois de chaque côté comme ça, haute comme ça (fait un geste) ça c'était les butées qui étaient en bout de course du pilon, si le pilon partait, si il le maitrisait plus par exemple qu'il partait en haut de tout et ben il y avait les butées pour l'arrêter, et ça arrivait qu'elles explosaient les butées si le choc était trop fort, le pilon était parti trop vite en l'air et ben il y avait les butées qui explosaient. Y'avait des butées à changer souvent, on remettait des neuves, des cercles et on repartait après.

MM : Il arrivait qu'il y ait d'autres soucis que celui-ci ?

R.Vourch : Heu mécanique ça arrivait ouais des fois, usure de pièces, ouais ça arrivait, la tige du pilon pouvait casser au bout de 20 ans c'est arrivé qu'elle cassait.

MM : Elle cassait net pendant le travail d'une pièce ?

R.Vourch : Ouais tout d'un coup la masse boum, tombait en bas et la tige remontait toute seule en haut du pilon. (rires)

MM : Ça devait être impressionnant !

R.Vourch : Ah c'était impressionnant ! Moi je l'ai vue casser (rires) et ça arrivait tous les 20 ans environ, moi j'ai vu une casser c'est tout. Mais on avait une tige de rechange hein.
MM : Vous pouviez la changer vous-même ?

R.Vourch : Ah non, les mécaniciens à la maintenance du plateau venaient des Capucins, y'avait une équipe de mécanos qui venait, qui intervenait, nous on s'occupait pas de la maintenance du pilon.

MM : Et justement pour changer cette tige, ça prenait beaucoup de temps ou pas ?

R.Vourch : Oh bah là il fallait l'usiner, il fallait qu'elle aille au plateau à l'usinage, il fallait qu'elle soit ajustée, montée après, remise à sa place, c'était peut-être heu... fallait échafauder oh c'était long ! Ca durait peut-être huit jours, quinze jours suivant les travaux d'usinage, si c'était disponible pour l'usiner. Mais c'était fait rapidement quand même, c'était fait rapidement.

MM : Et du coup pour continuer à travailler les pièces, si celui-ci ne fonctionnait plus ce marteau-pilon... (R.Vourch coupe)

R.Vourch : On allait au 4 tonnes 5.

MM : Voilà vous utilisiez l'autre.

R.Vourch : Le 4 tonnes

MM : D'accord

J : Et donc là on va passer par contre à l'image numéro 12 donc ici, donc on va vous demander comment se présente le morceau de métal quand il arrive à l'origine ?

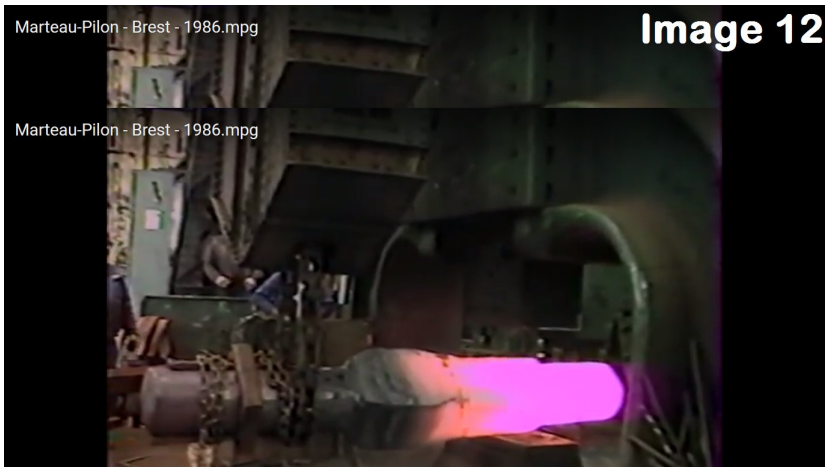


FIGURE B.12 – Image 12

R.Vourch : A l'origine c'était un carré, d'abord on forme la queue, cette partie-là, de manière à fixer le matériel et la queue dessus, et ça c'est la pièce à forger, c'est un cylindre qu'on veut faire, une pièce ronde, on la voit elle prend forme.

J : Et donc après elle sera découpée ?

R.Vourch : Oui on la découpe à chaud, on avait des tranches, on mettait une dessous, une en dessous, un tranchoir dessous, et une autre par-dessus qu'on tenait à la main avec une queue aussi et le pilon tapait et il coupait comme ça à chaud la pièce.

J : D'accord, ah oui

R.Vourch : Ah ouais c'était coupé comme ça à chaud, vous avez ciblé ?

J : Oui parce que ça on le voit pas dans le film en fait.

R.Vourch : Dans le film c'est pas... on n'a pas passé ces images-là.

MM : Là dans l'image 13 on voit ici... (R.Vourch coupe)

FIGURE B.13 – Image 13

R.Vourch : Là c'est le chef d'équipe là, Mr. Denis Michel, Denis, le chef d'équipe.

J : C'est Mr. Denis qui est à l'arrière-plan ?

MM : Non celui au premier plan. Là la question que l'on se pose c'est au niveau du geste que fait la personne qui se trouve ici, on voulait savoir à quoi servait ce geste, et s'il existait plusieurs gestes entre vous pour pouvoir savoir ce qu'il fallait faire ?

R.Vourch : Ah bah y'avait plusieurs gestes. Obligatoirement. Si on voulait le faire tourner on disait au grutier (mime le geste de la main pour tourner la pièce) tu mets sur l'angle

par exemple, on va casser les arrêtes ou décalaminer, après on va le rouler pour faire un hexagone et on va frapper sous tous les angles et de manière à lui donner un cylindre, le mettre rond.

MM : Parce que là le geste que fait la personne sur la photo, on voit qu'il lève la main vers le haut.

R.Vourch : Il dit de lever à la queue, on voit par rapport à l'enclume, vous ne voyez pas que le bloc est trop haut à l'arrière là.

MM et J : Si si

R.Vourch : Il n'est pas à niveau, il dit de lever la queue, il fait le geste, faut lever la queue, et ça c'est le gars qui est à la grue qui monte sa chaîne, il monte l'ensemble, c'est le vireur quoi, le vireur que ça s'appelle. Il sert à virer les pièces, le nom le dit bien. (rires)

J : Donc l'image 14 donc, ici nous pouvons observer deux fois le même geste, donc votre chef d'équipe ici, et puis y'a un deuxième homme au fond là-bas aussi, donc la question ici c'est tout simple, est-ce qu'ici l'homme au premier plan se place comme un miroir pour informer le pilonnier du geste ?

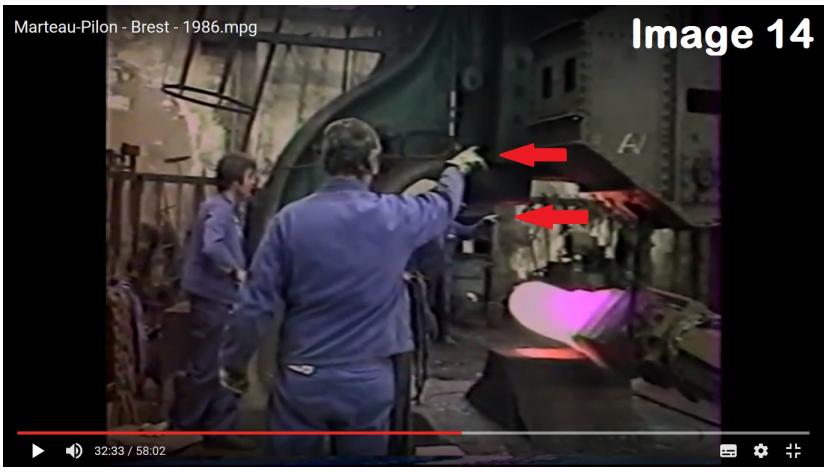


FIGURE B.14 – Image 14

R.Vourch : Oui

J : Parce qu'en fait le pilonnier il avait une vue assez limitée c'est ça ?

R.Vourch : Ouais assez limitée, il voit pas le niveau, il voit pas le... si les gars ont les mains sur la queue, comment il frappe, il faut qu'il ait l'œil à tout, le pilon c'est difficile hein, faut être attentif.

J : Et devant lui il y a un tablier en métal, ça c'était pour le protéger des projections c'est ça ?

R.Vourch : Ouais

J : D'accord

R.Vourch : Y'avait des tenailles posées dessus d'ailleurs, vous avez dû voir peut-être non ?

J : Oui, y'a plusieurs instruments d'ailleurs.

R.Vourch : Des petites tenailles pour les petites pièces. (MM change la photo) Ah je reviens ! Le manomètre pression à 7 bars 5 vous voyez ?

FIGURE B.15 – Image 15

MM : Comment vous avez dit que ça s'appelait ?

R.Vourch : Un manomètre

MM : Et bien justement c'était notre question on voulait savoir ce que c'était, et à quoi ça servait

R.Vourch : C'est un manomètre qui indique la pression d'air. On avait l'œil dessus tout le temps nous avant de commencer à travailler, avant de commencer on regardait le manomètre, et il y'avait 7 bas 5, s'il y avait 6 bars on croche pas dedans, moins de 6 bars on touche pas ! Le pilon est incontrôlable à moins de 6 bars.

J : Donc il faut être à plus de 6 bars... (RV coupe)

R.Vourch : Plus de 6 bars !

J : Jusqu'à combien de bars ça pouvait aller ?

R.Vourch : Bah 7 bars 5 pas plus haut, c'est le maximum de pression qu'on pouvait avoir, on n'avait pas plus.

J : Et donc s'il y avait moins c'était là où il fallait commander de l'air comprimé ?

R.Vourch : Oui, on allait voir au bureau le chef et on disait « hey vous téléphonez de suite hein, nous on n'a pas d'air ».

J : Et ous en fin de compte quand on a visité les forges, ce manomètre n'est plus présent il était placé où ?

R.Vourch : Il y était plus quand vous l'avez visité ?

MM : Ou alors on ne l'a pas vu.

R.Vourch : Vous l'avez pas vu que c'est, parce qu'il existe.

J : Mais il était placé où ?

R.Vourch : Au fond ! Le 4 tonnes 5 est à droite, en face ! Sur le mur

MM et J : D'accord

R.Vourch : Sur le film d'Olivier Bourbeillon on le voit bien oui.

J : Donc l'image numéro 16, alors tout d'abord quel est cet outil, et à quel usage est-il destiné ?

FIGURE B.16 – Image 16

R.Vourch : Aaaah ça je vais vous expliquer de suite c'est pas compliqué c'est un marbre. Et ça se sont des valets.

MM : L'instrument ici c'est un valet ?

R.Vourch : Ça c'est un valet c'est pour dresser les pièces à chaud ou les coincer avec l'empâtement là, vous voyez là y'a une partie plate, et bien on serrait avec le valet, on tapait à la masse dessus la tête du valet là, à l'angle et ça coinçait les pièces et on pouvait donner des formes sur des gabarits, arrondir, cintrer, faire ce qu'on voulait sur le marbre.

J : Et quels sont les outils utilisés le plus fréquemment ? Les tenailles ou la soufflette ? Les moules, le témoin ?

R.Vourch : Ah les matrices

J : C'est les matrices qui sont le plus souvent utilisées ?

R.Vourch : Les matrices, les tenailles, faut savoir faire tout ça, matrices, tenailles, heu....Qu'est-ce qu'il avait encore... des compas, on a forgé les butées du Charles de Gaule, on avait des grands compas, parce que ces butées elle avait au moins 1,10m de diamètre fini.

J : Ah oui

R.Vourch : Ah bah quand même, c'est pas rien ! Là elle est pas à 1,10m encore, y'a de quoi tourner si le frettage, là elle est au frettage et là elle tourne sur un axe avec un outillage qu'on avait confectionné nous-même et un cliquet , le gars au cliquet il fait tourner et nous on tient les tenailles droites et le gars tape dessus au pilon à mesure que nous on tourne pour remonter le diamètre, et on avait des compas, des grands compas pour avoir le diamètre extérieur et le diamètre intérieur , c'est pour ça qu'on avait toujours deux compas pour une fret. Et la fret de la butée du Charles de Gaule ne rentrait plus dans le four, elle avançait pas dans le four, elle rentrait qu'en diagonale, on arrivait à la faire passer en diagonale juste.

MM : Là sur l'image 17 c'est un extrait qu'on a pris sur le film de Bourbeillon... (R.Vourch coupe)

FIGURE B.17 – Image 17

R.Vourch : Ça c'est moi là !
MM : Vous reconnaissez vos mains ?
R.Vourch : C'est ma montre alors je sais. (rires)
MM : En fait on voulait savoir justement quel était cet appareil et à quoi ça servait ?
R.Vourch : C'est un croc automatique.
MM : Un croc ?
R.Vourch : Un croc automatique
MM : Et ça sert à quoi ?
R.Vourch : Ça sert à maintenir des pièces à bord des bateaux.
MM : D'accord
R.Vourch : Oui c'est un croc automatique et il se manœuvre facilement, on l'ouvre, cette partie-là s'ouvre et on peut passer des chaînes dedans ou ... ça c'est dans le film d'Olivier Bourbeillon.
MM : Oui oui
J : L'image 18, là c'est encore vous.

FIGURE B.18 – Image 18

R.Vourch : Ouais c'est moi là, je redresse une patte d'oie d'ancre.
J : Voilà, et quel est donc cet outil que vous avez dans les mains ?
R.Vourch : Et bien c'est une calle. Quand j'ai commencé à forger au 6 tonnes on m'a mis à tenir les cales et là c'est à l'aide de la cale, on va lui ordonner de donner un petit

coup ou un grand coup, et vous voyez le manipulateur qui tient l'ancre , la pince de forge, c'est elle qui tient l'ancre.

J : Et donc c'est elle qui est arrivée dans les années 90 ?

R.Vourch : 90 !

J : Et donc vous vous en serviez assez fréquemment ?

R.Vourch : Oh bah oui tous les jours !

J : Donc après en fait y'avait plus besoin d'avoir tous les hommes à tenir la barre derrière ?

R.Vourch : Bah moins !

J : Et donc pourquoi vous positionnez la calle à cette endroit-là ?

R.Vourch : Parce qu'elle est cintrée là, pour la ramener droite. Je la change de place, je donne un coup-là, je donne un coup ici, un coup là-bas, en trois positions je dois remettre la calle au moins pour la redresser la patte d'oie. Ça c'est à froid hein, pas besoin de chauffer !

MM : Sur l'image 19 c'est toujours . . . (R.Vourch coupe)

FIGURE B.19 – Image 19

R.Vourch : Je vous avais expliqué on tapait sur les angles pour chasser la calamine et là on voit la calamine est partie noire là.

MM : Parce que justement dans le film d'Olivier Bourbeillon on vous voit en train de manipuler cette pièce-là, et vous tapiez sur les angles pour lui donner une forme arrondie, et on voit que le geste est très très rapide en fait et vous vous comprenez en vous regardant.

R.Vourch : C'est mécanique ! Un regard c'est suffisant, on se comprend.

MM : Et justement ma question c'est de savoir au bout de combien de temps vous avez ces automatismes et vous savez exactement comment positionner la pièce.

R.Vourch : (Rires) Au bout de 6 mois

MM : Au bout de 6 mois ? C'est aussi rapide que ça ?

R.Vourch : 6 mois, 1 an peut-être. . . .au oui entre 6 mois et 1 an

MM : C'est rapide !

R.Vourch : C'est rapide, oh oui

MM : Tout à l'heure on en a parlé rapidement, par rapport au métal qui était utilisé, le métal que vous utilisiez le plus souvent pour le forgeage des pièces c'était l'acier ?

R.Vourch : L'acier

MM : Principalement quoi ?

R.Vourch : L'acier, plusieurs sortes de nuances d'acier mais de l'acier.

MM : D'accord parce que c'est me métal le plus solide et le plus facile à travailler ?

R.Vourch : Pour le forgeage c'est le mieux et je vous dirais le but du forgeage c'est quoi? Je vais vous dire moi, c'est d'augmenter la dureté du métal. En forgeant l'acier on augmente la dureté du métal. C'est ça qui est important, c'est ça justement le but du forgeage, pourquoi on fait pas des pièces usinées dans l'acier directement? Pourquoi on les forge? C'est pour augmenter la dureté du métal.

J : Parce que vous compressez en tapant dessus c'est ça?

R.Vourch : Bah oui on compresse, ça augmente la dureté du métal.

MM : Et au niveau des pièces que vous étiez en train de forger on se posait la question de savoir pour quel type de navire généralement c'était? Si c'était pour des navires de surfaces ou parfois pour des sous-marins? Est-ce que vous aviez déjà ces informations, est-ce que vous saviez?

R.Vourch : Oh on savait pas toujours hein!

MM : On vous demandait de forger une pièce mais vous ne saviez pas forcément pour quel type de... (R.Vourch coupe)

R.Vourch : Non on savait pas pour quel type, a quoi servait...certaines pièces on savait mais....comme les têtes de marqueurs, on savait que c'était pour les têtes de missiles comme celle de Saint Nicolas comme pour certaines pièces les??? on savait que c'était pour les ancres, les matriçages de ... pour la chaudronnerie, qui soudait leurs tuyaux... Les brides! Une bride vous savez ce que c'est une bride? C'est un cylindre avec un trou à l'intérieur, ils soudent leur tuyau et à l'usinage ils ont percé des trous pour mettre des boulons et avec deux brides il les assemble et ils assemblent deux tuyaux et avec des boulons, vous voyez?

MM : Oui

R.Vourch : Bah c'est bon, vous pigez bien! (rires) Vous avez bien étudié votre dossier!

J : L'image 20, ici, comment se nomme ces deux objets?

FIGURE B.20 – Image 20

R.Vourch : Ah!

J : Donc il y a la matrice je pense.

R.Vourch : Non là y'a pas de matrice, ça ça sert pour faire une butée d'arbre d'hélice, on va percer là, il a plus qu'un coup de pilon à donner et c'est percé. On a mis un emporte-pièce dessous du diamètre et avec un trou, naturellement plus grand que l'emporte-pièce qui va percer.

MM : Pour que la pièce du haut tombe.

R.Vourch : Oui et la chute va tomber dans l'emporte-pièce.

MM : Donc l'emporte-pièce c'est celle qui se trouve en dessous de la pièce à forger et celle du dessus vous avez dit elle s'appelle comment ?

R.Vourch : Un poinçon. Et ça il est centré dans le film, on le centre à l'œil ! Avec la tenaille on le met, c'est fait à vue d'œil le centrage du poinçon sur la pièce forgée, c'est au coup d'œil hein, y'a pas de mètre y'a rien, et c'est précis quand même

MM : Avec l'expérience finalement vous avez acquis des automatismes qu'on ne peut pas avoir au début de carrière en fin de compte.

R.Vourch : Oh bah oui tout à fait.

MM : Donc là, en fait, on vient de terminer la partie technique. On aimerait juste vous poser quelques questions par rapport à notre projet, donc on vous a donné le dossier de présentation, comme cela vous avez un petit aperçu de notre travail. Donc en fait, nous c'est simple, notre travail avec Julien cela va être de faire la recherche historique sur le marteau-pilon et aussi de créer...

R.Vourch : Cela me fait drôle ces images (découvrant une application virtuelle du marteau-pilon sur l'ordinateur de Julien).

J : Oui en plus, on va vous montrer là, rapidement...

R.Vourch : Qui c'est le monsieur qui est là ?

MM : On appelle cela un avatar.

R.Vourch : Ah oui ! C'est...

MM : Un personnage...

R.Vourch : Une image imaginatrice

MM : Donc là, vous avez un aperçu du marteau-pilon qui a été modélisé.

R.Vourch : Vous êtes montés par l'échelle ?

MM : Voilà...

J : Oui

MM : On est monté par ici.

R.Vourch : Vous n'avez pas eu peur ?

MM : Si, moi j'ai eu.

R.Vourch : (Rire)

J : Et du coup, à travers ce modèle vous arrivez à vous retrouver comme si vous étiez dans les forges ?

R.Vourch : Oui

MM : Est-ce que c'est fidèle à la réalité de ce que vous voyez là ?

R.Vourch : Oh oui. C'est tout à fait cela. (Regardant attentivement l'écran) La grue, les manettes, les manettes du vireur, le gars était debout aux manettes, ici (pointant le poste de contrôle du grutier). Voilà. Vous n'avez pas au fond, le manomètre de pression d'air, c'est bizarre cela.

J : Oui puis sur cette représentation, par exemple, je pense que vous allez dire qu'il manque aussi les outils, les tenailles sont pas là.

R.Vourch : Les tenailles ne sont plus là, tout est vide, il n'y a plus rien ! Il a été bétonné le sol après partout, alors que c'était de la terre battue, moi j'ai connu tout cela dans de la terre battue.

J : Donc jusqu'à votre retraite, c'était en fait de la terre battue ?

R.Vourch : Ah non pas en 2005, en 2000 cela devait être bétonné.

J : D'accord. Donc jusqu'au marteau ?

R.Vourch : Oui et devant on avait mis des plaques de tôles, ici.

J : Oui

R.Vourch : Pour le chemin de la pince de forge en 90, on était mis au sol des plaques de tôles pour le roulement de la pince. C'était plus facile.

MM : D'accord. Et là en fait, notre travail à nous c'est non seulement de préserver le marteau-pilon grâce à la réalité virtuelle, mais comme on vous l'a expliqué dans le dossier de présentation, nous ce qui nous intéresse, c'est-ce que vous avez fait vous au sein de la forge, les gestes techniques et comment forger les pièces, les gestes en fait du forgeron. Et la question que l'on voudrait poser, étant donné que vous étiez vraiment dans l'atelier et que vous avez faits votre carrière là, on voulait savoir si vous seriez d'accord de participer avec nous au projet en tant que spécialiste et de nous informer sur ces gestes que vous avez fait tout au long de votre carrière.

R.Vourch : Oui, je ne vois pas d'inconvénients (rire).

MM : Parce que ce qu'on souhaitait vous proposer, si vous êtes d'accord bien entendu se serait qu'on fixe un jour selon vos disponibilités, qu'on vienne vous chercher et qu'on vous emmène au CERV, on vous a présenté cet établissement dans le dossier de présentation, donc c'est le Centre Européen de la Réalité Virtuelle, et c'est eux qui ont créé la vidéo que vous venez de voir. Et on vous aurait montré avec un casque de réalité virtuelle...

R.Vourch : Oui

MM : ... le marteau-pilon, comme si vous étiez dans les forges.

R.Vourch : Oui, oui, avec le casque, je connais.

MM : Voilà, et en fait, nous ce qu'on aimerait c'est que si vous acceptez de venir avec nous là-bas, ce serait de nous dire par exemple, bon là à cet endroit, ce n'est pas fidèle à la réalité, c'était plus comme cela, plus comme ça. Vous seriez d'accord de venir avec nous ?

R.Vourch : Oui oui, ça ne me dérange pas. (rire)

MM : Et aussi de savoir, justement par rapport aux gestes techniques, il existe une technologie que l'on appelle la motion capture, et donc on pose au niveau des articulations, des sortes de petits capteurs.

R.Vourch : Oui

MM : Ensuite, cela va directement dans un logiciel, et on peut reproduire ces gestes. Par exemple, si vous faites comme vous faisiez tout à l'heure, le geste de la tenaille...

J : Le bonhomme, il fera pareil.

MM : Voilà, le bonhomme va reproduire vos gestes.

R.Vourch : Va reproduire des gestes, comme ça ou comme ça.

MM : Et c'est ça qui nous intéresse justement, c'est d'avoir une trace de ces gestes que vous avez fait tout au long de votre carrière.

R.Vourch : Oui oui

MM : Donc la question serait de savoir, si vous seriez d'accord en tant qu'expert de nous renseigner sur...

R.Vourch : Si cela peut vous rendre service (rire), cela ne me dérange pas...

MM : Merci

R.Vourch : ... d'aller au CERV.

J : Donc moi aussi, dans le cadre de mon mémoire, je travaille aussi sur la réalisation d'un petit court métrage en fin de compte, qui doit être pédagogique, et en fait, pour expliquer aux enfants comment cela fonctionnait. Et donc j'aurai peut-être besoin de votre œil d'expert pour me dire si ce que j'ai dit n'est pas forcément bon ou bien pour un jeune public.

R.Vourch : Oui

J : Pour une jeune public, en fait cela serait de vous montrer le petit film que je ferai et de vous montrer si vous trouvez que c'est fidèle à la réalité ou pas.

R.Vourch : Oui bien sûr, je ne vois pas d'inconvénients.

MM : Et ensuite, on voudrait savoir si vous avez des documents de cette période au sein des forges, par exemple, vous nous avez dit que vous aviez des photos, est-ce qu'il y

a des photos justement qui représentent différentes époques ?

R.Vourch : Oh moi j'ai des photos de personnel déjà. (Montrant plusieurs photos) Là vous allez voir Mr. Roué, c'est le chef des forges. Le chef d'atelier qu'était Mr. Pouliquen, il est décédé, et lui il nous disait toujours : « En forgeage, il n'y a pas d'essai, la première pièce, c'est la bonne », on n'avait pas le droit à un essai. La première pièce, c'est la bonne.

MM : Fallait pas se louper !

R.Vourch : Fallait pas se louper, on n'avait pas le droit à l'erreur.

J : Et donc là c'est Mr. Roué ? (Montrant un homme sur la photo)

R.Vourch : (Désignant le même homme) Jean-Pierre Roué.

MM : D'accord

J : Et vous vous êtes ?

R.Vourch : Je suis derrière quelque part...

MM : Ici ?

R.Vourch : Là !

MM : Et là c'est en quelle année cette photo ?

R.Vourch : Celle-là, elle date de 82.

MM : 82.

R.Vourch : Ça c'est mon ancien chef de travaux Mr. Pierre Guénolé, qui lui était vraiment un forgeron de métier.

J : D'accord, et concernant Jean-Pierre Roué ?

R.Vourch : Jean-Pierre Roué, il n'était pas forgeron.

J : Ah, il n'était pas forgeron ?

R.Vourch : On lui a appris le métier, nous.

J : Donc, il venait vous aider quand même ?

R.Vourch : Il commandait l'atelier c'est tout, et il nous aidait pas, il ne comprenait pas le travail. On lui a appris un peu. Il n'a jamais travaillé les forges.

MM : On s'est posé la question justement car on savait qu'il était chef des forges, mais on ne savait pas s'il était passé par le métier de forgeron.

R.Vourch : Non, il n'a jamais été forgeron. Il a été formé à la plomberie d'abord. Il a appris la plomberie en premier.

MM : D'accord

R.Vourch : Après, il a fait l'école de Pontanézen, il a eu son diplôme de chef de travaux, il a été muté à Lorient, et je sais plus combien de temps il a passé à Lorient. Ensuite, il a remplacé Mr. Guénolé qui a pris sa retraite. Voilà c'est ça. Lui il était chef de travaux, il y avait un chef d'atelier. Lui (Mr. Guénolé), il connaissait la forge et le métier. C'est pour cela, lui il nous disait la première pièce, c'est la bonne. Là on devait être 23 à l'époque plein pot, et on tournait.

J : Et comme vous avez montré tout à l'heure avec la matrice qui est apparu en 1990, cela a diminué les effectifs, non ?

R.Vourch : Non, cela n'a pas diminué le personnel.

J : D'accord

R.Vourch : Cela a amélioré la qualité de travail surtout, cela nous l'a facilité pour nous. On peut pas tout faire avec la pince de forge, mais cela aidait bien. (Continuant à montrer des photos) Cela c'est le four électrique.

MM : Ce n'est pas le four que l'on voit sur le film d'Olivier Bourbeillon alors ?

R.Vourch : Si, si

MM : C'est celui-ci, d'accord.

J : Il a été détruit après 2005 ?

R.Vourch : Oui. Là j'ai des photos. Ça c'est moi qui nettoie les mailles démontables, je ne sais pas si vous voyez bien les mailles démontables. Je les nettoyais et le regraissais. Puis je les remontai et je changeai la goupille. Et là je les nettoie avec un produit, je sais même plus qu'est-ce que c'est. Ça c'est une photo d'Olivier, de son film, de tous les trois.

MM : Cela a été une bonne expérience pour vous de participer à ce projet-là ?

R.Vourch : Moi j'étais en congé, alors le directeur de l'époque de l'arsenal, responsable de la communication, il m'appelle et me dit : « Mr.Vourch vous ne serez pas intéressé de venir travailler aux forges pendant trois jours pour le tournage du film La dernière journée du marteau-pilon ? » « Oh si bien sûr, cela m'intéresse, tout à fait je vais aller. » (répondait Mr.Vourch) Il fallait être trois, à deux, ce n'était pas possible de tourner le film. Donc je suis allé aux forges pour tourner le film, et on m'a payé même les journées de travail, les trois jours. (Continuant de passer en revue les photos) Ça c'est du film. Alors là je vais vous montrer des photos, c'est des traitements des maillons de chaînes. Ça c'est les chaînes, les maillons de chaîne des bateaux. Une ligne de mouillage, cela s'appelle.

J : Ce n'est pas le banc d'essai, non ?

R.Vourch : Non non non ce n'est pas le banc d'essai ça encore, je vais vous montrer le banc d'essai tout à l'heure. On chauffait la chaîne avant quelle trempe dans un bac à coaltar.

J : D'accord

R.Vourch : Et elle sortait toute teinte après. Elle sort et c'est tout propre.

MM : Ah c'est impressionnant comme dispositif quand même.

R.Vourch : C'est archaïque un peu, mais (rire) les chaînes arrivent elles sont toutes rouillées, vous voyez, et elles repartent là toutes neuves.

MM et J : Ah oui !

R.Vourch : Là, elle entrait dans le four, tout cela est lié mécaniquement par un treuil avec un câble qui tire sur les maillons.

MM : Et cela mettait longtemps pour faire ce trajet-là ?

R.Vourch : Oh ça avançait très lentement. Fallait que ça chauffe un peu, que cela trempe bien dans le coaltar. Cela mettait au moins une heure à monter un maillon. Là, c'est moi. Tiens, je vais vous montrer le banc de traction tout à l'heure. Ça c'est les chaînes de la Jeanne d'Arc, je les reconnais. Ça c'est le forgeage d'Olivier, le film. Ça c'est le film. Ça c'est le film toujours. Celle-là, j'aime bien, on est tous les trois de profil, c'est une belle photo.

MM : Oui très très jolie

R.Vourch : Magnifique

J : Vous saviez aussi utiliser la grue (en regardant une photo) ?

R.Vourch : Oui oui, bien sûr, tout le personnel savait faire marcher la grue. On était habilité à aller à tous les postes, à part le pilon, où il y avait un spécialiste. (Continuant dans les photos) Là c'est une remise de médaille par le directeur, l'ingénieur du Plateau des Capucins, il m'a remis la médaille. Là c'est une photo du four électrique, là il n'est pas chaud, il est à 900°.

MM : Il est trop rouge là, c'est ça.

R.Vourch : Là, je suis à la manœuvre du banc de traction, 300 tonnes.

MM : Ouh là, ah oui

R.Vourch : Avec un volant, je tourne le volant et il monte en pression, 300 tonnes !

MM : Ça c'était un appareil qui était proche du marteau-pilon ?

R.Vourch : Non, il est à l'extérieur.

MM : A l'extérieur

R.Vourch : Oui, dehors. Il y avait une fosse, où on mettait le maillon dedans, des maillons de chaîne de 30m de long. Là, c'est le marteau-pilon de Bourbeillon. Là c'est une photo de forgeage du bloom, la queue, les gars-là à la queue.

J : Et le bloom, fin c'est une pièce en fin de compte ?

R.Vourch : Le bloom, c'est tout le bloc.

J : D'accord oui. C'est tout le bloc qui n'est pas découpé encore.

R.Vourch : C'est le bloc de métal. Voilà le banc de traction qui est testé à 300 tonnes. La pièce qui est là mesure la force du banc de traction 300 tonnes. Vous voyez un peu. Ça ce sont toutes des pièces de forgeage, des matrices, on avait un local pour ça qui faisait 100 m2 de surface, avec des étagères et des pièces, des emporte-pièces. Que ça, que ça. Là c'est le banc de traction. Là, c'est Mr. Traitour, ingénieur de la DCN qui me remet une distinction pour les pinces de forge qu'on avait inventée. On avait reçu 300 euros mon collègue et moi, tous les deux pour avoir confectionné ces pinces de forge. On les avait inventés, c'est nous qui avons inventé le système, et confectionné.

MM : Et ça c'était en quelle année ?

R.Vourch : Oh, 92 ou 90

MM : Du coup, vous avez facilité le travail après...

R.Vourch : 91 la distinction

J : Oui, au final, c'est vous qui avez amélioré les conditions de travail.

R.Vourch : Là, c'est un petit pilon de 250. Regardez, les vapeurs qu'il y a quand même de fumées préchauffées, le coaltar qui trempe dans le bac qui sort, le maillon de chaîne de la Jeanne. Regardez le maillon de chaîne de la Jeanne, elles sont belles ?

MM : Ah c'est joli.

R.Vourch : C'est beau hein ?

J : Oui, c'est joli.

MM : C'est une belle photo, celle-ci aussi.

R.Vourch : C'est une belle photo, hein ? Et voilà les petits fours. Les petits fours pour les petites pièces.

J : Ah oui d'accord

R.Vourch : Les petits fours, on mettait 3, 4 pièces dedans à chauffer.

MM : Et vous pouviez le déplacer celui-ci du coup ?

R.Vourch : Ah oui bien sûr

MM : Ça change du gros four qu'on voit dans...

R.Vourch : Les presses à friction dont je vous ai parlé au départ avec les balanciers et la courroie qui est maintenue sur le balancier, celle-ci à l'intérieur, là en bas. Et ça coulisse le long, on voit le frottement de la courroie qui coulisse.

MM : D'accord

R.Vourch : Vous voyez ?

J : Ah oui d'accord

R.Vourch : Il reste plus rien tout a été ferraillé chez Guyot au port de commerce, 13 camions qu'il a dû avoir. Et c'est nous qui avons vidé tout l'atelier, les trois derniers forgerons.

J : Moi, j'ai une dernière question avant de passer à la conclusion à vous poser...

R.Vourch : Oui

J : On a parlé tout à l'heure des conditions, et au final, dans notre travail, il est important pour nous de savoir, qu'est-ce qu'il vous reste comme souvenir si on devait vous demander une odeur.

R.Vourch : Une quoi ?

J : Une odeur, par exemple.

R.Vourch : Une odeur de forge ?

J : Oui

R.Vourch : Ah, les pièces chaudes cela a une odeur.

J : C'est le dégagement de la chaleur du métal ?

R.Vourch : Oui

J : Et au niveau de l'audition, c'est les coups de marteau, la grue qui fonctionne ?

R.Vourch : Le marteau-pilon fait du bruit, et surtout les appareils au niveau auditif. Vous avez vu l'état de mes oreilles ?

J : Ah oui

R.Vourch : Je suis appareillé des deux côtés, depuis déjà 4-5 ans.

J : Oui, c'est les conséquences du marteau.

R.Vourch : Bah oui, le bruit. J'entends plus la télévision, ma femme me rouspétait parce que je mettais le son trop fort. Maintenant, c'est bien c'est moi qui baisse le son. (Rire)

MM : Donc là, en fait, on voulait vous poser trois petites questions pour conclure l'entretien, on voudrait savoir pour vous quels ont été les avantages et les désavantages du travail au sein des forges ? R.Vourch : Les avantages ?

MM : Qu'est-ce que vous avez le plus apprécié dans cette carrière ?

R.Vourch : Moi, je dirai de suite, à faire demain j'ai 25 ans, je retourne aux forges. Les forges redémarrent, je repars.

MM : C'est devenu en fait plus qu'un métier, c'est devenu une passion.

R.Vourch : C'est une passion, oh oui c'était un métier mais c'est une passion.

MM : Ça a été depuis le début ou c'est à force d'avancer dans la carrière ?

R.Vourch : A force d'avancer dans la carrière, j'ai travaillé l'acier avant, j'étais ferronnier d'art, pendant 9 ans.

MM : Ah oui !

R.Vourch : J'ai travaillé dans l'acier et le fer, j'ai toujours aimé le fer. Ma rampe d'escalier, c'est moi qui l'ai faite, je vous montrerai tout à l'heure. Ma rampe d'escalier, elle est en fer forgé.

J : Ah oui

R.Vourch : De la ferronnerie d'art je faisais.

J : Dans cette envie d'y retourner, on sent que le plan humain aussi est important dans votre travail en équipe, vous étiez vraiment une équipe soudée ?

R.Vourch : Ah, c'est obligé qu'elle soit soudée, ça marchait pas sinon, il y avait deux équipes au pilon. Une équipe qui coupait à la scie un bloc d'acier, l'autre qui était au four qui passait au pilon. Et puis la première équipe partait ailleurs, et la deuxième avec les pièces dans le four repartait au pilon de suite. Il y avait deux équipes à travailler. Cela faisait 7 personnes au pilon. Deux équipes de 3 plus le pilonnier cela faisait 7.

MM : C'est quand même, une sacrée équipe.

R.Vourch : Ah c'était une sacrée équipe.

MM : Et justement, vous avez un peu répondu à ma question tout à l'heure, en disant que vous seriez partant pour refaire...

R.Vourch : Ah moi, je repartirai de suite.

MM : Et justement, si vous aviez l'occasion de repartir aux forges et de travailler avec le marteau-pilon, s'il y avait des choses à modifier, à changer ?

R.Vourch : Ah, il y a des choses à changer, à modifier.

MM : Ce serait quoi ?

R.Vourch : Moi je n'ai pas visité les forges de Gléon, je vous disais qu'à la fin on travaillait en sous-traitance pour les de Gléon, dans les forges d'Hennebont, vous en avez

peut-être déjà entendu parler ?

MM et J : Oui

R.Vourch : Et j'ai des copains qui ont visité les forges d'Hennebont. Moi j'aurais bien aimé visiter les forges d'Hennebont. Et même, je m'en occuperai, je tacherai d'aller à Hennebont, prendre contact et j'irai visiter les forges d'Hennebont.

MM : Mais au niveau du travail en lui-même et des conditions de travail en lui-même ? (Le téléphone de RobertVourch sonne)

MM : Au niveau des conditions de travail, si vous deviez changer une chose, par exemple je ne sais pas les horaires, l'amplitude horaire sur une journée, il n'y aurait rien à modifier selon vous ?

R.Vourch : L'été par exemple, on commençait plus tôt, vu les conditions de météo, de chaleur qu'il y avait, on demandait au chef, nous on veut commencer plus tôt la journée, de manière à travailler au frais, la matinée était plus supportable. On commençait à 7h le matin par exemple l'été.

MM : Et cela vous convenait comme ça ?

R.Vourch : Cela nous convenait comme ça, et on finissait plus tôt que les autres.

MM : Donc finalement, il n'y a pas grand-chose que vous voudriez changer.

R.Vourch : Il m'est arrivé de travailler aussi, le samedi, le matin, le samedi, même toute la journée des fois. Des modifications, au niveau de...

J : De la sécurité

R.Vourch : De la sécurité, nous on avait demandé à la fin à avoir des casques avec l'audition bien sûr et haut-parleur.

MM : Ah oui

R.Vourch : Vous savez ce que nous ont répondu les grands chefs de la DCN ? Cela coûtait trop cher. Nos oreilles ne coûtaient pas cher, mais les casques coûtaient cher. On a vite compris.

MM : Donc finalement, s'il y avait quelque chose à changer c'était plus au niveau de la sécurité au sein des forges.

R.Vourch : Oui et puis la protection auditive des gens, qui est à modifier avec des casques avec haut-parleur, juste pour communiquer entre nous et forger, mais tout en protégeant les oreilles du bruit.

MM : Ecoutez, on a fini Mr.Vourch, et bien merci beaucoup.

R.Vourch : Attendez, ne partez pas, je vais vous offrir un coup de cidre, une petite bolée de cidre.

B.1.2 M.Roué (Chef d'équipe aux forges)

Retranscription de l'interview de Jean-Pierre Roué à Guipavas, le 26 Janvier 2017. Cet entretien est mené par Marie-Morgane Abiven et Julien Hageaux (Étudiant en Master 2 EHST)

J : On va commencer par la première partie de notre interview qui sera des questions plutôt générales après on va passer à une deuxième partie technique qui sera illustrée par des images sur l'ordinateur et une troisième partie sur la réalité virtuelle dont on vous a parlé dans le dossier. La quatrième partie sera la conclusion, ça vous va ?

J.-P. Roué : Oui.

J : Alors je vais commencer par la première question, pouvez-vous nous parler de votre formation, parcours, et arrivée à la DCN ?

J.-P. Roué : Je suis arrivé à l'arsenal à 14 ans comme apprenti, j'étais apprenti mouleur pendant trois ans à la fonderie au plateau des capucins dont on parle tant. Donc j'étais

apprenti mouleur, à l'issue de ça j'ai obtenu mon DAM, le diplôme d'apprentissage marine, après j'ai été deux ans comme ouvrier au plateau des Capucins à la fonderie toujours, après j'ai repris l'école, ce qu'on appelait l'école préparatoire, l'école préparatoire j'ai été deux ans. Après j'ai fait mon service militaire à Brest comme dessinateur, je suis revenu à l'arsenal, j'ai fait un bref passage au chantier des sous-marins. Après je suis rentré aux écoles techniques de la marine à Pontanezen, là j'ai fait deux ans je suis sorti avec la spécialité mécanique, donc on était 21 mécaniciens dans la promotion sur 75 il me semble. Après j'ai été affecté à Lorient à l'issue de mon passage à l'école technique, j'ai été affecté à Lorient, j'ai fait 4 ans là-bas et je m'occupais du groupe détection sous-marine donc c'était nouveau pour moi, en tant que mouleur on était habitué à travailler dans le sable, la fonderie tout ça, la coulée du métal en fusion donc j'ai découvert tout ça. Au bout de 4 ans j'ai fait ma demande pour réintégrer Brest et à Brest j'ai été affecté aux forges, j'étais le chef de groupe, on était 22 personnes moi compris quand je suis arrivé, et y'avait deux chefs d'équipe donc y'avait ces personnes-là aussi. Autrement 19 ouvriers qui travaillaient sur l'atelier. Et donc ensuite je suis restée aux forges de 1977 jusqu'à 2001 quand je suis parti en retraite avec la restructuration de l'arsenal j'ai pu bénéficier d'un départ mais les 5 dernières années je passais qu'une heure aux forges seulement parce qu'on m'avait affecté au groupe météorologie aussi, les appareils de mesure, tout à fait différent aussi (rires) donc j'ai fait 5 ans aux appareils de mesures seulement, mais je descendais une heure aux forges, c'était toujours moi le responsable mais autrement quasiment de 77 à 95 par là je suis resté tout le temps aux forges.

J : Donc vous avez été quasiment tout le long le chef de Robert Vourch.

J.-P. Roué : Oui oui.

J : Parce que ça correspond quasiment à sa carrière aux forges.

J.-P. Roué : J'ai fait l'essentiel de ma carrière aux forges donc, mais c'était une activité intéressante parce qu'on voyait des pièces et ce qu'il y a bien aux forges c'est qu'il y a deux avantages, parce que pour l'obtention des pièces forgées c'est fait rapidement, on chauffe le bloc, on le passe à la presse ou au marteau-pilon et en quelques coups on obtient une ébauche qui est proche des côtes de la pièce finie, il reste un peu d'usinage à faire après. Parce que s'il fallait faire ça par enlèvement de métal, copeau par copeau, ce serait beaucoup plus long. Là c'est quasiment instantané l'obtention de la pièce. Y'a ça et deuxièmement y'a le fibrage, je sais pas si vous avez entendu parler, le métal dans les barres, quand ça passe au laminoir les fibres elles sont plutôt dans le sens de la longueur donc quand on forge les pièces ça prend la forme de la matrice ou bien quand on forge des axes ça forme comme des fibres, pour faire une découpe dans le métal, on voit comme des fibres dans le métal et ça favorise beaucoup la bonne tenue en service parce que j'ai eu un chef a 5 galon un moment quand je lui parlais de ça il était sceptique et donc j'avais fait découper un croc dans la matière uniquement sans être forgé, et ça avait tenu deux à trois fois une charge supérieure donc c'est quand même intéressant, ça confère au métal des propriétés qu'il n'avait pas auparavant, ça oriente les fibres. J'avais été faire un stage avec un certain nombre de personnes de l'atelier, 4 ou 6 à certaines pièces, et là il nous montrait avec la pâte à modeler, c'était une pâte à modeler de différentes couleurs et donc il nous faisait ça c'était expérimental et donc on voyait après le passage dans l'estampe dans la matrice, on voyait les fibres qui se formaient, on voyait les fibres de la pâte à modeler, les différentes couleurs qui s'orientaient et donc ça confère une résistance beaucoup supérieure après pour la tenue en service c'est très bon.

MM : Quand vous étiez chef de forges quand vous êtes arrivé et que vous avez pris votre poste est-ce la personne qui était là avant vous vous a formé ?

J.-P. Roué : Ah non il était parti en retraite déjà.

MM : Elle n'a pas pris le temps de vous passer la main entre guillemets ?

J.-P. Roué : Oh non il était déjà parti, au début d'été je crois et moi je suis arrivé en septembre.

MM : Et qui vous a formé du coup ?

J.-P. Roué : Je suis formé surtout auprès d'un chef d'équipe qui était avec moi au bureau. Parce qu'il y avait deux chefs d'équipe aux forges quand je suis arrivé, y'a toujours eu deux après, mais l'un d'entre eux qui était au bureau qui s'occupait plutôt de l'encadrement, donc il me secondait. Celui-là il avait obtenu le titre de « chef d'équipe faisant fonction » c'était son titre, chef de travaux sous-entendu, il dépendait de moi il avait eu un grade assez élevé au niveau des chefs d'équipe donc c'est lui qui m'a montré les ficelles du métier et qui m'a initié, mais le contact était très bon avec les autres personnes j'ai trouvé. Je sais pas ce que vous au dit Robert mais en général les gens...

MM : D'après ce qu'on a compris nous, il en garde un très très bon souvenir. Il nous a même dit s'il pouvait re-signer tout de suite pour 25 ans c'était parti il n'y avait pas de problèmes.

J.-P. Roué : (Rires)

J : Pour lui c'est la qualité première.

J.-P. Roué : C'est important les bonnes relations dans le travail. Ce chef d'équipe là avait fait son apprentissage de forgerons à l'arsenal, à ce moment-là, les derniers qui sont rentrés, surtout en 81, venaient de la ville, ils avaient une formation dans la métallurgie mais c'était pas des forgerons, tandis qu'auparavant les gens étaient formés à l'atelier. Y'avait des apprentis de 14 ou 15 ans qui étaient formés pour le métier de forgeron pendant trois ans. Donc ce chef d'équipe en était et lui m'a montré la façon de procéder, tout ça, il m'a épaulé. Il était plus âgé que moi, il a dû partir à la retraite qu'à 60 ans, parce qu'à une certaine époque, vous avez peut-être entendu parlé, y'avait des gens qui partaient à 55 ans avec les travaux insalubres, mais lui je crois qu'il pouvait pas bénéficier de ça étant « chef d'équipe faisant fonction » parce que ça impliquait qu'il reste jusqu'à 60 ans.

MM : Vous avez donc tout de même eu une sorte de formation avant de devenir chef de forges , histoire de voir comment ça fonctionne.

J.-P. Roué : J'étais sur le tas.

MM : Oui bien sûr vous étiez sur le tas, mais vous avez eu une période où il fallait voir comment ça fonctionnait.

J.-P. Roué : Oui oui oui, mais y'a eu quand même un vernis qui a été donné aux écoles techniques de la marine parce qu'on avait un cours de forges donc quand j'ai fait mes deux ans à Pontanezen, j'avais un paquet de livrets sur les forges qui faisait bien 10 cm d'épaisseur. Là c'était un ancien des forges de Guérigny qui nous enseignait, c'était un chef de travaux, il avait fait les forges de Guérigny, un établissement de la marine qui faisait les chaînes et les ancres pour la marine. Et donc il nous enseignait les forges, donc c'est vrai que le terme marteau-pilon, les différents organes, je connaissais donc la technique et la pratique je l'avais pas. J'avais une visite aux forges au cours de ma formation à l'école technique mais juste une demi-journée, sans plus.

J : Comment se déroulait une journée type en tant que patron des forges ?

J.-P. Roué : C'est-à-dire que le matin... ça s'est scindé en deux périodes parce que au départ c'était à horaires fixes, on embauchait à 8h avec la sirène et donc là les gens n'avaient pas à choisir leurs horaires. Celui qui allumait les fours, on vous a peut-être parlé, il arrivait plus tôt pour allumer le four de façon que les fours soient à température le moment voulu et donc tout le monde était en place à 8h. Donc à l'embauché j'allais voir tout le monde pour dire bonjour, on parlait des problèmes qu'il pouvait y avoir et puis le chef d'équipe était sur l'atelier aussi. Et donc on remplaçait les gens, on tenait compte des

gens qui étaient absents ce jour-là parce qu'il vous a dit sans doute Robert que les gens travaillaient par équipe. En général ils étaient par 2 ou par 3 généralement au marteau-pilon. Donc quand un manquait, nécessairement ça bloquait et donc il fallait un remplaçant, donc on permutait, on arrêtait certains travaux pour en commencer d'autres pour compléter d'autres. Le marteau-pilon était très chargé, pendant toute ma carrière c'était le poste le plus chargé de l'atelier. C'est là qu'il y a avait le plus de demandes. C'était un ancêtre le marteau-pilon, mais malgré tout bah il rendait service à plein de monde si on peut dire parce là il était très sollicité. Y'avait toujours trois personnes, donc le pilonnier et les deux ouvriers.

MM : Donc en fait au début de journée il y avait un point avec vos ouvriers pour savoir comment allait se dérouler la journée, quelles pièces vous alliez travailler, qui allait s'occuper de ces pièces là...

J.-P. Roué : Oui et puis y'avait aussi ...les commandes étaient préparées par le bureau des commandes au plateau. Y'avait un technicien qui s'occupait spécialement des commandes de forge. Il faisait ce qu'on appelait des gammes, qui comprenait des gammes de fraiseuses, de tour etc et des machines-outils et pratiquement sur toutes celles-qui nous concernaient. La première fois c'était la face de forge, marteau-pilon, estampage etc et donc ces feuilles là il fallait les mettre en mains comme on disait, c'est-à-dire les donner aux ouvriers quand ils n'avaient plus de travail mais ça se passait bien, y'avait une bonne entente. Parce que les ouvriers ils savaient quand ils avaient fini leur travail, ils n'allaient pas rester inactifs, ils venaient au bureau et puis c'était moi ou le chef d'équipe qui leur donnions les commandes à ce moment-là, et le travail à réaliser. Y'avait la préparation qui était indiquée dessus, le métal utilisé et aussi le plan de la pièce à réaliser. Mais ce qu'il fallait faire c'était prévoir une surépaisseur pour les endroits ou y'avait de l'usinage. Y'avait une chose qui était importante dont il faut tenir compte c'était le volume, parce que le travail que les gens avait à faire, ils commençaient par s'asseoir avant de travailler, c'était de calculer le volume de matière nécessaire à l'obtention de la pièce. Parce qu'on partait à partir de bloom c'est les gros carrés, donc les brames, les billettes, des barres des ronds et donc il fallait calculer le volume. Y'avait des tableaux qui donnaient en fonction de la longueur aussi le poids de la matière. Le premier travail c'était de cuber la pièce qu'ils appelaient ça.

MM : D'accord, parce que justement la prochaine question qu'on avait c'était de savoir quelles étaient les différentes étapes de préparation des pièces donc en fait la première étape c'était d'avoir ce que vous avez appelé la gamme je crois, la feuille avec la commande de la pièce, ensuite vous transmettiez ça aux ouvriers qui préparaient la pièce et ensuite comment ça se passait une fois que la pièce était prête ?

J.-P. Roué : Quand la pièce était prête ? Y'avait différentes choses qui pouvaient se passait. Pour les pièces les plus techniques elles étaient livrées au plateau des capucins y'avait un camion qui passait, une navette qui passait dans l'arsenal qui faisait quasiment tous les ateliers, elle avait un circuit dans l'arsenal, généralement ce camion, c'était un camion à plateau pas très grand, il nous amenait aussi des barres. Parce qu'il y avait un magasin qui s'appelait « les charges longues ». Parce que nous on travaillait avec des produits longs en général, les barres ça a une certaine longueur et donc ces barres-là venaient des charges longues à part les grosses, les bloom étaient sur le parc des forges, les bloom étaient déjà sur place. Les barres ont un crédit d'oxydation pour la plupart. Pour les bloom c'est moins grave parce que là y'avait de la matière donc que ce soit oxydé c'est pas très important, mais des barres fines, des barres en inox, pas en inox en cupra-aluminium et ça c'est les charges longues. Et le camion déposait les barres qui avaient été prévues par le préparateur pour la mise en œuvre aux forges et il prenait les pièces qui avaient été

réalisées la veille. On mettait ça en général sur une palette et par un chariot élévateur on mettait ça sur le plateau du camion et le camion remontait au plateau des capucins à l'usinage. Mais y'avait aussi des commandes du chantier. Les commandes du chantier donc c'était pas des commandes qui parvenaient directement au plateau des capucins. Certaines commandes du bureau d'étude par exemple arrivaient directement au plateau des Capucins et redescendaient aux forges pour préparer. Mais d'autres commandes, les chantiers F, chantier R envoyaient ce qu'on appelait des demandes de concours c'était une commande, c'était un petit papier, c'était manuscrit et complété à la main et donc la personne exprimait son besoin, elle demandait et donc on discutait avec lui un peu de la façon de faire parce que des fois c'était des moutons à 5 pattes certaines commandes à réaliser et donc il fallait une discussion, y'avait un échange entre moi, le chef d'équipe et la personne qui demandait et donc une fois qu'on s'était arrangés sur la façon de faire je le remontais au plateau des Capucins pour la préparation. Et y'avait la commande des marins aussi, parce qu'on avait surtout contact avec les marins mais là c'est pas un chapitre qui vous concerne directement, pour les chaînes des bateaux parce que les marins s'adressaient directement aux forges parce qu'ils savaient que c'était nous qui faisions le travail donc ils venaient voir directement à la source et ils prenaient rendez-vous parce que là y'avait des délais, des fois c'était important, des fois y'avait des commandes en urgence. Pour les chaînes il fallait que le bateau parte, il fallait pas que les chaînes manquent donc là il fallait que ce soit ... c'était moi qui m'occupais directement des chaînes, y'avait pas personne d'autre d'intermédiaires entre les ouvriers et les marins, c'était moi qui faisait l'interprète. Je m'occupais du parc à chaînes et aussi des ancres, ça vous intéresse un peu parce que vous avez vu redresser des ancres au marteau-pilon sans doute

MM : Oui oui

J.-P. Roué : Y'a eu des fois des coups serrés aussi pour les ancres, c'était une année je me rappelle plus y'a longtemps, c'était en baie de Seine y'avait des dragueurs, y'avait eu une tempête et donc y'a eu 5 ou 6 bateaux qui avaient perdu leurs chaînes, perdu leur rang, quand ils étaient revenus à Brest c'était l'effervescence , fallait voir au magasin si y'avait des ancres de remplacement redresser celles qui était récupérée, tordues. Là ça avait été la fièvre un peu

MM : Un moment stressant

J.-P. Roué : Oh oui

J : Etiez-vous capable de vous servir de tous les instruments qui étaient présents dans les forges comme le four, le marteau-pilon ou la grue ?

J.-P. Roué : Moi-même ?

J : Oui

J.-P. Roué : Ah moi les presses j'ai fait un peu, marteau-pilon j'ai pas fait parce qu'il faut une certaine dextérité

J : Le marteau-pilon c'est l'élite de l'atelier quoi

J.-P. Roué : Oui oui parce que là y'a une anecdote si vous voulez, y'a [quelqu'un] qui était venu à l'atelier et donc il avait observé le marteau-pilon et il disait « ah j'ai envie de faire » oh lui a dit « mais fais attention parce que là faut une certaine habileté » et donc il se met au levier et vlan il envoie le truc en l'air et ça avait tout défoncé. Au-dessus du marteau y'a des butées en bois qui sont cerclées, il avait complètement écrasé les butées en bois pour son premier essai. « J'ai compris » qu'il nous a dit , oui mais enfin le travail était fait, il s'est dit ce sont des spécialistes donc ils connaissent bien leur affaire donc je leur fait confiance. Mais je m'occupais des fours, je me suis occupé en particulier, parce qu'on a reçu des fours neufs pendant mon passage aux forges et il fallait faire des mises au point et donc tout n'était pas bien réglé, y'avait des fignolages à faire. Là je m'étais occupé

pas mal. Vous avez peut-être vu les fours ?

MM : Non.

J : Ils n'existent plus, mais vous parlez du gros four à propane qui est entre les deux marteaux ?

J.-P. Roué : Oui un four MGR.

J : C'est celui-là qui est arrivé dans vos années de service ?

J.-P. Roué : Celui-là il venait d'arriver un ou deux ans avant, le gros qui est entre le marteau-pilon de 4 tonnes 5 et le 6 tonnes ?

J : Oui juste à côté de la grue oui.

J.-P. Roué : C'était celui-là le plus gros four. Je faisais ce que je pouvais moi-même mais il fallait commander des pièces de rechange tout ça aussi au constructeur du four. Parce que les briques tout ça, le briquetage il fallait le refaire de temps en temps. C'est moi gérait les pièces de rechange pour tout le matériel.

MM : Vous vous occupiez de l'entretien aussi ?

J.-P. Roué : L'entretien oui et puis je faisais appel aussi aux différents chantiers, parce que des fois il fallait faire appel à des électriciens, des mécaniciens, des hydrauliciens pour certaines presses et donc je voyais ça avec eux mais à force, donc je voyais certaines choses que je pouvais faire moi-même mais quand c'était un truc majeur bien sûr j'avais pas les moyens nécessaires pour le faire, donc je faisais appel à eux. Mais ce qu'on voulait c'est que les machines reste en panne le moins longtemps possible pour pas freiner la production parce que déjà c'était difficile pour remplacer les gens n'étaient pas là, si en plus si on était sur une machine et qu'elle tombait en panne ça désorganisait tout l'ensemble encore donc c'était pas simple.

MM : Et quand il y'avait une pièce qui était au forgeage au marteau-pilon est-ce que vous étiez sur place avec les ouvriers pendant qu'ils travaillaient ?

J.-P. Roué : Ah oui oui oui, quand il y'avait des gros bloom, ah oui oui oui là j'étais à chaque fois parce qu'il y avait des risques majeurs. Bien souvent il y avait des gens qui étaient intéressés par les forges et qui aurait aimé voir certaines choses donc on les conviait à ce moment-là quand on faisait un bloom parce qu'il y avait des apprentis aussi à l'époque à l'EFT à l'école de formation technique au plateau à côté de Quéliverzan, et moi j'avais un instructeur qui avait été un an ou deux ans après moi aux apprentis il était devenu instructeur pour les tôliers ou les chaudronniers donc c'était sa branche un peu, il voulait montrer ça à ses élèves et lui tous les ans il descendait avec son groupe d'élèves aux forges et donc quand on pouvait avoir un gros bloom à faire à ce moment-là pour les élèves c'était bien, ils voyaient comment ça se passait. Et puis là il fallait faire attention pour le bloom quand on avançait il fallait appuyer dessus, on vous a peut-être montré ? Pour faire levier pour avancer la pièce sur l'enclume. Ce qui pouvait être dangereux c'est le moment où le marteau descend qu'on ait la main sur la queue de la pièce, sur la queue du bloom, là il fallait à tout prix éviter ça.

MM : Robert Vourc'h nous a raconté qu'une fois il a pas enlevé sa main à temps et il s'est fait une fracture du scaphoïde, il ne l'a pas retirée assez vite et du coup il s'est pris un choc.

J.-P. Roué : Vous comprenez quand un 6 tonnes arrive comme ça, ça ébranle quand même. J'ai mis sur mon papier que de temps en temps on reprenait le surfaçage du marteau et de l'enclume là c'était des mécaniciens de l'entretien qui venaient avec un marbre et ils mettaient le marbre à l'horizontal en plis entre les deux, et ils traçait le marteau avec l'enclume , alors on démontait le marteau et l'enclume on envoyait ça a usiner de façon à ce que les faces soient bien parallèles parce qu'on travaille toujours devant donc ça s'use toujours plus devant parce que c'est là qu'il y a le plus de frottements avec le métal chaud

tout ça, ça s'affaisse un peu et le parallélisme n'est pas rigoureux à la fin avant qu'on retouche. Ce qui explique que si ça avait été bien parallèle ça n'aurait peut-être pas remonté tant que ça mais y'a toujours ce fait là qu'il y a toujours un petit défaut de rectitude.

J : On a parlé de la blessure de Robert Vourch, justement la question qui suit concerne les blessures, avez-vous constaté de blessures, accidents de travail au niveau de l'équipe des ouvriers ?

J.-P. Roué : Heureusement y'a pas eu de trop gros ennuis, parfois y'a eu des ennuis, là fois où j'ai eu le plus peur c'est au marteau-pilon, c'était un ouvrier très expérimenté, l'un des plus expérimentés, c'était un soir vers les 16h30 à peu près, il était en train de faire un rondin, vous avez peut-être vu ce qu'on appelle des trous, des rondelles comme ça, on pose l'ébauche dessus et on frappe, y'a une déformation et la matière remplie l'intérieur du trou, ils faisaient ça. Et donc le trou il comporte une queue donc il y'a une tige qui est soudée à la rondelle. Parce que là il tourne, il tourne du fait du manque de parallélisme parfois, il tourne comme ça plusieurs fois, et donc là il était en train de faire ça, il tenait la tige et tout d'un coup le trou a glissé vers l'avant et la tige est venue au-dessus de son nombril. Elle a été comme chassée si vous voulez quand le marteau est descendu, le trou est parti entre le marteau et l'enclume, il est venu vers l'avant vers l'intérieur de l'atelier. Parce que la tige elle fait un diamètre de 25 à 30 mm et il a reçu ça juste au-dessus de son nombril. Alors quand je l'ai vu arrivé au bureau, je lui ai dit « alors c'est pas trop grave ? » Il m'a montré. Il a dû avoir quelques jours d'arrêt de travail mais c'était superficiel, y'a pas eu d'organes de touchés.

MM : Mais il a été coupé avec ?

J.-P. Roué : Ah oui y'avait une marque. Avec le marteau-pilon ça aurait pu être grave si ça avait été plus violent. Autrement y'a eu des problèmes au niveau des yeux aussi, on vous a peut-être parlé de la calamine ?

J : Oui les projections.

J.-P. Roué : Les projections oui, donc les gens ils les recevaient dans les yeux quand ils portaient pas de lunettes, c'était pas toujours facile. Les gens étaient assez réticents à porter des lunettes parce que des fois avec la transpiration, ils voyaient pas bien leur travail et il fallait quand même être vigilant, vu les efforts mis en jeu donc il fallait pas faire n'importe quoi, avoir l'œil vraiment. Y'avait de la buée sur les verres, parce qu'on travaille. Sinon des coups d'arcs y'a eu aussi, parce que des fois y'avait des travaux de soudure à réaliser donc quand on mettait pas de protections y'avait des coups d'arc. Sinon y'a eu l'amiante aussi.

MM : Ah les gants de protection qui étaient à base d'amiante ?

J.-P. Roué : Y'a eu des brûlures aussi. Bon moi ça m'est arrivé, tiens une anecdote, au début quand on arrive aux forges on voit un tas de pièces grises couvertes de calamine, on se doute pas qu'elles pouvaient être encore très chaudes donc la couleur n'est plus rouge mais quand on met la main dessus on se brûle les doigts donc pour un non initié quand on voit un tas de pièces il vaut mieux ne pas toucher, il vaut mieux être prudent.

J : Là c'était sur le long terme y'a eu pertes d'audition à cause du marteau, y'a eu des problèmes d'amiante ?

J.-P. Roué : L'amiante oui parce que les fours, les portes étaient garnies d'amiante pour faire l'étanchéité, donc ça brûlait de l'amiante.

J : Même sur le plus récent des fours ?

J.-P. Roué : Sur les plus récents qui ont été livrés oui oui c'était de l'amiante. Je suis un ancien de la fonderie donc lors de la coulée des métaux en fusion le fondeur avait des gants en amiante jusque-là, un tablier en amiante, des guêtres en amiantes. Je portais des guêtres en amiante quand j'étais à la coulée aussi. On pensait pas au danger que ça

représentait. Et aux forges aussi y'a eu un accident, un grave qui est arrivé peut-être 6 ans avant que j'arrive. C'était au marteau-pilon auto compresseur, vous les avez peut-être vus sur l'atelier, c'est des marteaux-pilons qui font à peu près 2,50m de hauteur, à cadence très rapide et la personne était en train de travailler et là la commande se fait au pied donc on appuie sur un levier qui fait un demi-cercle, et ce levier est à manœuvrer au pied. Donc la personne appuie dessus et l'autre pied est posé pas loin d'enclume et là son pied a glissé et est parti vers l'avant, et il a eu les doigts écrasés entre le marteau et l'enclume. Un accident grave, et ça l'a contraint à quitter l'atelier après il est parti dans un autre chantier, il est parti aux gréements vous en avez peut-être entendu parler, l'atelier des gréements qui fait les cordages. Il est parti comme magasiniers, je crois qu'il a dû perdre une partie de deux doigts. Ça c'est l'accident grave dont j'ai entendu parler quand je suis arrivé.

MM : Vous nous parliez des normes de sécurité pour tout ce qui est protections, par exemple les gants, les guêtres, le tablier, mais est-ce que vous avez constaté une évolution de la sécurité pendant toute votre carrière dans les forges ? Est-ce que vous avez vu de nouvelles normes arriver, des évolutions ?

J.-P. Roué : Certains postes ont pu être modifiés par exemple l'oxycoupage. L'oxycoupage on n'en a pas parlé jusqu'à présent, ça sert à fignoler les pièces une fois forgées donc à enlever l'excédent de métal avant l'usinage. La machine n'est plus là non, vous connaissez le principe peut-être ? C'est un jet d'oxygène sous pression qui découpe la pièce qui suit le contour d'un dessin, et donc qui découpe la pièce en suivant ce contour là et ça permet de faire chuter le métal. Au lieu d'enlever le métal coupeau par copeau là au chalumeau on dégrossi bien la pièce avant l'usinage. La personne qui faisait ça elle portait pas de casque et lui le jour où il a porté des casques il les gardait tout le temps, mais lui c'était différent parce que lui il travaillait tout seul, il n'avait pas besoin de communiquer avec ses collègues, il était indépendant, une fois qu'il avait fait son travail il faisait son dessin, c'est lui qui découpait son dessin lui-même sur une feuille en carton, c'est le contour de ce dessin-là qui était suivi par un œil sur la machine et qui était répercuté au chalumeau, qui découpait la pièce. Après on la montait au plateau des Capucins pour usinage.

J : Et au niveau des personnes qui travaillaient à la forge, des chaussures de sécurité, des tabliers, y'a eu des changements ou pas ?

J.-P. Roué : Là c'est-à-dire que quand je suis arrivée, certains avaient des sabots, des sabots vernis, pas des sabots de sabotiers comme on faisait avant mais des sabots un peu fantaisies, à coque noire, c'était ce genre de sabots là. Pendant 10 ans à peu près on a dû leur distribuer des sabots comme ça à chaque fin d'années. Ce qu'ils trouvaient bien avec ces sabots là c'était pour la calamine parce que des fois la calamine elle sautait au moment du forgeage donc c'était pas facilement maitrisable, y'a toujours un peu de calamine, c'est de l'oxyde de fer, ça tombait entre le pantalon et la chaussure et ça brulait le pied. Le temps d'enlever et de délasser ses chaussures et bien le mal était fait, la personne était brulée au pied. Avec le sabot ils enlevaient directement, ça éloignait le danger, s'ils se sentaient brulés ils projetaient le sabot. Par contre les chaussures de sécurité avaient l'avantage d'avoir la coque au bout pour la protection, c'est quand même un atout, malgré le gros handicap que ça représentait pour la calamine il valait mieux porter des chaussures de sécurité.

J : Dernière question de cette partie générale, que savez-vous de l'histoire de Pontaniou et du marteau-pilon de 6 tonnes ?

J.-P. Roué : Y'a eu des forges avant la guerre je crois, elles ont été repliées au BF je crois, au BF y'avait une unité de forges je crois. Mais c'était surtout à Pontaniou et y'avait deux bâtiments parallèles au bassin de Pontaniou, donc y'a un bâtiment qui a été détruit y'a peut-être 20/30 ans où y'avait l'ambulance, le service de reproduction, la médecine du

travail, tout ce grand truc là. Donc là c'était les petites forges et les grandes forges, y'avait deux sortes, y'avait deux bâtiments et tout a été replié sous le bâtiment actuel après la guerre. Sur le terre-plein des forges on voit des traces d'éclats de bombes de la guerre. Mais j'ai pas entendu qu'il y ait eu de blessures à déplorer du fait de la guerre, parce que là les personnes de Pontaniou descendaient au tunnel qu'il y a côté des forges, à côté de la presse de traction des chaînes, là y'a un tunnel, et donc ils allaient se réfugier dans le tunnel où y'avait le chemin de fer donc pendant la guerre. Sinon qu'est ce qu'on peut dire…

J : Qu'est-ce que vous connaissez sur le marteau-pilon ? Sur ses évolutions de l'air comprimé

J.-P. Roué : Oui au départ c'était à la vapeur il vous a peut-être dit Robert, ça fonctionnait à la vapeur mais c'était une amélioration quand même l'air comprimé basse pression. Parce que la vapeur j'ai l'impression que ça devait dégouliner sur les personnes. Après il fallait une centrale à vapeur bien sûr.

MM : Vous savez quand est-ce qu'a été fait le changement d'énergie pour le marteau-pilon, vous avez une idée ?

J.-P. Roué : Mon chef d'équipe, celui qui faisait fonction m'en a parlé je me souviens, oh mais y'a très longtemps, c'est peut-être vers 1920 par-là ?

J : Et pendant la guerre j'ai entendu dire que le marteau avait été endommagé pendant la deuxième guerre mondiale avec les bombardements ?

J.-P. Roué : Ah peut-être moi j'ai pas eu…

MM : Même nous en ayant vu le marteau-pilon nous n'avons pas vu de traces de réparations.

J.-P. Roué : Mais sur la cour on voit des traces, mon chef d'équipe m'a montré des traces de bombes, des éclats qui ont été fait sur les grosses dalles de pierres et donc là ça a été éclaté par les bombes. Autrement tout à l'heure je vous avais pas parlé je vais faire une digression sur le sujet des chefs d'équipe, donc j'ai dit qu'il y avait un chef d'équipe qui n'était pas à la production et l'autre chef d'équipe qui était sur l'atelier, qui n'était pas à l'encadrement directement était appelé un chef d'équipe travaillant. Donc celui-là, ça veut pas dire que les autres… (rires) Donc celui-là son principal travail c'était de faire de l'outillage, de l'outillage pour les forgerons. J'ai mis un petit mot sur mon papier au sujet du matriçage et de l'estampage. Parce que ce dont on parle c'est la forge libre. Au marteau-pilon c'est la forge libre qui nécessite peu d'outillages, en général les pièces qu'on obtient au marteau-pilon elles sont de formes assez simples, c'est pas des pièces de formes tarabiscoté c'est des ébauches de formes géométriques assez simples. Pour le matriçage ont obtient des pièces de formes plus affinées mais qui sont plus petites aussi. Donc pour ça il faut faire des outillages qu'on appelle des matrices et ce chef d'équipe là faisait essentiellement des matrices, donc il prenait des blocs d'un acier spécial, il faisait un modèle de métal, il portait le bloc à chaud et il imprimait à chaud le modèle froid dans le bloc chaud, ça faisait un creux qu'il finissait ensuite à la meule, il avait des outils il faisait des soudures aussi avec des aciers spéciaux pour recharger de façon à ce qu'il y ait moins de métal possible à enlever à l'usinage. Après c'était plus compliqué à faire les outils pour l'estampage que pour la forge libre.

MM : C'est la première fois que j'entends cette expression de forge libre.

J : Oui.

J.-P. Roué : Ah bon ? (rires) Ah si c'est la forge libre, si si. Parce que autrement matriçage et estampage, matriçage donc c'est les métaux non ferreux, et estampage c'est les métaux ferreux, donc pour ça on se sert de matrices. C'est le même nombre pour le matériel qui sert mais l'opération s'appelle l'estampage et le matriçage. Sinon c'est la forge

libre pour le marteau-pilon qui nécessite peu d'outillages. On a été en formation à Saint-Etienne ? Robert n'a pas dû aller, je crois pas. On a été comment ça s'appelle, oh y'avait un organisme, j'étais à l'école des mines de Saint-Etienne pour un stage sur les métaux. Autrement à Saint-Etienne y'avait un organisme, c'était M.Bournicon qui était chef du département, et pendant une semaine j'étais avec mes nouveaux chefs d'équipe. Y'avait un petit atelier de forgeage et ils nous détaillaient bien les méthodes, tout ça, c'était un approfondissement et le stage durait une semaine. Et par contre, sur la formation, pour la formation des ouvriers, y'avait eu pas mal d'embauche suite à des départs et donc pour la formation des ouvriers on a fait venir un camion de Paris, l'organisme c'était l'ADETIEF je crois.

MM : L'ADETIEF ?

J.-P. Roué : Association pour le développement de l'industrie de la forge et de l'estampage (association d'études techniques des industries de l'estampage et de la forge ndlr)

MM : D'accord.

J.-P. Roué : Et donc ils se déplaçaient comme ça. C'était une personne assez « volumée », il conduisait le camion lui-même et il faisait le cours aussi. J'ai fait la demande parce qu'il fallait faire la demande à chaque fois qu'on voulait des stages par la formation continue. Le camion était venu là et il était resté aux forges pendant une semaine. Et les moins aguerries, ce qui était les derniers arrivés ont été dans ce camion. Moi j'allais le matin, et François Cam, l'un de mes chefs d'équipe allait l'après-midi. Autrement c'était les ouvriers, les nouveaux ouvriers qui suivaient les cours. Le dernier jour il a fait un peu de stage dans l'atelier mais c'était plutôt des cours théoriques. Là ça durait huit jours aussi. [...] j'avais formé des jeunes aussi, ils étaient 5 ou 6, y'avait une petite salle à la direction que j'avais réservée, on a dû aller 7 ou 8 fois pendant une heure et demi pour leur donner des bases.

MM : Vous aviez souvent des stages de remises à niveau ?

J.-P. Roué : Non c'était pas souvent parce que les forges comme c'est vieux, t'as une technique qui est très ancienne. Donc y'a des évolutions certes, mais c'était des remises à niveau. Des fois y'a des nouveaux aciers, il faut prendre des précautions. Parce qu'on a fait aussi un tour des forges, Robert n'était pas à celui-là. On a fait le tour de France des forges, j'avais demandé de faire ça. On était parti avec mon chef d'équipe François Cam, on est parti pendant 8 jours, on a été dans la Loire, on a été à Pamiers. Certaines choses qu'on a vues nous ont beaucoup servi ensuite. C'était un manipulateur, le manipulateur vous l'avez vu ?

J : La pince de forge ?

J.-P. Roué : C'est suite un peu à ça qu'on avait acheté, on avait vu un manipulateur en fonction à Saint-Amand les Eaux je crois.

J : Oui monsieur Vourc'h nous a dit qu'en 1990 la pince de forge est arrivée à Pontaniou.

J.-P. Roué : Oui oui et donc on l'avait vue en fonction dans cette forge-là. Là avait été un gain pour la pénibilité du travail c'était très appréciable. Donc y'avait des évolutions et si on reste enfermé dans notre coin on est pas au courant non plus. Et puis aussi y'a eu des problèmes au niveau des sous-marins parce qu'on nous avait commandé des brides et on arrivait pas à les produire, et pourtant y'avait une quantité importante à faire. C'était une bride en acier spécial et chaque fois elles paraissaient bien les brides au départ de chez nous, c'était des brides assez importantes, et à l'usinage y'avait des fissures qui apparaissaient et donc on avait beau prendre toutes les précautions au forgeage, les températures tout ça, on voyait pas l'origine. Et quand on avait faire ce tout de France des forges, on avait vu que dans... ah c'était à Pamiers qu'on avait vu ça, à Pamier dans l'Ariège. On

leur avait demandé, eux ils forgeaient ce matériau là et donc on avait demandé comment ils procédaient. Il le mettait dans la vermiculite pendant 8 jours. La vermiculite c'est une poudre isolante son autre nom c'est la pouzzolane. Parce eux là-bas à l'usine ils avaient fait une grande fosse dans l'atelier qu'ils avaient remplie de pouzzolane, ils mettaient leur pièce dedans à refroidir. Nous comme on avait des besoins plus modestes, on a pris une caisse métallique, une caisse en acier qu'on a remplie de la même matière qu'on a commandée et on a mis les pièces dedans et puis c'était bien ! (rires) C'était réglé ! Donc quand on reste dans son coin y'a des innovations qui concernent des nouveaux matériaux, il faut prendre des précautions et puis on est pas forcément au fait.

MM : Donc là Monsieur on a terminé la première partie et on va passer à la partie technique et là sur l'ordinateur on vous a mis des photographies qui proviennent d'un documentaire qui a été filmé en 1986 dans les forges, je ne sais pas si vous vous en souvenez ?

J.-P. Roué : Oui oui parce que le chef d'atelier c'était un 5 galon et donc on faisait pas souvent de grosses pièces et donc je lui avait dit, on va faire de grosses pièces aux forges. Donc il avait demandé à un ouvrier, à un usineur, de venir avec sa caméra filmer, donc il était venu. Et ce film-là donc y'avait des élèves de la fac qui étaient formés par un médecin chef de l'arsenal, médecin chef de la médecine du travail qui donnait des cours à la fac et il venait tous les ans, c'était systématique, il venait passer une demi-journée aux forges avec ses étudiants, et donc je leur projetais ça.

MM : Et je sais pas si vous avez vu également La dernière journée du marteau-pilon d'Olivier Bourbeillon ?

J.-P. Roué : Ah si si si.

MM : Voilà donc en fait on vous a mis des images provenant du documentaire de 1996 et du film d'Olivier Bourbeillon, et on va vous poser des questions en fonction de ce qu'on voit sur l'écran. D'accord ?

J.-P. Roué : Oui

FIGURE B.21 – Image 1

MM : La première question, on aimerait savoir ce que vous, enfin vous nous avez déjà répondu un peu tout à l'heure par rapport au four. On aimerait savoir ce que vous pouvez nous dire sur le four, son année de mise en route donc pour celui-ci qui est sur l'image, je sais pas si vous voyez bien (montrant l'écran d'ordinateur), et si vous savez aussi quand est-ce qu'il a été démantelé ? Je crois que vous avez déjà répondu à cette question.

J.-P. Roué : Quand le four a été démonté ?

MM : Voilà.

J.-P. Roué : Le gros four ?

MM : Voilà.

J.-P. Roué : Ça devait être en... on faisait encore des mises au point quand je suis arrivé. Ça devrait être dans les années 74/75, par là.

MM : D'accord.

J.-P. Roué : 1974/1975

MM : Qu'il a été mis en route ?

J.-P. Roué : Qu'il a été mis en route, c'est un four neuf.

MM : D'accord.

J.-P. Roué : Et il y avait deux portes opposées, deux portes qu'on pouvait ouvrir...

MM : Ah de chaque côté du four ?

J.-P. Roué : Oui, parce que ça sert aussi au marteau-pilon de 4 tonnes 5...

MM : D'accord.

J.-P. Roué : ... de l'autre côté .... mais pour le marteau-pilon, c'est un marteau-pilon à simple effet. Donc vous savez l'autre marteau-pilon de 4 tonnes 5, c'est un double effet, l'air agit pendant la descente aussi.

J : L'autre il pousse juste.

J.-P. Roué : L'autre il tombe en chute libre, le marteau-pilon de 6 tonnes.

J : Et est-ce que vous savez quand est ce qu'il a été démantelé ce four ?

J.-P. Roué : Démantelé ?

MM : Démonté !

J : Aujourd'hui, il reste plus de trace.

J.-P. Roué : Il n'est plus là ?

MM : Non.

J : Non, il n'existe plus.

J.-P. Roué : Ah non, ça je sais pas, c'est arrivé après que je sois parti. Donc c'est après 2001 certainement.

J : Et pour l'énergie, il fonctionne au propane ou au gaz de ville ?

J.-P. Roué : Il fonctionne au gaz de ville, oui, et donc au départ, il vous en a peut-être parlé Robert, il fonctionnait pas au gaz de ville, il fonctionnait au propane. Et donc là c'était vraiment, ah qu'est-ce que ça a pu poser du souci, parce qu'il y avait une grosse bombonne, une grosse réserve de propane liquide qu'était au pied du Plateau des Capucins à côté de la direction, et donc cette bonbonne, le four consommait tellement que tous les 8 à 10 jours, il fallait...

J : Changer.

J.-P. Roué : Faire le plein, et c'était pas, c'était pas simple, fallait condamner la rue, la rue des forges. Robert a fait ça bien souvent, il mettait la tenue de pompier pour aller, je crois qu'on faisait appel aux pompiers, les pompiers étaient là aussi, et donc on appelait cela un dépotage. Quand on remplit le four, c'est le dépotage. Et après ce propane liquide, en temps normal pendant l'été, il servait à alimenter le four et là il y avait pas de problème. Mais c'est pendant l'hiver, car le propane liquide, la température était trop faible, s'évapore, il fallait le réchauffer et donc il y avait une petite cabane derrière l'atelier, au pied de la falaise. Et donc là il y avait l'installation, et là donc ça devait marcher automatiquement, bien souvent vers les 8h, la sirène, il y avait une alarme que ça marchait pas bien, et donc il y avait une grosse alarme dans l'atelier et ça va pas. Mais nous on n'était pas spécialiste parce que c'était un truc, c'était une espèce de chaudière qui réchauffait le propane liquide pour faire du propane gazeux, oh c'était un truc assez à risque, parce que les gaz tout ça faut bien maîtriser, et donc on faisait appel à un service qui s'appelait

le chantier extérieur de la maintenance. Assez tôt pendant l'hiver à 7h/7h et demi, je téléphonais parce que la sirène se mettait en route, et puis donc il venait aussitôt parce que bien sûr ça nous causait un peu de retard, le temps qu'ils remettent en état, et puis c'était un système assez dangereux. Mais y'avait un qui venait, il a peut-être raconté ça pour la petite histoire donc il jouait avec les vannes, il arrivait là, aussitôt il tripotait à tout, on l'appelait le kamikaze.(Rire général)

J : Et l'énergie par contre du four elle a été changée en quelle année ?

J.-P. Roué : Oui, l'énergie a été changée, et donc ça nous a conduits, j'avais été en réunion avec les gens de Gaz de France et le chef d'atelier et les gens concernés de l'Arsenal. On avait été en ville à Brest, je me rappelle plus c'était du côté de la rue Jean-Jaurès, et donc c'était pour, on était à une vingtaine de personnes à peu près qui été concernées par l'arrivée du gaz naturel, et les incidences sur les ateliers, et donc j'avais demandé à, qu'est-ce qu'on avait fait déjà pour, je sais que pour la machine à scie-coupage il avait fallu changer les buses, les buses. La machine à scie-coupage fonctionnait, c'était de l'oxygène sous-pression donc il y avait aucun problème, mais le gaz qui faisait la flamme, c'était du propane aussi jusque-là et là donc il fallait changer de buses. Donc il a fallu faire une commande de buses et l'affaire a été réglée par téléphone, donc là ça c'est bien passé. Et pour le four, qu'est-ce qu'on avait fait déjà ?

J : Est-ce que vous savez pour le four la date de changement d'énergie du propane au gaz de ville ? En quelle année, il y a eu le changement propane au gaz de ville ?

J.-P. Roué : C'était sous Bidout qui était chef d'atelier qui était avec moi, je vais pas blablater (sur ce sujet) (Rire)

J : C'est pas grave.

J.-P. Roué : Là, c'était peut-être dans les années 80 à mon avis.

J : Peut-être que vous savez qui a fabriqué ce four là et peut-être que nous on peut le retrouver par la suite.

J.-P. Roué : Comment ?

J : Qui a fabriqué ce four là ?

J.-P. Roué : MGR !

J : MGR, c'est le fabricant du four ?

J.-P. Roué : Maurice Gérard Roveyre, je l'ai connu, donc c'était lui le fondateur de la société, donc c'était une personne, donc quand on a acheté trois fours MGR, donc celui-là qu'était en place quand je suis arrivé depuis 2/3 ans, et donc deux autres fours de taille moyenne, donc qui fonctionnaient au gaz naturel aussi qui ont été achetés plus tard et deux fours, les deux fours les plus récents, c'est Maurice Gérard Roveyre qui est venu faire le réglage lui-même. C'est une personne qui avait à peu près 80 ans ou par-là, mais très active, et là comme il y avait un coffret électronique tout ça et lui il jonglait avec ça sans problème, donc c'était sur le dos de la cuillère de le voir travailler à son âge. Et puis à l'époque, à son âge, il devait faire des mises en service en Grèce en voiture, parce que la société MGR était assez bien développée au niveau four, au niveau four, donc j'ai rencontré son fils parce qu'il y a des salons de fours, des salons sur les fours aussi à Paris. J'avais été, je me rappelle plus le nom de l'exposition, mais c'était à Paris, je sais pas si c'était Porte de Versailles, fin j'avais vu Jean, son fils, il avait deux fils, et c'est le fils qui a repris la société après. Mais c'est le père qui a été l'élément moteur de la société, donc la personne que j'ai vue. Et donc là, il fallait lui commander des briques, on commandait les briques chez lui, j'allais pas commander des briques chez des fabricants de briques dans le privé, et donc je préférais avoir des briques du fabricant lui-même, du constructeur, donc les briques, cela nous arrive de changer, les brûleurs aussi, parce que les brûleurs, vous avez vu, ah non vous avez pas vu le four.

MM : Non.

J.-P. Roué : C'est des formes en tulipe, ça part comme ça, c'est épanoui comme ça, comme une trompette si vous voulez.

MM : Oui.

J.-P. Roué : Et donc les brûleurs, donc c'était des brûleurs qui faisaient ce diamètre extérieur comme çà, et l'arrivée des gaz comme ça à peu près. Et donc ces brûleurs c'étaient fatalement eux qui prenaient le plus de chaleur, c'était eux qui étaient les plus sollicités par la flamme, donc il fallait les changer régulièrement, peut-être tous les ans et demi à peu près.

MM : Mais je pense que ce que l'on va faire, c'est qu'on va chercher dans cette direction-là, voir si on peut pas avoir des informations sur les fours, directement avec l'entreprise qui les a fabriqués quoi.

J.-P. Roué : MGR, je pense que ça doit toujours exister.

MM : Oui, il y a des chances si le fils a repris.

J.-P. Roué : Maurice Gérard Roveyre.

FIGURE B.22 – Image 2

J : Donc, on va passer à l'image n°2, là ça concerne la grue, que savez-vous sur la grue ?

J.-P. Roué : La grue strasbourgeoise.

J : Oui.

J.-P. Roué : La grue strasbourgeoise, c'est une grue à construction rivetée donc qui est très ancienne certainement parce que la soudure a remplacé les rivets et donc là on a pas eu de gros problèmes avec cette grue-là.

J : Elle marchait de manière électrique ?

J.-P. Roué : Comment ?

J : Elle était électrifiée ?

J.-P. Roué : Je sais pas si, moi je pense qu'au départ elle devait être électrique. Elle devait être électrique au départ, conçu comme ça. Autrement il y a la chaîne, la chaîne qui...

J : Le roulement.

J.-P. Roué : Qui tient...

J : Ah oui qui tient...

MM : Le vireur.

J.-P. Roué : Qui tient la pièce.

J : Oui.

J.-P. Roué : J'ai pas eu de soucis avec la grue. Mais par contre une ou deux fois par an, on avait la visite d'une société privée. Au départ, ça devait pas être une société privée, au départ je pense que ça devait être la maintenance, la maintenance de l'Arsenal, qui passait faire la tournée des grues et l'entretien des grues, parce que pour les carters tout ça, il faut rajouter de l'huile, donc on regardait tout ça. Là c'était un service qui était assuré partout parce qu'il y a des grues partout sur les quais, tout ça, donc dans les ateliers, il y avait un service spécialisé pour les grues. Et la grue strasbourgeoise était donc suivie par eux, et il y avait donc un cahier d'ailleurs à l'atelier, j'avais un cahier pour chaque matériel, et ils marquaient dessus leurs interventions, ce qu'ils faisaient. Et donc pour le fonctionnement, il y a pas eu de problème.

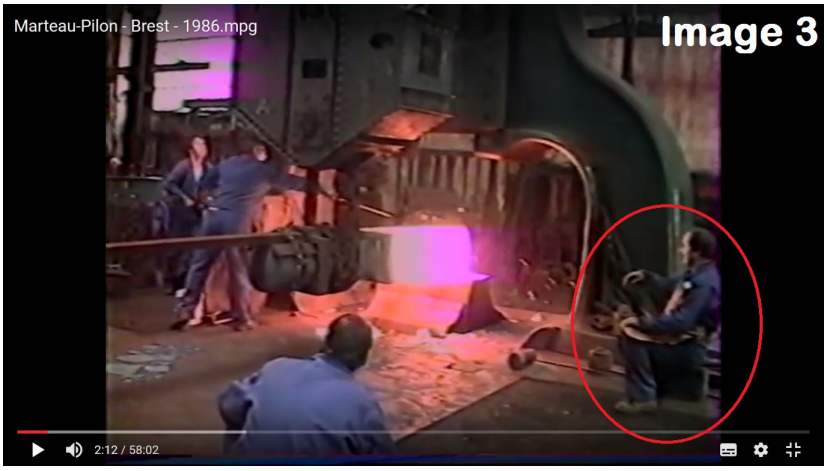


FIGURE B.23 – Image 3

MM : Donc là, on est à l'image 3, et on voudrait savoir, on en a un peu parlé tout à l'heure, si vous pouvez nous expliquer le fonctionnement de l'air comprimé pour le marteau-pilon ?

J.-P. Roué : L'air comprimé, il agit sur le cylindre de la partie supérieure, donc dans le cylindre, il y a un piston.

MM : Oui.

J.-P. Roué : Il y a un piston, et le piston pour l'étanchéité, il y a des segments, des segments, et donc l'air comprimé arrive par en dessous et remonte le piston donc qui entraîne la tige qui est solidaire bien sûr et la masse qui est au bout, et après ça tombe en chute libre. Quand on met à l'échappement, il y a un système de bascule qui est commandé par le levier, par le pilonnier, donc il y a le système de bascule qui permet l'échappement ou l'admission. Et là il y a une amélioration qui a été apportée au niveau du marteau-pilon, c'est une amélioration qui est une notable parce que c'était pour la lubrification des glissières, il y a des glissières pour la masse tombante, il faut qu'elle soit tenue, et donc il y a des glissières, et ça tombe le long des glissières. Et donc jusqu'à longtemps, on nettoyait de temps en temps les glissières pour servir l'arrivée d'air tout ça, les poussières, donc il y avait des dépôts, il fallait nettoyer ça, les glissières et la lubrifier donc on mettait de l'huile, et il y a eu un mécanicien, un mécanicien d'entretien qui a travaillé, c'est lui qui a travaillé le plus longtemps que j'ai connu au moins sur le marteau-pilon et il s'est dit tiens pourquoi on mettrait pas un système automatique pour lubrifier les glissières, et donc il a mis un petit levier qui partait de la commande, la commande à main, et qui fonctionnait chaque fois, et il a fait une petite pompe aussi et un réservoir d'huile. Et donc chaque fois, chaque fois que le pilonnier levait son levier, il y avait une goutte d'huile

qui tombait sur les glissières donc c'était intéressant, c'était automatique. Ça a fait l'objet d'une invention non brevetable.

MM : Ah.

J.-P. Roué : Oui, parce que à l'Arsenal, je sais pas si ça existe toujours, il y avait un comité qui été donc dédié à cela, aux inventions non brevetables, c'était pour les affaires qui amélioraient les conditions de travail, mais qui n'était pas non plus des trucs vraiment complexes et donc qui rendait beaucoup service. Et là il y avait tous les 5/6 ans des élections, cela s'appelait le comité mixte à la production. Le comité mixte à la production, son rôle donc c'était de gérer les inventions non brevetables. Et moi j'ai fait partie aussi des élus de cette commission. J'étais à la CFDT, donc j'étais à la réunion du directeur d'Arsenal aussi. Il a eu le droit à une récompense financière pour cette invention-là.

MM : Et pour revenir à l'air comprimé, est-ce que vous saviez où se trouvait le compresseur d'air comprimé et par où était évacué l'air du système d'air comprimé ?

J.-P. Roué : A l'extérieur.

MM : Donc au-dessus du marteau-pilon ?

J.-P. Roué : Oui oui oui.

MM : Et la réserve se trouvait où ?

J.-P. Roué : La réserve, oui. Quand je suis arrivé il y avait des réservoirs qui été au pied de la falaise, et donc des réservoirs cylindriques qui faisaient ce diamètre à peu près, 1m/1m20 de diamètre.

MM : Ils sont toujours en place ?

J : Non, il y a plus rien.

J.-P. Roué : Ces réservoirs-là ont été remplacés, et là maintenant...

J : Maintenant, il y a plus rien du tout.

J.-P. Roué : ... il y a plus rien du tout. Ils en ont mis deux après, deux pour les remplacer, parce que ces réservoirs-là étaient en mauvais état, parce que là il y avait des eaux de ruissellement de la falaise...

J : Ah ça rouillait à force.

J.-P. Roué : ... qui tombait dessus, et c'était vraiment en mauvais état, les gros réservoirs cylindriques. Ils ont mis des réservoirs beaucoup plus ventrus, de beaucoup plus grosse capacité parce qu'il faut du débit, quand on travaille au marteau-pilon, il y a un appel d'air à chaque fois donc faut fournir. Et donc là ces réservoirs-là, c'est tous les 10 ans qui sont éprouvés, il fallait les réprouver tous les 10 ans. Ils mettaient des comparateurs, vous savez, c'est des appareils de mesures à tige donc qu'on mettait au tour du réservoir, donc on voit la dilatation quand on met sous pression.

MM : Oui d'accord.

J.-P. Roué : Donc pour voir la déformation voir...

MM : S'il y avait pas un souci.

J.-P. Roué : ... s'il y avait pas un souci.

J : Et donc vous aviez pas besoin d'un compresseur car l'air, vous était déjà livré comprimé ?

J.-P. Roué : Ah oui oui, c'est le réseau de l'Arsenal, ça nous occasionné parfois des problèmes parce qu'il fallait un seuil minimum de pression. Il y avait un gros manomètre, je sais pas si vous l'avez vu, sur l'atelier, et donc qui indiquait la pression de l'air, et donc il fallait que ça soit aux environs de 7 bars. Et donc si c'était pas bon, on avait pas le droit de faire marcher le marteau-pilon parce qu'il était plus maîtrisable, et donc là ça nous causait des soucis parce que des fois la station, il y a plusieurs stations dans l'arsenal, de stations de compresseur. Des fois, j'étais obligé de téléphoner aux stations du fond de l'arsenal pour qu'ils mettent en route le compresseur pour qu'on puisse travailler aux forges.

MM : On passe à la 5.

FIGURE B.24 – Image 5

J : Alors sur cette image-là, on voit le bloom sur l'enclume, avez-vous des informations sur les fondations qui se trouvent sous l'enclume ?

J.-P. Roué : Ah oui, sous l'enclume, oui. Donc l'enclume, elle est démontable comme je disais tout à l'heure. On l'enlevait, c'était pas trop mécanique la base de l'enclume, ça portait quasiment aux quatre coins dans les quatre angles. Elle avait tendance à rouler et donc il y avait aussi le fait de l'usinage, quand on usine chaque fois, la course après n'est plus la même. Donc on apportait du métal, on enlevait l'enclume de son logement, on la retournait et on faisait un apport de métal, ou bien on m'était une tôle et on soudait dans les angles car c'est les quatre angles qui portaient sur la chabotte, donc sur la pièce qui était en dessous, la chabotte.

J : C'est ce qui est en dessous de l'enclume.

J.-P. Roué : La chabotte, on touchait pas à la chabotte, on rapportait du métal à la soudure, bien souvent, on faisait ça nous même, c'était les soudeurs de l'atelier qui faisaient l'apport de métal. On faisait ça à l'occasion de l'usinage des deux plans aussi, les plans de portage du marteau sur l'enclume. On donnait quelques coups comme ça de façon à rapporter du métal par soudure, on la remettait en place, on donnait quelques coups pour que ça tasse bien et que ça prenne bien sa forme, et à ce moment-là donc le temps était venu de faire le traçage avec le marbre et donc on envoyait ça à usiner après on était parti pour un moment.

J : Et combien il y avait de profondeur de fondation ?

J.-P. Roué : La chabotte, elle fait plusieurs dizaines de tonnes, elle fait un gros bloc d'assise. Je sais pas si on avait les plans de la chabotte. La chabotte se met en place quand on met en place le marteau-pilon, après on y touche plus, c'est des madriers en bois qu'il y a en-dessous.

J : On va passer à la question suivante.

FIGURE B.25 – Image 8

MM : Donc, ici, sur l'image on voit plusieurs ouvriers des forges, et la question qu'on se pose, c'est si vous avez instauré une certaine hiérarchie entre les ouvriers, si certains ouvriers avaient un poste en particulier, comment ça se passait ?

J.-P. Roué : Pour les chefs d'équipes. Quand je suis arrivé les deux chefs d'équipe anciens, ceux-là étaient déjà en place donc il n'y a pas eu de soucis, après quand ils sont partis, il y avait eu François Gap, un des seuls qui était ouvrier et donc lui il était essentiellement, il travaillait en relation avec le chef d'équipe qui faisait de l'outillage donc il connaissait bien le travail, le travail de réalisation des matrices. Et puis au point de vue qualité technique, il était très bon en raisonnement quand il fallait faire une pièce, il voyait de suite comment, il avait l'esprit assez agile.

MM : Est-ce que c'est vous qui engagiez les ouvriers, vous participiez à la sélection des ouvriers pour travailler aux forges ?

J.-P. Roué : J'ai participé à la session des ouvriers, c'est particulier car c'était pour les travaux maritimes. Les travaux maritimes ont des forgerons qui font des grands travaux, c'était des ouvrages extérieurs, des bâtiments, tout ça. Ils avaient besoin de recruter un forgeron, il y avait deux candidats, ils sont venus passer les essais à l'atelier.

MM : D'accord. Et après les ouvriers qui travaillaient avec vous ce n'est pas vous qui aviez fait passer les entretiens d'embauche ?

J.-P. Roué : Non ils avaient été recrutés par les bâtiments en fer.

MM : D'accord.

J.-P. Roué : Donc on ne m'avait pas demandé. Il y avait eu un embauchage massif, c'était au moment où la Gauche était passée au pouvoir, il y a beaucoup qui ont dégagés, il y a eu des dégagements, et il y a des ouvriers qui été âgés déjà qui sont partis. Et là, il y a peut-être 7 ou 8 qui sont venus dans ces années-là. Mais c'est l'atelier des bâtiments en fer qui a centralisé…

MM : Les embauches.

J.-P. Roué : Les besoins, oui.

FIGURE B.26 – Image 9

J : Sur cette image-là, on ne voit pas très bien, est-ce que vous vérifiez souvent les attaches qui étaient sur les grues, sur la grue chaîne comme cela pour vérifier leur solidité ?

J.-P. Roué : Oui pour la chaîne là, elle était vérifiée par les gens de la maintenance.

J : D'accord.

J.-P. Roué : Cela faisait partie de la grue, donc c'était de leur ressort aussi. Par contre la création des crocs, il y avait une personne qui était attitrée, qui faisait que ça dans l'arsenal, qui dépendait de moi, pour vérifier le croc des grues et des chaînes. Les chaînes, vous savez les chaînes en élingue dans différents ateliers, donc là cette personne-là, je la voyais le matin, elle partait dans les chantiers, elle revenait à midi, à embaucher l'après-midi je la voyais et je la revoyais le soir, elle était tout le temps partie à l'Île Longue, à Saint-Nicolas, partout dans tous les chantiers BF, hydraulique. Mais elle avait une activité parallèle, parce qu'elle était responsable des donneurs de sang de la deuxième région maritime aussi, donc cela lui prenait un peu de temps aussi. Mais là elle avait un temps dévolu à ça aussi, c'était pas compté sur son travail. Et donc lui là, cette personne contrôlait les crocs des grues, donc il fallait voir l'usure parce que y'avait des cotes à respecter. Il ne fallait pas le croc soit trop ouvert, comme je disais tout à l'heure, le forgeage, ces crocs-là étaient forgés, les crocs des grues bien sûr étaient forgés de façon à ce qu'il soit beaucoup plus résistant. Mais il arrivait parfois, si c'est élingué à l'extrémité du croc, le croc peut s'ouvrir ou bien si la charge a été trop importante donc il peut y avoir des ennuis au niveau des crocs. Lui il était chargé de vérifier ça, mais après que cette personne est parti en retraite, on a mis un jeune de l'atelier, lui il a fait ça pendant quelques années, mais il mettait moins de ...

MM : Moins investis ?

J.-P. Roué : ... on sentait que ça se passait pas trop bien avec les chantiers. Mais finalement après le problème a été résolu parce que toutes ces grues ont été données à une société privée. Tout ça est passé au privé après. Donc pour les grues, tout ça, après c'était une société privée qui faisait l'ensemble de l'arsenal.

MM : C'était plus facile pour vous d'un côté ?

J.-P. Roué : Moi j'étais satisfait de l'ancien qui faisait ça. Il faisait son rôle au sérieux. C'était peut-être pas trop un travail, comparé à ses collègues qui transpiraient quasiment toute la journée, lui il regardait le croc, il regardait si c'était bon, donc c'était un peu plus doux disons.

FIGURE B.27 – Image 10

FIGURE B.28 – Image 11

MM : On va passer à la prochaine image, donc là y en a deux donc on va réagir sur deux photos différentes, on se posait une question sur les images qui proviennent du document de 1996, on voit les ouvriers frapper le marteau-pilon avec une sorte de bélier en fait…

J : Oui, un bélier.

MM : …accroché à un chariot élévateur, et on voulait savoir à quoi cela servait de frapper le marteau-pilon à cet endroit-là ?

MM : Peut-être qu'on voit pas assez bien sûr les photos vu que ça provient d'un film.

J : Oui c'est vrai.

MM : En fait on voit que…

J.-P. Roué : Ah oui oui oui, ça doit être pour la clavette.

MM : D'accord.

J.-P. Roué : Il vous a pas dit ça Robert ?

MM : Il me semble qu'on en a parlé.

J : Oui il en a parlé la dernière fois.

J.-P. Roué : Parce qu'il y a des clavettes…

J : Il a dit que c'était à chaque gros coup.

J.-P. Roué : …pour rendre solidaire donc les pièces faut les arrondir, il faut bien arrondir et ça s'arrondit pas tout seul, donc il y a des clavettes qui sont des coins, et donc la clavette a dû partir, avait dû chasser.

J : Oui il a dit que c'était avec les gros coups, à force ça bougeait.

J.-P. Roué : Oh ça ébranle la structure c'est sûr. Je pense que c'est ça, je me rappelle plus mais ça doit être ça.

J : Il nous a dit aussi que les deux enclumes jamais elles ont été changées parce qu'il a dit que cela avait une longue durée de vie.

J.-P. Roué : Ah non non, je ne les ai pas vu changées, marteau, enclume. Mais ça m'inquiétait par moment parce que je disais il faut que je calcule, et j'ai pas fait après, parce que vous comprenez, si on enlève chaque fois, la course elle augmente. Moi j'avais peur que le piston vienne toucher le bas du cylindre.

J : Oui.

J.-P. Roué : Ah vous comprenez, si on enlève trop de matière en bas, la course, elle...

J : Elle toucherait plus.

J.-P. Roué : ...le piston viendrait en buté sur le fond du cylindre, alors là, non mais on a jamais changé. On enlevait le minimum aussi, à chaque fois qu'on envoyait à l'usinage, ils enlevaient le minimum.

MM : Oui.

J : Oui voilà. Concernant le marteau-pilon avez-vous des documents personnels, des plans, etc. ou vu ce type de plan ?

J.-P. Roué : Ah j'avais un dossier derrière moi à l'arsenal, mais (rire), non je n'ai pas, non.

J : D'accord.

J.-P. Roué : Parce que là par contre on offrait aux retraités qui avaient travaillés longtemps au marteau-pilon, quand ils partaient en retraite, on offrait une maquette du marteau-pilon.

J : Ah la maquette du marteau-pilon ?!

MM : Nous on a parlé avec Robert Vourc'h de l'ancre du coup, mais pas de la maquette du marteau-pilon.

J.-P. Roué : C'était pas une maquette, c'était grossier, c'était symbolique donc il n'y avait pas de commande bien sûr. Marc qui est décédé l'année dernière, il avait eu ça, quand il était parti en retraite, on lui avait offert un marteau-pilon de cette taille à peu près (montrant avec ses mains).

MM : En souvenir des années passées dans les forges.

J.-P. Roué : Lui il était compétent Denis Marc.

MM : Est-ce que dans le travail des forges et vous au niveau de votre poste de chef des forges, est-ce que vous avez utilisé l'informatique ? Est-ce que l'informatique a eu un impact sur votre travail ?

J.-P. Roué : L'informatique pour le pointage, on a commencé par avoir un minitel pour le pointage. Tout à l'heure, je vous parlais qu'il y avait eu un changement, j'avais pas dit la deuxième partie, c'était au début les gens commençaient à 8h mais après il y a eu l'horaire variable, et donc les gens pouvaient arriver dans une fourchette entre 7h et demie et 9h. Donc les gens qui travaillaient à 3 en même temps..., heureusement pour nous, pour l'atelier, les gens étaient matinaux plutôt les forgerons, donc ils arrivaient là, tôt le matin. Donc cela fait qu'il y a quasiment pas eu d'incidence, bien sûr il y a eu des cas particuliers, des empêchements, ils utilisaient leur mercredi. Donc il y avait l'informatique, comme ça ça permettait de voir qui était là aussi sur l'écran du minitel. Et autrement, pour, comment, on a eu un terminal aussi pour les commandes. Le préparateur, les dernières années que j'ai faites aux forges, le préparateur était descendu dans mon bureau, le préparateur qui était aux méthodes, il était descendu là et il préparait les commandes, les commandes des forges.

MM : Donc ça a quand même facilité votre travail et l'organisation des forges quand même d'avoir l'informatique en complément. C'est plus le côté administratif finalement.

J.-P. Roué : C'était surtout pour le secrétaire si on peut dire, car lui auparavant toutes les semaines il fallait qu'il fasse ce qu'on appelle, comment ça s'appelle, toutes les semaines il faisait ça, il y avait une situation à faire, manuscrite, pour le pointage des heures j'y suis. Il y avait un certain temps alloué pour faire chaque pièce, et lui chaque semaine, il faisait la récapitulation toutes les semaines, qu'il me donnait à signer.

MM : D'accord.

J.-P. Roué : Et donc là, il était obligé de faire ça, le secrétaire à la main, quand il y a eu l'informatique, il faisait ça sur son minitel, donc pour lui c'était plus pratique.

MM : Plus rapide aussi sûrement.

J.-P. Roué : Comment ?

MM : C'était sûrement plus rapide aussi.

J.-P. Roué : Ah oui, plus rapide pour lui, bien sûr, bien sûr, oui. Vous m'excusez, je vais aux toilettes.

MM : Pas de souci.

J : Oui, oui allez-y.

J.-P. Roué : (Donnant une feuille écrite par ses soins sur tout ce qu'il sait au niveau technique sur le marteau-pilon) Là, si vous voulez regarder peut-être que vous aurez des questions à me poser qu'on n'a pas vu. (La porte se ferme)(La porte s'ouvre)

J.-P. Roué : Excusez-moi.

MM : Pas de souci.

J : Non, c'est pas très grave. C'est normal, on est chez vous. J'ai une question à poser sur l'ambiance générale dans les forges.

J.-P. Roué : L'am ?

J : L'ambiance générale dans les forges, parce qu'en fin de compte, mon but est de reconstituer les gestes techniques, mais aussi l'ambiance qui régnait dans ces forges-là, et donc j'aimerais savoir qu'est-ce que vous vous retenez au niveau des sens, au niveau de l'odeur, de la chaleur, et du bruit, l'atmosphère en gros dans les forges ?

J.-P. Roué : Ah oui, ah le bruit, c'était pas bien.

J : C'est le bruit de quel instrument qui était le plus remarquable, le marteau ou la grue ou le four ?

J.-P. Roué : Oh le marteau-pilon, c'était surtout au niveau de l'impact, mais ce qui avait de déplaisant, c'était le ronflement des fours aussi.

J : Et le roulement aussi de la grue, non ?

MM : Oui qui fait faire un bruit un peu strident, un peu...

J.-P. Roué : On entendait la combustion qui se faisait, et là c'était bruyant aussi. Autrement, il y avait les presses aussi, la presse PDG, Pinchard Denis Grimard, c'est le constructeur, celle-là, elle avait un coup sec (imite le bruit de la presse PDG) quand elle arrivait en bout de course. Il y avait les autos compresseur, le marteau-pilon auto compresseur (imite un bruit de compresseur) à un niveau assez important.

J : Et au niveau de l'odeur, qu'est-ce qui restait vraiment ? C'était l'odeur du four ou de l'acier chaud ?

J.-P. Roué : Pour quoi ?

J : Qu'est-ce qui était en odeur le plus présent, c'était l'odeur du four en combustion ou des métaux qui étaient chauffés ? Y'avait-il une odeur qui régnait dans ces entrepôts ? Y'avait une odeur qui régnait dans ces forges ?

J.-P. Roué : Y'avait une ?

J : Une odeur.

J.-P. Roué : Une odeur ? Peut-être une odeur de gaz brûlé, oui. Parce ce qu'avait, pour le four qui était entre les deux marteaux-pilons, il y avait un récupérateur de chaleur, c'est-à-dire, une fois les gaz brûlés, ça repartait dans un cylindre parallèle au sol et ça repartait dans le sol, et ça réchauffait l'air admis après.

J : Donc il y avait une atmosphère assez forte en température, c'était assez chaud quand même.

J.-P. Roué : Au niveau des fours, les gens avaient chaud, très chaud, donc au moment où ils travaillaient. Mais un peu en retrait ou dans les presses, là où il y avait un petit four, des petits fours d'un demi-mètre cube à peu près, donc là les gens à proximité de leurs fours, ils avaient chaud quand même. Mais ils ont demandé quand même, au niveau HSCT, d'avoir leur chauffage, un chauffage. Il y avait un atelier donc, où on remplaçait leur système de chauffage et on a récupéré leurs panneaux radiants, donc on installait des panneaux radiants, ils y sont toujours peut-être ?

MM : Ça ne me dit rien.

J : Non, ça ne me dit rien non plus.

MM : Donc ça c'était plus proche du marteau-pilon quoi où vous les installez ?

J.-P. Roué : Je me rappelle plus où.

MM : C'était forcément éloigné du four.

J.-P. Roué : Prêt du marteau-pilon, dans la nef il devait y en avoir un, à côté, c'était peut-être à côté des scies qu'on en avait mis un, parce que quand il fallait débiter de la matière donc il y avait un bidon, là où il y avait les scies, et donc, les gens du marteau-pilon comme ils s'asseyaient pour récupérer de l'effort, donc ils s'asseyaient juste à côté, derrière le poste du pilonnier, vous voyez, ou devant le pilonnier, devant où se trouve le pilonnier.

MM : Oui.

J.-P. Roué : Il y avait une tôle qui protégeait le pilonnier, là il y avait des caissons, et ils s'asseyaient sur les caissons là, donc ils étaient dans le voisinage du four, ils étaient assez proches de la source de la chaleur.

MM : Voilà, le temps de récupérer.

J.-P. Roué : Oui oui, on leur accordait, surtout quand il y avait des gros blooms, là ce n'était pas la rigolade.

MM : Oui c'est normal. Alors vous avez eu le document qu'on vous a envoyé par courrier.

J.-P. Roué : Oui.

MM : Où on vous explique, que notre projet, Julien, lui il travaille sur le marteau-pilon dans le cadre de son master, et moi de mon doctorat. Et le but en fait de notre étude, la raison pour laquelle on essaye de recueillir le maximum d'informations sur le marteau-pilon, c'est de recréer le marteau-pilon à l'identique en version numérique, pour qu'on puisse se souvenir du marteau-pilon, mais également de l'histoire des forges et de votre travail à vous en tant que chef des forges, du travail de Robert Vourc'h en tant que forgeron…

J : Pour les gestes techniques.

MM : … qu'on puisse avoir un souvenir de ces forges maintenant qu'elles ne sont plus en activités. Donc, ici, je vais vous montrer déjà ce qu'on a. C'est une modélisation 3D du marteau-pilon, de la grue et des forges, donc ça ça a été fait par le Centre Européen de la Réalité Virtuelle qui se trouve à Plouzané, on vous en parle un peu dans le document. Je vais vous montrer, on peut bouger à l'intérieur, et donc ça ça a été fait grâce à des photographies qui ont été faites quand on s'est déplacé là-bas et grâce à des documents, des photos d'époques et donc on peut se rapprocher comme ceci et on peut admirer le

marteau-pilon. Là à première vue quand vous voyez cela est-ce que vous trouvez que c'est fidèle à la réalité ?

J.-P. Roué : C'est intéressant.

MM : Vous trouvez que c'est fidèle à la réalité ? Vous trouvez qu'il ressemble vraiment ?

J.-P. Roué : Oui oui oui.

MM : Donc en fait ce qu'on peut faire, on peut se promener dans la forge comme ceci, donc évidemment cela devait être un peu plus rempli.

J.-P. Roué : Ah c'est un panneau radiant. (Montrant l'écran d'ordinateur)

MM : Ça c'est un panneau radiant ?

J.-P. Roué : Oui.

MM : D'accord. Donc forcément cela devait être plus rempli quand vous y travaillez parce qu'il y avait d'autres machines. Là forcément, il y a que le marteau-pilon. Mais l'ambiance est quand même relativement proche de ce que vous avez connu ?

J.-P. Roué : Oui oui oui.

MM : Et en fait, cette modélisation 3D, elle a pour vocation d'être mise dans un casque de réalité virtuelle, on vous a un peu expliqué ce que c'était dans le dossier.

J.-P. Roué : Oui, j'ai vu qu'on pouvait mettre un casque, mais on peut manœuvrer le marteau-pilon ?

MM : Voilà, en fait vous mettez le casque et quand vous tournez la tête comme ça, c'est comme si vous étiez dans la forge. Vous avez le marteau-pilon à côté de vous à taille réelle en fait comme si vous étiez dans la forge, comme ceci.

J : Mais on ne peut pas encore le manipuler, c'est le Pont Tournant, on peut l'ouvrir lui par contre.

MM : Voilà, il y a une modélisation aussi du Pont Tournant de Recouvrance qui a été fait par le même organisme, et là le but c'est de faire par la suite lâcher le marteau, puis l'utiliser.

J.-P. Roué : Mais ce qu'il y a d'important, c'est de ne pas donner, faut bien maîtriser le levier parce que quand on donne des coups, faut donner des petits coups, des grands coups. Il faut qu'il y est une communication, c'est pour ça que les gens étaient réticents aussi à porter des casques, pour pouvoir communiquer entre eux.

MM : Donc là en fait, on avait montré une autre version, parce que celle-ci je les ai eu hier. Donc ça c'est la version avec le hangar, on l'a montré à Robert Vourc'h, la version qu'on avait avant avec le marteau-pilon et la grue, et en fait, on va vous faire la même proposition qu'à Robert Vourc'h, on voudrait savoir si ça vous intéresserait qu'un jour on fixe une date, qu'on vienne vous chercher chez vous et qu'on aille à Plouzané au CERV pour que vous testiez le marteau-pilon avec Robert Vourc'h avec les casques de Réalité Virtuelle. Est-ce que ça vous intéresserait d'essayer ?

J.-P. Roué : Oui si vous voulez.

J : En plus, vu que vous êtes en contact avec Robert Vourc'h, vous pouvez voir en plus tous les deux pour que vous soyez ensemble. J.-P. Roué : (Rire) Deux valent mieux qu'un !

MM : Parce qu'en fait, nous ce qui nous intéresse, c'est vraiment votre œil d'expert puisque vous avez travaillé avec le marteau-pilon. Si vous essayez le casque de réalité virtuelle, vous pourrez nous dire, par exemple, là ça va pas, là il y a un décalage. En fait ce qu'on attend vraiment c'est que vous puissiez vous servir de votre expérience pour nous renseigner, et que cela soit le plus fidèle à la réalité.

J.-P. Roué : C'est pas un peu...

MM : Petit ?

J.-P. Roué : ... plus haut ? Un peu plus haut.

MM : La base en dessous, là celle-ci (montrant l'écran) ? Elle serait plus haute ? Justement c'est ça qu'on attend de vous...

J.-P. Roué : Peut-être.

MM : ... c'est que vous puissiez nous dire, voilà les petits détails que nous on ne voit car on n'a pas été immergé dans cette ambiance des forges, et qu'on connaît pas le marteau-pilon, comme vous vous l'avez connu.

J : Parce qu'avec le casque, vous pourrez vous rapprocher au maximum et vraiment à taille humaine, et vous verrez vraiment si l'enclume est plus haute ou plus basse.

MM : Vous vous seriez d'accord éventuellement ?

J.-P. Roué : Oui. Et ce serait quand ?

MM : Je sais pas, ça serait en fonction des disponibilités de chacun. On va fixer une date, et puis du coup vous vous n'aurez rien à faire.

J.-P. Roué : Oh moi comme je suis en retraite, donc j'ai toute l'attitude.

MM : Et du coup pour que ce soit plus simple pour vous, on viendrait vous chercher chez vous et on vous ramènerait ensuite, comme ça vous êtes tranquille, parce que nous on sait forcément où c'est, et c'est plus simple pour vous.

J : Là, nous allons passer à la conclusion. Pour finir quels sont les avantages et désavantages du métier de forgeron ?

MM : De chef de forge ?

J : Oui de chef de forge, pardon.

J.-P. Roué : Moi ce que j'ai apprécié, c'est d'être indépendant surtout par rapport, j'ai des collègues donc qui ont été au Plateau des Capucins donc à l'usinage. Longtemps, ils ont été à 4 dans le même bureau, donc à la fin, ils ont demandé à scinder, ils ont mis une cloison, ils étaient plus qu'à 2 dans le même bureau. Alors que moi, j'étais tout seul dans mon bureau, et puis j'étais pas, mon chef, donc c'était le chef du Plateau, mais il venait. J'en ai connu un, il venait le matin, le mardi à 8h15, il ouvrait le portillon des forges, à 8h45, il était reparti, et je le voyais plus de la semaine (rire). Donc j'avais pas trop de contraintes, je pouvais mener mon truc à ma guise, c'était une certaine indépendance, et mais j'étais habitué à ça un peu à Lorient, quand j'étais à la DSM, Détection Sous-Marine, là il y avait un atelier principal, où j'avais plusieurs collègues, et moi je m'occupais du sonar et des torpilles, et là j'étais dans un atelier qui était à 30m du chef d'atelier là. Donc les chefs n'étaient pas trop sur mon dos, donc c'était... Oui puis autrement, je pense avoir eu des bonnes relations avec le personnel.

J : Ça c'est...

MM : Justement c'est ce qu'on allait vous demander, sur le plan humain, qu'est-ce que ça vous a apporté ? Vous aviez une bonne relation avec vos ouvriers ?

J.-P. Roué : Oui, je l'ai... c'est-à-dire en dehors du travail, par exemple, on avait le droit, c'était un papier que j'avais trouvé et que je ressortais chaque fois quand il y avait des contestations, c'était que les forgerons avaient le droit au café gratuit étant donné leur métier et donc les nouveaux chefs chaque fois n'admettaient pas ça, il dit non non on est dans un atelier faut payer la boisson dans les distributeurs, alors moi je ressortais cela. Et finalement, donc ça était maintenu toujours, et j'allais boire le café avec eux vers les 9h et demi, on se retrouvait tous, c'était une, à côté de la scie coupage à côté du bureau, il y a une petite cabane là, et donc là on était de tous les bords assez serrés, mais c'était sympa.

MM : C'est bien pour la cohésion du groupe.

J.-P. Roué : Ah oui oui...

MM : En plus comme vous vous voyez toujours.

J.-P. Roué : ... et tout le monde venait, tout le monde venait, tout le monde était là à cette heure-là.

MM : En plus, même si vous êtes à la retraite maintenant et que vous continuez à vous voir et à vous donner des nouvelles, ça prouve quand même que sur le plan humain c'était quand même...

J.-P. Roué : Oui oui oui, puis pour les obsèques, tout ça des gens, on se retrouve aussi entre nous, donc c'est que les liens étaient quand même assez fort.

J : Et donc, si c'était à refaire, quelles améliorations feriez-vous ?

J.-P. Roué : Des améliorations ? J : Oui.

J.-P. Roué : Si il y avait eu peut être plus de nouvelles machines à la fin. Au début, quand je suis arrivé, il y a eu des gros travaux d'entrepris donc on a scellé une nouvelle machine de traction pour les chaînes, par exemple. On a scellé les deux nouveaux fours MGR. Il y a eu une presse. Il fallait faire pour les dragueurs, il fallait faire des vis à tête fraisées, des vis à tête fraisées qui avaient un très long corps, des cylindres de cette longueur-là, avec une extrémité en chapeau chinois là vous voyez, et donc on en trouvait pas ça dans le commerce, donc s'il avait fallu prendre ça dans la barre, ça aurait fait des copeaux à n'en plus finir, parce qu'étant donné la longueur de la tige, il fallait tout dégrossir pour enlever le métal, et donc, et c'était à la demande du chantier de réparation. Donc on a fait l'achat de cette machine, donc j'étais à Paris au salon de la machine, donc on a acheté cette machine-là.

MM : Si vous deviez changer quelques choses, ce serait peut-être un peu plus de modernité au niveau des machines et des outils.

J.-P. Roué : Oui, oui, oui, ils ont restreint après, on voyait, on a fait un projet, on a associé les chefs d'équipe et les ouvriers, un projet Forge 2000. C'était pour réduire, pour refaire les lignes de production, mais c'était pas, il y avait pas de l'argent pour d'autres matériels, d'autres matériels neufs donc. Ah oui c'était à la fin, la machine à scie coupage, la machine à scie coupage neuve qu'était acheté 2-3 ans avant que je sois arrivé, donc il y avait des crédits pour les forges à ce moment-là. Après ils ont restreint beaucoup les crédits. Donc ça eu un peu un impact sur...

J : Ils ont diminué volontairement les activités.

J.-P. Roué : ... le renouvellement.

J : D'accord, très bien.

MM : Écoutez, on vous a posé toutes les questions.

J.-P. Roué : Mais je peux vous offrir un café peut-être ?

J : Oui, si vous voulez.

MM : Si vous voulez.

B.1.3 M.Bodremon (Conducteur de grues)

Retranscription de l'interview de M.Bodremon (Conducteur de grues à l'arsenal et chef d'équipe grutier, service des mouvements généraux) au Centre François Viète de Brest, le 17 octobre 2018. Cet entretien est mené par Marie-Morgane Abiven.

Marie-Morgane : L'entretien je l'ai découpé en plusieurs parties : la première partie ça va être davantage sur vous, sur votre formation, j'aimerais savoir en fait comment est-ce que vous êtes arrivé à l'arsenal si vous avez eu une formation spécifique, essayé de comprendre un peu comment s'organisait la formation pour travailler...

M.Bodremon : Avant de travailler à l'arsenal j'ai fait huit années de Marine Nationale

MM : D'accord !

B : Ces années-là m'ont comptée au niveau de la retraite pour le temps que j'ai passé à l'arsenal, huit années avec service outre-mer tout ça puis 29 ans à l'arsenal qui fait qu'à

55 ans, on va pas dire que j'étais médium mais ça revient au même j'étais au maximum partout je n'avais plus rien à gagner mais on m'a gentiment demandé de partir quoi. Mais je n'avais plus rien à gagner même je suis venu en retraite avec une retraite supérieure au salaire que j'avais. Oui j'avais un certain salaire et quand je suis parti en 97 j'avais 43 annuités donc j'avais trois années de trop et qui fait qu'avec 3 enfants j'avais 3 pour cent de plus au niveau de la retraite normale quoi, avec trois enfants on avait 10 pour cent de plus. Après ça quand j'avais 40 annuités et que j'avais 80 pour cent de mon salaire plus les 10 pour cent et du fait que je ne cotisais plus pour la retraite je me suis retrouvé avec une retraite supérieure de 800 francs au salaire que j'avais en activité. J'ai pas hésité à partir alors.

MM : Du coup quand est-ce que vous êtes arrivé à travailler à l'arsenal ?

B : Je suis arrivé travailler à l'arsenal le 19 août 1968 et je suis arrivé à l'atelier des mouvements généraux.

MM : D'accord vous pouvez m'expliquer ce que c'est ?

B : L'atelier des mouvements généraux c'est un service qui n'a pratiquement rien à voir avec la construction navale ni avec la réparation des navires malgré qu'on intervient là-dessus. C'est surtout ce qui est en rapport avec le transport et la manutention. Les restaurants également point il y avait le restaurant de Queliverzan à l'époque le restaurant Laninon un restaurant ouvrier.Le restaurant des calles également en bout du bassin trois dans l'angle sous la falaise, là c'est je sais plus quelle porte, le centre vie il était là je crois. Voilà donc ça concerne la manutention le transport les restaurants. La manutention c'est tout ce qui concerne la manutention à bord tout ça, les grues les engins flottants. Il y avait 3 grues de 150 tonnes, de 15 tonnes tout cela faisait partie du service des mouvements généraux oui, plus un train. Il y avait un réseau ferré de l'Arsenal et ce train à l"époque travaillait beaucoup parce que ce train venait de la porte Surcouf et ce train, la locomotive venait les prendre à la porte Surcouf pour aller dans différents chantiers de l'Arsenal après.

MM : Parce que la grande grue dépendait du service des mouvements généraux ?

B : Oui oui-oui cette grue pendant une époque on peut dire qu'elle était autonome parce qu'elle avait tout ce qu'il fallait au niveau de la manutention. Avec des apparaux spéciaux pour les grosses charges douces ont été stockés là. Sous les piles de la machine il y avait 2 petites maisons une maison pour le personnel où on pouvait se réfugier, se mettre au chaud Vous pouvez dire, il mangeait là-dedans tout ça. Et à côté il y avait un second local pour entreposer tu les apparaux.

MM : D'accord donc on stockait tous les appareils

B : Les apparaux ce sont les élingues, tout ce qui concerne la manutention. Il y a des gens qui étaient là en permanence .Et j'ai un voisin que j'ai connu, je me suis marié en 65, et j'ai un voisin nommé M.Boulic, il était retraité à l'arsenal et il m'a dit qu'il avait fait toute sa carrière sur la grue de 150 tonnes. Toute sa carrière ! Combien de temps je ne sais pas mais il a fait pas mal de temps. A une certaine époque y'avait une équipe au niveau de l'entretien, tôliers, mécaniciens, électriciens qui étaient là en permanence je pense.

MM : Donc c'est lui qui s'occupait de l'entretien de la grue ?

B : Non non au niveau tôlerie, tôlerie charpente et tout ça

MM : D'accord et donc lui il savait utiliser la grue ?

B : heu..je pense qu'il savait l'utiliser enfin ce n'était pas son rôle, il y avait les grutiers qui étaient là pour ça

MM : Parce que vous, vous avez appris à utiliser la grue ?

B : Oui oui j'ai appris

MM : Alors moi ce qui m'intéresse c'est de savoir déjà de quand à quand vous avez

travaillé au niveau de la grue et comment est-ce que vous avez été formé ?

B : De quand à quand ? Oh je n'ai pas les dates en tête. Oh c'était dans les premiers temps que j'étais là, je saurais pas vous dire

MM : Vous avez fait plusieurs années ?

B : Sur les grues ? Oh sur les grues j'ai fait 29 ans sur les grues

MM : 29 ans ?

B : Oui mais sur celle-là je vous dit je n'ai fait que quelque temps mais j'ai quand même noté quelques petites choses (montre un carnet avec des notes qu'il a envoyées pour l'entretien) Oh le petit chariot, y'avait une petite grue

MM : Oui ! J'ai noté des questions là-dessus justement

B : Celle-là peut importe le positionnement de la grue au niveau portée, elle prenait au maximum 20 tonnes

MM : 20 tonnes rien que la petite grue ?

B : Oui, 20 tonnes. Après il fallait passer avec les crocs de 75 tonnes. Y'avait deux crocs, deux crocs de 75 tonnes chacun ce qui fait 150 en tout quoi.

MM : Donc en fait quand on parle de la grue de 150 T...

B : On parle du levage principal. Les deux crocs de 75 tonnes

MM : D'accord

B : Oui voilà, un croc rouge et un croc blanc

MM : Du coup vous avez quand même dû avoir une certaine formation pour apprendre à conduire cette grue ?

B : Oh lala la formation normale que tous les grutiers ont quoi. Moi je suis rentré à l'arsenal comme manœuvre et bon on a demandé des volontaires pour aller sur les grues, j'ai mis mon nom et puis voilà c'est partis de là. J'ai appris sur le tas comme on dit quoi. Avec tous les engins qu'il y avait là. Il y a des gens qui ont fait toute leur carrière sur la même machine donc ils connaissaient la machine à fond comme on dit. J'ai enchaîné avec eux.

MM : Ce n'était pas une formation théorique faite sur place avec d'autres conducteurs quoi.Et combien de temps a duré la formation environ, elle a duré longtemps ?

B : Il faut compter 1 an à peu près oui 1 an.

MM : Un an de formation ?

B : 1 an on va dire pour conduire chaque grue parce qu'il y a plusieurs modèles de grues quand même

MM : Donc en fait dans les premiers temps vous étiez avec un ancien

B : Ah oui oui tout le temps

MM : Pour éviter les problèmes

B : Oui

MM : D'accord. Je voulais savoir aussi si vous saviez si il y avait des critères de recrutement spécifiques pour pouvoir utiliser ces grues ?

B : Moi quand je suis rentré non.Il fallait du monde en 1968, il fallait du monde. À la rentrée à l'atelier des mouvements généraux, le 19 août 1968, Nous étions à 9 à être embauché comme manœuvres.

MM : En même temps ?

B : En même temps, le même jour. Alors il y en a qui sont partis comme manoeuvres et qui sont devenus appareilleurs. Moi j'ai essayé aussi appareilleur mais j'ai vu que ça ne plaisait pas du tout , après je suis resté sur les grues après.

MM : Il y avait pas non plus un âge minimum ?

B : Non

MM : Il n'y avait pas non plus des critères..

B : Non, moi j'étais jeune en 68. Y'avait des gars qui dépassait la quarantaine qui étaient embauchés quand même

MM : Oui parce qu'il y avait besoin d'ouvriers et de main-d'oeuvre à cette période là quoi

B :Oui ça n'a plus rien à voir avec l'arsenal qu'il y a maintenant , ce n'est plus du tout la même boite

MM : Et vous étiez formé du coup pour conduire la grue mais est-ce que vous étiez formé pour d'autres postes en rapport avec la grue ?

B : Non non uniquement les grues, mais toutes les grues hein. Ce n'est pas un grue seulement c'est l'ensemble des grues

MM : Donc en fait la formation que vous avez eu avec les anciens c'était pour cette grue de 150 tonnes et c'était pour les autres grues que vous pouviez utiliser aussi.Et c'était quelles grues alors ?

B : Alors il y avait les grues Welhman grue anglaise, y'avait des grues MAN, deux grues MAN de 40 tonnes qui ont été récupérées après la guerre, elle était à Hambourg parce que sur l'une d'elles il y avait encore la plaque de baptême à Hambourg en 1939. Oui oui c'était en dédommagement de guerre quoi. Y'avait celle-là, y'avait des grues anglaises aussi des Applevage, y'avait un chack(?) au bassin 4 qui est toujours au titre de dédommagement de guerre aussi celle-là faisait 12 tonnes. Sinon y'avait les Clyde, y'avait deux types de Clyde de 18 tonnes et de 8 tonnes qu'est ce qu'il y avait encore ...y'avait un Bamague une Jeumont une Brien y'avait des grues sur rails comme on dit, grues à vapeur qui marchaient à la vapeur. je n'ai pas travaillé avec mais je les ai vues fonctionner. Y'avait trois

MM : Parce que je suppose que c'est différent de conduire une grue à vapeur ?

B : Ah ça n'a rien à voir. Déjà ils sont sur un chemin de roulement normal que pour la SNCF parce qu'elles circulaient sur les rails SNCF. Y'avait deux grues, deux petits vaugier de 6 tonnes je crois de charge mais c'était au niveau de salle de recette qu'ils avaient appelé à l'arsenal au niveau de la porte de la brasserie quand on rentre à l'arsenal

MM : Oui oui je vois bien

B : Et y'avait une autre, une browning qui faisait 12 tonnes. Celle là était au niveau de la cale. Mais la Browning se déplaçait de temps en temps là c'était tout un problème à cause de sa flèche dans les virages, sous les tunnels ça posait des problèmes ça fait que au bout d'un moment...Je ne sais pas quand est-ce qu'elle a été arrêtée. Moi je l'ai vue en activité après comme je ne travaillais pas dessus, je m'en suis pas intéressé.

MM : Parce que en fait la grue de 150 tonnes c'était la grue la plus grande que vous conduisiez ?

B : Oui oui

MM : Elle était plus compliquée que les autres à manœuvrer ou pas du tout ?

B : Non non pas du tout. C'est lent, ça posait pas de problèmes. Bon il y a l'histoire de la hauteur hein, il faut avoir, il faut juger au niveau de la hauteur, distance tout ça. C'est quelque chose qu'on acquiert à force de faire quoi.

MM : Oui surtout si la formation dure une année vous avez quand même ...

B : Oui oui il faut compter un an

MM : Et ce qui m'intéresse aussi c'est de savoir comment s'organisait le travail et par exemple quand vous étiez conducteur de grue, quels étaient vos horaires ?

B : Quand je suis rentré c'était l'horaire de l'arsenal, 8h le matin jusqu'à 18h05 le soir

MM : 18h05 c'est précis

B : 5! Oh oui oui (rire) c'était comme ça! Et à partir de 8h normalement, toutes les grues devaient être opérationnelles. Opérationnelles c'est-à-dire peu importe quel chantier, quel service, et bien sûr la grue on doit pouvoir le servir ou décharger un camion ou

autre chose.

MM : Vous deviez venir plus tôt alors pour pouvoir démarrer la grue, monter jusqu'en haut ?

B : Non non on arrivait plus tard, sur tous les chantiers c'était pareil les gens ils ne démarraient pas à 8h, y'avait le pointage, après on restait discuter

MM : Et c'était une semaine normale, c'est-à-dire du lundi au vendredi ? Y'avait pas de travaux exceptionnels le WE ?

B : Ça arrivait des fois qu'il y ait des heures supplémentaires le WE si si moi ça m'est arrivé

MM : D'accord si il y avait par exemple une cargaison à décharger

B : Oui et même sur un chantier oui oui

MM : Sur un chantier en particulier s'il y avait du retard vous pouviez être appelé le WE pour venir travailler

B : Je prends en exemple le cas du chantier du bassin 10. Le bassin 10 a été fait dans le bassin 4 de Pontaniou. Vous voyez où est le bassin 10 ?

MM : Oui

B : A la pointe là, le bassin 10 a été fait là-dedans c'est-à-dire que le bassin 4 a été totalement vidé tout ce qu'il y avait au fond, l'étain tout ce qu'on voudra pour les supports des bateaux tout ça ça a été vidé. On a fait comme une dalle sur le fond pour que ce soit bien plat et le bassin 10 a été construit là-dessus. C'est à dire qu'il y avait une armature en ferraille énorme et du jour où on a commencé à couler le béton quand toute la charpente en métal a été faite le jour où on a commencé à couler le béton c'était du non-stop jour et nuit samedi dimanche compris. Fallait que ça tourne en permanence, c'est une histoire de séchage de béton donc il ne fallait pas que ça s'arrête.

MM : Et ça a duré combien de temps du coup ?

B : Ouh lala le bassin 10 un moment je ne saurais pas vous dire

MM : Ça a dû durer pas mal de temps

B : Oui pas mal de temps oui. Mais là à ce moment-là on était trois sur la grue parce que y'en a un qui faisait le graissage qui s'occupait du graissage parce qu'on ne pouvait pas s'arrêter pour graisser, quand il y avait une pause au niveau du travail [...] elle est deux autres ils étaient là pour prendre la relève parce qu'il ne fallait pas s'arrêter

MM : Et comment s'organisait votre journée quand vous preniez votre service ?

B : Le grutier ne pointait pas. Dans les autres chantiers ils pointaient, ils avaient un système de casiers le gars il mettait son marron, s'il est là, il est pas là, [...] nous on avait pas à le faire ce marronnier, on arrive sur la grue pour faire voir qu'on était là on descendait un croc, comme ça le chef de loin il voyait tient y'a du monde dans la grue

MM : Y'avait différentes étapes dans votre journée par exemple ?

B : Non le matin c'était de 8h à 12h, 12h30 et on reprenait de 13h45 jusqu'à 18h05. Mais pendant les autres horaires on restait sur la machine. Qu'il y ait du boulot ou pas on restait sur place.

MM : Vous restiez en haut sur le poste de pilotage ?

B : Oui oui

MM : Et si par exemple il y avait une longue période où il n'y avait pas de déchargement vous étiez obligé de rester ?

B : Oui oui il fallait rester. Et ça sur l'ensemble des grues, sur toutes les grues

MM : Et est-ce que vous aviez des pauses sur votre contrat ?

B : Non non sur le bulletin c'était pas écrit heure de travail mais heure de présence

MM : C'est pas pareil

B : Non il y a une différence (rire)

MM : Est-ce qu'en début de journée vous aviez par exemple un moment où vous vous réunissiez pour voir le planning de la journée ou pour discuter avec les autres services ?

B : Non pas du tout pas du tout. Parce que chaque grue a un poste, bon si y'a un bateau ou autre chose , le gars est là, le grutier est là pour servir tous les services qui arrivent ou qui demandent à faire un travail sur un bateau c'est tout et après le grutier tient compte de ce qu'il a fait je vais vous montrer (cherche un document dans le classeur qu'il a apporté). Tous les jours il y avait un imprimé à remplir avec les heures qu'il a fait et ainsi de suite , le temps qu'il a passé , le temps disponible, le temps de graissage

MM : Et c'était un papier à remplir tous les jours ?

B : Tous les jours, chaque grutier remplissait sa feuille [...]

MM : Et disponible ça correspond à quoi ?

B : Ben quand on est là à attendre

MM : Ah d'accord donc le temps où vous êtes dans la grue et où vous ne travaillez pas

B : Et au niveau salaire ça change rien

MM : Et donc ça c'est commun à toutes les grues de l'arsenal ?

B : A toutes les grues, tous les jours chaque grutier remplissait cette feuille là

MM : Et donc cette feuille-là ensuite elle est envoyée à l'atelier des mouvements généraux ?

B : A l'atelier des mouvements généraux. C'est le chef qui passe récupérer toutes les feuilles pour comptabiliser ça après

MM : Quand vous débutiez votre journée vous ne saviez pas à l'avance ...

B : Ah non on avait aucune idée

MM : Mais quand vous montiez dans la grue vous saviez quand même ce que vous alliez faire , enfin quel type de chargement ?

B : Ah non quand on arrive sur le chantier si y'a un bateau qui est là en carénage on sait qu'on aura à faire pleins de services quoi. Ça peut être aussi bien les entreprises privées, les entreprises de carénage, de peinture comme les services de l'arsenal, l'artillerie , l'électronique

MM : Parce que quand vous parlez d'entreprise privée, ce sont des entreprises qui sont engagées par l'arsenal pour effectuer des travaux par exemple

B : Les entreprises de carénage surtout [...]

MM : Et au niveau de la grande grue, est-ce que vous avez une idée à peu-près du nombre de personnes qui travaillaient autour de cette grue ?

B : Moi j'ai connu en bas y'avait deux appareilleurs et un grutier

MM : L'appareilleur c'est quoi ?

B : Le grutier est dans sa cabine en haut. Mais s'il faut accrocher quelque chose à la grue ce sont ces gens là qui le font , suivant la charge ils ont des élingues tout ce qu'on voudra suivant la charge, le poids donc ils ont toute une panoplie de matériel on appelle ça des apparaux eux ce sont les appareilleurs

MM : Ce sont eux qui vont faire en sorte que la charge soit bien accrochée ?

B : Oui pour l'équilibrer et puis au niveau.. que l'élinguage correspond bien au poids de la charge qui est indiquée quoi

MM : Donc il y a le grutier, deux appareilleurs et ensuite est-ce qu'il y avait d'autres personnes ?

B : Heu non moi je n'ai pas connu d'autres non non, mais je pense qu'autrefois quand elle était en pleine activité je pense qu'il y avait du monde. Parce que je vous dit mon voisin M.Boulic il a fait toute sa carrière comme tôlier là dessus sur la grue de 150 tonnes, donc lui était tôlier donc y'avait surement un mécanicien, un électricien aussi avec

MM : Au niveau de l'organigramme du service des mouvements généraux, est-ce que vous savez comment ça s'organisait, si il y avait une personne qui était responsable de cette grue en particulier ?

B : Oui y'avait un des appareilleurs en bas qui était chef de poste, c'est lui qui gérait le travail, lui il disait au grutier tu fais ci, tu fais ça après lui il s'occupait au niveau de l'élingage, de mettre ce qu'il fallait quoi. Et c'est lui qui donnait les ordres au grutier en haut et c'était par téléphone

MM : D'accord vous aviez un téléphone dans la cabine de pilotage pour pouvoir communiquer avec lui en bas. Et ensuite lui il se chargeait de donner les fiches journalières aux mouvements généraux

B : Oui ou c'est le grutier qui faisait ou bien lui des fois. Le matin quand ils arrivaient, le soir quand ils partaient ils se retrouvaient dans le local en bas donc ils discutaient

MM : Et donc on en a parlé un petit peu mais il y avait des personnes qui étaient chargées d'entretenir la grue, si il y avait des soucis mécaniques. Est-ce que c'était les mêmes personnes qui se chargeaient de démarrer la grue en début de journée ?

B : La démarrer c'est le grutier qui démarrait . Oui y'avait le courant à mettre en bas et puis en haut y'avait un interrupteur et ça y est la grue est alimentée et maintenant on peut partir

MM : Et donc y'avait un interrupteur en haut et donc il y avait ...

B : Oh c'est un coffret , enfin je me souviens plus trop mais je sais qu'on mettait le jus comme on dit en bas et puis arrivé en haut y'avait un deuxième interrupteur pour alimenter les treuils tout ce qu'on voudra la giration et tout quoi

MM : Donc finalement c'était relativement simple de la mettre en route ?

B : Oui c'est pas compliqué, c'est très simple

MM : Parce qu'inconsciemment quand on voit une grue de cette taille là que la mettre en route c'était un processus qui était relativement long

B : Non non pas du tout pas du tout

MM : Et est-ce que vous pourriez me dire quel type de charge vous déplaciez le plus souvent ?

B : Là à la fin elle faisait plus grand chose hein. Elle a été détarée je sais plus en quelle année à la moitié de sa puissance au lieu de 150 tonnes elle a été détarée à 75 tonnes mais je sais plus en quelle année.

MM : C'est pour utiliser moins d'électricité ?

B : Non non parce qu'au niveau de l'état de la charpente ça devenait craintif au ouais c'était vraiment minable

MM : Déjà à la fin des années 60 ?

B : Ouais ouais là ouais ça craignait comme ont dit y'avait des paquets de rouille qui tombaient. L'année où elle a été détarée de la moitié de sa puissance je me souviens pas de l'année mais je sais qu'elle a été détarée de 150 tonnes à 75 tonnes

MM : Mais c'est quand vous étiez en service vous ?

B : Oui mais moi je n'allais pas souvent là dessus , je vous dis j'ai peut-être dû travailler deux fois, trois fois avec comme ça vite fait. Monsieur Guidal pourra peut-être vous dire plus

MM : Du coup comme elle était en relativement mauvais état on a préféré soulever des charges moins importantes pour éviter qu'il y ait des accidents

B : Voilà c'est ça oui oui. Et après elle a continué à se dégrader et il est arrivé un moment où on ne pouvait plus rien faire avec quoi, y'avait vraiment des morceaux de charpentes qui tombaient. Une fois dans une cabine y'a la fenêtre qui est tombée sur le terre plein en dessous. Heureusement qu'il n'y avait personne , du coup elle a été arrêtée et

là les autorités ont pris la décision de mettre des grands filets sur toute la longueur de la flèche en dessous pour éviter que tous ces morceaux de charpentes tombent oui oui c'était vraiment un danger hein

MM : Mais vous vous aviez des craintes quand vous montiez dedans vu l'état de la machine ?

B : En haut ouais j'étais pas trop fier des fois , les passerelles , fut une époque c'était un bon état mais là c'était bouffé par la rouille comme on dit on savait pas trop où on mettait les pieds

MM : Je ne me souviens plus, la hauteur de la cabine elle était à combien de mètres du sol ?

B : Olala la hauteur je ne sais pas non, je n'ai pas noté ça

MM : Parce que quand vous travailliez avec cette grue là elle fonctionnait tous les jours ou il y avait des jours où elle n'était pas utilisée ?

B : Oh y'a des jours où elle n'était pas utilisée mais le personnel était là quand même

MM : Et que faisait le personnel si on l'utilisait pas ?

B : Bah ils attendent [...]

MM : Au niveau des manœuvres que vous faisiez avec cette grue, la plupart du temps c'était décharger des bateaux par exemple ?

B : Vous avez un bateau qui fait un carénage, donc il est au sec, vous avez un tas de travaux à faire au niveau de la coque, des hélices, des arbres d'hélice, du gouvernail, après tout ce qui est à sortir du bateau la machine tout ce qu'on voudra après la passerelle, l'appareillage électronique tout ça ça se fait avec la grue quoi. C'est au grutier après de gérer suivant les gens comment ils arrivent qu'ils fassent pas attendre trop longtemps certains parce que ça gueule aussi en bas. les gens arrivent il faut les servir tout de suite mais non la grue est en prise là on peut pas certains ne comprennent pas ça non plus

MM : Et combien de temps pouvait durer une manœuvre comme ça, c'était relativement long ?

B : Oh ça peut durer longtemps certaines manoeuvres peuvent durer une demi-journée c'est long suivant s'il faut sortir un arbre d'hélices par exemple [...] ça prenait aisément deux heures hein. Parce que vous avez les gens qui sont au fond du bassin qui sont ils ont tout le matériel qu'il faut accroché à la coque , ils ont des palans tout ça , mais là grue elle prend un bout après l'arbre sort, la grue faut qu'elle avance avec, pendant ce temps là la grue est prise elle peut pas faire autre chose.

MM : Ah d'accord donc ça ralentit un peu le travail aussi

B : Ah oui énormément énormément . Oh oui certains travaux parfois une demi journée

MM : Et donc c'est l'appareilleur en bas qui vous donne les informations par téléphone donc c'est lui qui vous dit par exemple de déplacer la pièce à gauche ou à droite

B : Oui voilà où avance un chariot ainsi de suite. Et c'est lui qui juge aussi au niveau de la hauteur "ben stop arrête, t'es assez haut" ou ainsi de suite

MM : Donc vous vous aviez tout le temps le téléphone à l'oreille pour pouvoir avoir les informations rapidement quoi

B : Ah oui oui

MM : Est-ce que vous aviez un équipement spécifique pour travailler ?

B : Non pas du tout. Si des chaussures de sécurité c'est tout. autrement l'arsenal nous fournissait un bleu, un bleu de travail qu'on pouvait changer chaque semaine à peu près et une paire de gants.

MM : Vous n'aviez pas de protections comme on peut avoir sur un chantier par exemple comme un casque ou des lunettes ?

B : Non non rien du tout. Sur celle là hein

MM : Et est-ce que vous aimiez travailler sur cette grue, est-ce que vous preniez du plaisir à travailler ?

B : Oh du plaisir, j'ai pas travaillé beaucoup avec alors je peux pas vous dire que ça me plaisait.. Non mais ça changeait des autres quoi, la hauteur , la taille de la machine en elle-même c'est énorme par rapport à d'autres grues, mais dire que j'ai pris du plaisir là dessus non, quand j'avais quelque chose à faire je faisais mais sans plus quoi

MM : Et est-ce que vous aviez des travaux en contact avec la grue qui étaient plus compliqués que d'autres par exemple des charges qui étaient plus importantes plus lourdes ?

B : Non la taille des charges n'a pas d'importance

MM : Ça change rien pour vous à partir du moment où vous êtes ...

B : Non non même au contraire plus c'est gros plus c'est lourd et moins ça a de prise au vent c'est plus facile à remuer comme on dit. Des petites charges des fois peut bouger avec le vent, et avec un poids lourd ça va pas bouger. En plus c'est une machine qui est lente, ça va lentement doucement doucement doucement on peut pas dire qu'il y est de risques spécifiques

MM : Vous parliez du vent et ma prochaine question c'était pour savoir s'il y avait des conditions optimales...

B : Oui ! au dessus du vent supérieur à 60 km/h il était interdit d'utiliser la grue. Mais sur les autres grues c'est pareil. 60 à l'heure, on arrête !

MM : Mais ça devait arriver souvent en Bretagne quand même Ouais ouais assez souvent ouais. Mais enfin dans certains secteurs côté Pontaniou, moi j'ai fait 9 ans du côté du bassin de Pontaniou là on sentait pas le vent du tout quoi.

B : Oui c'était protégé par la falaise Oui et puis comment calculer les 60 à l'heure ? Les dernières grues qu'on a reçu les Caillard, les grues Paris étaient équipées d'anémomètres mais les autres n'avaient pas d'anémomètres hein c'était au pif comme on dit (rires)Oh ça souffle bon !

MM : Mais si par exemple y'avait du vent et qu'on ne peut pas utiliser la grue, comment est-ce qu'on fait ? Parce qu'on est bloqué dans son travail , on est obligé d'attendre pour pouvoir travailler

B : On remonte les crocs en sécurité comme on dit et on laisse la grue en girouette, elle tourne avec le vent

MM : Ah bon, elle n'est pas bloquée ?

B : Non non faut pas, on laisse la grue tourner avec le vent comme ça y'a pas de risque de chavirement ni quoi que ce soit

MM : D'accord, parce que si elle reste stable elle est plus dangereuse entre guillemets

B : Oui au niveau de la giration ça fait poser des problèmes aussi. Quand le vent souffle elle va se positionner dans le sens du vent et elle bouge plus après

MM : Donc on pouvait voir la grue bouger toute seule

B : Oui bien sûr mais bon c'est rare, une fois positionné ça ne bouge plus quoi. Et pendant tout ce temps là on est compté comme disponible

MM : Ah oui d'accord, même s'il n' y a personne à l'intérieur ?

B : Ah si le grutier reste en haut. Il fait sa demi journée en haut c'est tout

MM : On devait s'ennuyer quand même à un certain moment

B : Certains ne supportaient pas ça. Moi j'ai connu plusieurs qui ont quitté les grues, ils tenaient pas comme on dit, à rester tout seul là haut. Mais moi je me suis plu, moi j'aime bien être seul comme ça

MM : Ben justement j'allais vous poser une question, c'était de savoir par rapport à votre travail ce que vous trouviez le plus dur, le plus désagréable

B : La solitude ah non pas du tout

MM : Pour certaines personnes du coup ça pouvait être ...

B : Oui je connais des gens la médecine du travail les a descendus des grues, ils avaient de gros problèmes, ils supportaient pas de rester seuls

MM : Parce que c'est vrai que c'est ça qui est curieux, on travaille entre guillemets en équipe mais finalement on est tout seuls

B : oui oui

MM : Donc on monte dans la grue le matin, on ressort le soir et on a vu personne quoi

B : Voilà, non

MM : Et vous ça ne vous posait pas de problèmes

B : Non moi je trouvais ça bien (rires)

MM : Et au niveau des conditions, par rapport à la hauteur, ou de la difficulté du travail

B : La hauteur... avant d'être sur les grues j'avais le vertige. Et sur la première grue sur laquelle je suis monté c'est un ancien un nommé "Jean-pâté" enfin c'est le surnom qu'il avait il m'a dit "on va voir si tu peux faire grutier ou pas. On va aller en bout de flèche" sur la grue Welhman numéro 2 au bassin 2. Ça fait à peu près une cinquantaine de mètres au dessus du sol moi je me suis dit je pourrais jamais aller là haut moi

MM : Directement sur la flèche ?

B : Oui directement au bout ! oui tout à fait au bout. Moi je pourrais jamais y aller moi. " Tu me suis qu'il me dit, on va voir" En effet je l'ai suivi il était juste devant moi pendant l'échelle et ça a passé, je n'ai plus eu le vertige après

MM : C'était le baptême du feu un peu pour voir comment est-ce que vous arriviez...

B : Le baptême de l'air ! (rires) mais si il était pas venu devant moi je ne serai jamais monté , j'aurai pas pu

MM : Donc finalement la hauteur ça n'a pas été un frein pour vous ou une difficulté

B : Après je n'ai plus eu de vertige après

MM : Et au niveau du bruit, ça ça m'intéresse beaucoup, de savoir s'il y avait beaucoup de bruit

B : Ça dépend des machines , y'a des machines qui sont très bruyantes d'autres qui sont moins

MM : Et la grande grue du coup est-ce qu'elle faisait du bruit ?

B : Non c'était pas bruyant, la cabine était au niveau du pivot à peu près je pense après les treuils étaient tout à fait à l'autre bout de la flèche donc c'était pas bruyant

MM : Donc finalement de là où vous étiez vous n'entendiez pas vraiment les bruits mécaniques de la grue

B : Non non [...]

MM : Est-ce que vous avez déjà eu des problèmes du type accident de travail

B : Personnellement non

MM : Vous n'avez jamais été blessé en étant en contact avec la grue, et [...] il y a eu des burn out des personnes vivent mal leur métier et qui du coup arrêtent donc effectivement ça a été le cas comme vous l'avez dit ....

B : Oui y'a plusieurs à qui s'est arrivé, la médecine du travail les a descendus des grues comme on dit y'avait déjà l'histoire de la solitude après tous les risques que ça présente au niveau de la charge, au niveau du personnel tout ce qu'on voudra. [...] y'à toujours des personnes qui travaillent en dessous, certains paniquaient, est-ce que ça va tomber ou pas, est-ce que ça va tomber ou pas écraser du monde ça va pas à tout le monde

MM : Vous avez quand même passé une partie de votre carrière en tant que conducteur de grue, est-ce qu'il y a eu un moment ou vous vous êtes lassé de votre travail et où vous avez voulu arrêter ?

B : Non je me suis toujours plu .J'ai été 10 sur les grues, après j'ai été 19 chef d'équipe

MM : Est-ce que vous avez vu un évolution au niveau des normes de sécurité pendant votre carrière ?

B : Oui énormément

MM : Qu'est-ce qui a changé ?

B : Déjà y'avait des vieilles grues [...] y'avait des compresseurs et si l'air venait à tomber ça représentait un risque énorme on pouvait toujours bloquer la charge hein [...] Parfois le grutier il avait 8 tonnes au bout du pied, le pied glisse de la pédale vlan tout est par terre [...] ensuite on a supprimé tout ce système d'air. Après au niveau de la sécurité c'était énorme quoi

MM : Y'avait des arrêts d'urgence aussi si y'avait des soucis, par exemple une personne en dessous, on pouvait bloquer la grue d'un coup quoi ?

B : Oui oui le grutier peut bloquer en haut, mais les gens en bas peuvent bloquer la grue également, y'a des arrêts d'urgence sur chaque pied. Quelqu'un en bas voit un danger, un véhicule sur un rail par exemple que le grutier n'a pas vu clac il peut stopper la grue, stopper au niveau de la translation elle ne peut plus rouler

MM : Mais la flèche peut toujours bouger par contre ?

B : Oui oui après elle pourra plus rouler

MM : Oui donc y'a un double système de sécurité à la fois pour le conducteur et pour les gens qui sont en bas

B : Je sais pas si on vous là dit mais la 150 T elle reposait sur une base en maçonnerie[...] c'est une base en maçonnerie c'est comme un gros caisson c'est creux , ça se vide et ça se re-vide à chaque marée

MM : Ah l'eau peut rentrer à l'intérieur ? d'accord !

B : Oui oui c'est du solide , ça a été fait en quelle année moi je sais pas au début du siècle dernier quoi

MM : La grue date de 1910

B : Ouais donc la maçonnerie a été faite avant et ça ne bouge pas, c'est quand même du solide quoi [...]

MM : Au niveau du mécanisme des moteurs, je suppose qu'elle avait des moteurs, ça se trouvait en bas de la grue ?

B : Non non tout à fait, disons vous avez la grue (fait un schéma) Les moteurs sont quand même assez loin de la cabine

MM : Donc les moteurs se trouvent au niveau des treuils au bout de la flèche principale de la grue

B : Sur l'arrière de la flèche voilà

MM : Mais alors dans ce cas là si y'avait des réparations à effectuer on devait monter tout en haut de la flèche pour réparer ?

B : Oui les mécaniciens les électriciens faut qu'ils interviennent là

MM : Parce que moi inconsciemment je pensais qu'il y avait une partie des moteurs qui se trouvaient en bas

B : Non non en bas y'avait rien du tout

MM : En bas y'avait juste l'interrupteur pour la démarrer

B : Tout est en haut, tout ce qui concerne le levage tout est en haut. Alors vous avez ... (regarde son cahier de notes) ça j'ai jamais compris les indicateurs de poids indiquaient toujours 5 tonnes en dessous du poids réel, ça je n'ai jamais compris pourquoi c'était comme ça. Parce que dans la cabine de conduite y'avait des grands cadrans de 80 cm de diamètre peut-être c'était visible hein et ça indiquait la portée des deux crocs principaux par rapport à l'axe de la grue et le grutier savait tiens les crocs sont à telle distance, en

mètres et en centimètres. Et pour le levage c'était pareil les crocs principaux descendaient et le grutier pouvait mesurer en mètres et en centimètres par rapport au sol où se trouvait le croc et tout ça avec un système de chaîne à vélo. Y'avait des dizaines de mètres de chaîne à vélo entre les treuils et les cadrans qu'il y avait dans la cabine de conduite. C'était un système énorme quoi

MM : Donc en fait avec le cadran vous pouviez savoir à la fois la distance et le poids de la charge

B : Son poids je ne sais plus si c'est indiqué ou pas. Parce que en réalité c'est le type qui est en bas qui s'occupait de la charge , c'est lui qui disait telle charge tu mets ton croc à telle position. De toute façon si la charge dépassait le poids indiqué pour le levage y'a une sécurité qui se déclenche on pouvait pas le lever. On peut poser mais on peut pas le lever si on est en surcharge

MM : Oui donc ça permet d'éviter les problèmes

B : Oh oui bien sûr et ça sur toutes les grues c'est pareil sauf les grues à air [...]

MM : Est-ce que vous savez si la grue de 150 T a eu des problèmes mécaniques, si elle est tombée en panne ?

B : Je sais pas parce que quand j'ai connu elle tournait plus beaucoup, avant ça je sais pas au niveau de l'utilisation si y'a eu des gros soucis je sais pas

MM : Et on en a un peu parlé mais par exemple le poste de pilotage, c'est l'endroit où vous passiez votre journée donc forcément vous devez avoir des souvenirs de comment il était fait et est-ce que vous avez une idée une idée de la taille... (sort un schéma du poste de pilotage)

B : La cabine était immense la cabine

MM : (en regardant le schéma) Donc ça c'était les postes de commande , c'était les manettes ?

B : Ça c'était l'orientation donc la giration , ce sont les moteurs qui la font tourner sur les pivots , là c'est le petit croc donc c'est la petite grue qui circule sur toute la longueur de la flèche [...]

MM : En fait vous aviez une commande pour chaque action

B : Oui oui

MM : Donc vous aviez 7 commandes en tout. Mais la cabine faisait quelle taille ?

B : Oh c'était grand la cabine ! Par rapport à ici peut-être pas aussi grand qu'ici mais c'était immense. On travaillait debout

MM : Donc là il y avait le téléphone pour avoir les contacts avec l'appareilleur en bas et l'interrupteur général.

B : Oui y'avait un interrupteur en haut pour vraiment mettre tout le système en route quoi

MM : Et vous aviez un endroit où vous pouviez vous asseoir en attendant

B : Oui oui y'avait ce qu'il fallait , y'avait de la place

MM : Oui je n'imaginais pas que c'était aussi grand en fait [...]

B : Elle faisait peut-être trois ou quatre mètres au carré peut-être c'était grand

MM : Parce qu'on ne s'en rend pas compte en voyant les photographies de la grue que la cabine était aussi grande

B : Non on s'en rend pas compte d'en bas on ne juge pas

MM : Et est-ce que étant donné que les conducteurs de grue passaient quand même la plupart de leur temps dans la cabine , est-ce qu'il arrivait que certains conducteurs personnalisent la cabine ?

B : Oh ouais des peintures ou autre chose les anciens surtout ils emménageaient leur cabine un peu comme ça leur plaisait. Y'en avait un par exemple sur la Wehlman numéro

1 [...] il avait son fauteuil un grand fauteuil qu'il avait récupéré je sais pas où quelque part sur un bateau en démolition ou en réparation et il avait tout ce qu'il fallait pour cuisiner, il avait sa friteuse il avait tout

MM : Ah oui il avait aménagé une petite cuisine à l'intérieur

B : Oui il n'allait plus au restaurant il mangeait sur la grue également

MM : [...] est-ce qu'un jour si on venait à reconstruire numériquement la grue est-ce que vous vous souviendrez exactement de comment était le poste de pilotage ?

B : Non c'est tellement loin , non là je pourrai pas dire je me souviendrai pas l'an prochain ça va faire 21 ans que je suis à la retraite non ça j'ai oublié

MM : Et justement j'aimerais savoir ce que vous appelez le petit croc donc la petite grue qui se trouve au dessus, en gros ce que vous m'avez dit c'est qu'on utilisait le petit croc pour des charges qui étaient plus légères ?

B : Jusqu'à 20 tonnes après il fallait passer sur le levage principal

MM : Donc il fallait évaluer le poids de la charge

B : En général quand y'avait des charges qui arrivaient on savait toujours le poids quoi hein

MM : C'était donc le même conducteur de la grue qui pouvait donc manœuvrer le croc. C'était vous qui preniez la décision en fait ?

B : Si c'est supérieur à 20 tonnes on peut pas faire avec le petit donc il faut faire avec le gros avec le levage principal. l'appareilleur qui est en bas le chef de poste il vous dit tiens tu passes sur le gros croc parce que ça pèse tel ou tel poids quoi

MM : Donc finalement pour vous ça ne changeait pas grand chose que ce soit avec la petite grue ou la grande grue ?

B : Ça ne change absolument rien, au niveau de la conduite ça ne change rien

MM : Qu'est ce qu"on utilisait le plus souvent ? C'était la petite ?

B : Oui moi j'ai pas vu beaucoup utiliser le levage principal parce que 20 tonnes c'est déjà pas mal. Il fut une époque peut-être du temps où l'arsenal y'avait des gros bateau des cuirassés tout ce qu'on voudra qui venaient là, je sais j'ai vu quelques photos, cette grue elle était au poste 5 y'avait plus énormément de bateau qui venaient là quoi ou alors c'était pour des petits travaux [...]

MM : Au niveau de l'histoire de la grue, est-ce que vous avez entendu parler de son histoire par exemple pendant la guerre, est-ce que vous avez entendu parler ...

B : Non je n'ai connu aucuns des anciens qui auraient travaillé avec ou du moins personne n'en parlait j'ai jamais rien entendu là dessus

MM : Parce que je ne sais plus si c'est M.Seité ou M.Guidal qui m'a dit le jour de la conférence qu'il avait entendu [...] qu'on avait essayé de la dynamiter

B : Oui ça c'est vrai mais moi je sais pas plus.

MM : Vous ne savez pas s'il y avait encore des stigmates ?

B : Non non j'ai entendu ça comme ça mais est-ce que c'est vrai ou pas je sais pas

MM : Vous m'avez dit qu'à l'époque où vous travailliez dessus elle était en mauvais état, vous disiez qu'il y avait des morceaux de rouille qui tombaient...

B : Oui y'avait des morceaux qui tombaient

MM : Mais ça se voyait quand vous étiez face à la grue qu'elle était en mauvaise état ?

B : Oh oui vraiment par endroit c'était vraiment la couleur de rouille quoi. Moi je n'ai jamais vu faire d'entretien là dessus au niveau peinture

MM : Est-ce que vous savez à peu près à quel moment on a pris la décision de ne plus l'utiliser du tout ?

B : Oh j'étais en activité je ne saurais pas

MM : Parce qu'elle a été détruite en 1978 mais je n'ai pas encore réussi à savoir à partir de quand

B : Non je sais on a mis des filets sur toute la longueur de la flèche pour éviter que les morceaux de charpente tombent mais quand est-ce que cette décision a été prise je peux pas dire je sais pas du tout

MM : En faisant les recherches sur la grue, j'ai trouvé des photographies d'époque où on voit le démantèlement de la grue donc on l'a découpée par pièces et on l'a ferraillé, j'ai lu dans un ouvrage qu'apparemment on aurait vendu aux enchères certains morceaux de la grue. Est-ce que vous avez déjà entendu parler de ça ?

B : Non aux enchères ?

MM : Enfin ferraillé, et on aurait racheté le fer de la grue

B : Oh oui ça ça a dû être vendu par les domaines quoi combien ça a été estimé je sais pas

MM : Parce qu'à part le terre-plein où était entreposée la grue il ne reste plus rien, on a rien gardé

B : Non absolument rien

MM : Même pas certains éléments du poste de pilotage vous savez pas ?

B : Non tout est parti à la ferraille je pense. Après elle a été remplacée pendant quelques années par une grue Wehlman qui était mise à la place de celle là parce que c'était quand même un poste qui était utilisé de temps en temps. Mais elle ne roulait pas elle travaillait sur place [...] celle là est partie et a été remplacée par une grue Caillard de 60 tonnes et les pieds de la vieille grue ont servis à la fixation de cette grue Caillard. Quand ils ont fait des recherches au niveau des pieds de la vieille grue, ils se sont aperçu en creusant que les fers qui tenaient la vieille grue, des fers de protection étaient en très bon état donc ils sont estimé qu'on pouvait remettre la grue là dessus et a qui a été fait [...] ces fers ils ont été coudés pour faire un peu comme un hameçon ça faisait comme ça, et y'avait les pieds de la nouvelle grue qui étaient au dessus. Tout ça ça a été noyé dans un bloc de béton[...] et c'est resté là en place pendant toute la durée de cette grue ça n'a pas bougé.[...] je suis parti en 97 et au lieu des 33 grutiers je n'avais plus que 18.

B.1.4 M.Guidal (Conducteur de grues)

Retranscription de l'interview de M.Guidal (Conducteur de grues) au Centre François Viète de Brest, le 19 octobre 2018. Cet entretien est mené par Marie-Morgane Abiven.

MM : Alors du coup je l'avais un peu expliqué lors de la conférence donc je travaille sur différents types de grues et des unités de production industrielle dans l'arsenal et en fait on s'intéresse aux objets techniques mais on s'intéresse surtout en fait à l'activité donc aux gens qui travaillaient en contact avec ces machines et en ce qui concerne la grue de 150 tonnes on a des informations techniques sur la grue mais on n'a pratiquement pas d'informations sur les gens qui ont travaillé sur la grue donc ce qui m'intéresse c'est vraiment de savoir qui étaient les personnes qui travaillaient sur ces grues et puis comment est-ce que vous travaillez avec ces objets techniques donc en fait j'ai fait un certain nombre de questions que j'ai organisées par différents points donc par exemple ce qui m'intéresse c'est de savoir comment est-ce que vous êtes arrivé à devenir un conducteur de grue et après c'est l'organisation du travail comment est-ce que ça s'organisait au niveau des horaires au niveau de l'organisation même du service tout ça et ensuite c'est plus de caractéristiques techniques de la grue essayer de comprendre un peu comment

ça fonctionne et d'accord alors du coup moi ce qui m'intéresse de savoir par rapport à vous et à votre formation c'est de savoir quand est-ce que vous êtes arrivé à travailler à l'arsenal si vous avez toujours travaillé au niveau des grues si vous avez connu d'autres services ?

G : Non j'ai connu d'autres services j'étais un charpentier navire au chantier N j'ai fait une formation de menuisier ébéniste et puis donc au lycée de L'élorn Landerneau ensuite donc je suis arrivé en 68 juste avant la grève cinq jours après on était dehors et puis eux donc là j'ai fait cinq ans aux chantiers N navale constructions neuves donc là on a fait notre casto on a fait enfin tous les constructions neuves qui avait à l'époque et puis donc là cinq ans plus tard bon un petit litige et entre mon ingénieur il y avait un petit problème de grades et ainsi de suite donc pas trop d'accord sur certaines choses et j'ai une opportunité d'aller aux services généraux pendant l'été et puis donc on a passé un petit examen relativement simple et puis ensuite le chantier N m'a permis aussi de faire des cours par correspondance avec le CRPE de Vanves en trois ans ça permet de pour de peaufiner un peu ce qu'on avait pas trop appris à l'école et puis donc surtout le technique le calcul de poids, de charge de manilles, tout un tas de détails qui fait que aux généraux ben moi je suis arrivé comme appareilleur au départ et puis ensuite bon je fais du judo à l'époque donc j'ai vu un petit problème de dos là le médecin du travail m'a dit non discopathie petits soucis donc vaut mieux si vous avez un travail un peu plus léger donc on m'a dit essaye les grues donc je suis passé grutier comme ça parce que je pouvais pas j'ai un petit problème de dos qui s'est résorbé après très vite mais bon après on m'a catalogué grutier. Après ça m'a permis de faire tout le tour des grues de l'arsenal pour avant d'avoir une place de titulaire sur une grue précise donc j'ai fini sur la grue de 150 tonnes une grue très très facile à manœuvrer bon après de par sa hauteur il va forcément il y'a des personnes arrivaient à la moitié des marches

MM : Oui ce n'est pas donné à tout le monde je pense d'exercer ce métier là

G : Et donc à cette hauteur lors donc aux environs de 44 m donc on travaillait avec une grue qui est électrique et donc c'est juste que des volants qu'on oriente et donc il y'a une flèche qui met au point zéro et donc plus on monte en puissance plus forcément on a de la possibilité de soulever des charges importantes. Ensuite donc on avait une dérive à l'arrière il y avait il y'a une dérive à l'arrière qui fait que la grue le soir quand on partait il fallait la mettre en girouette

MM : C'est-ce que m'a expliqué monsieur Bodremon hier

G : D'accord donc à plus de plus 80 à l'heure on pouvait pas travailler avec la grue donc on est à l'entretien et à la maintenance donc cette dérive-là forcément que beaucoup de gens de l'arsenal ou surtout en ville savaient que cette dérive blanc lorsque était né à une certaine à une variante on savait le vent d'où il venait (rires) et puis c'est pas le but recherché donc c'était voilà [...]. Dans les années 1960 elles étaient détarées parce que bon en fait on l'a utilisé une centaine d'années parce qu'elle était commencée en 1910 donc moi je l'ai utilisés jusqu'en 74 environ

MM : De 1968 à 74 alors ? Ah non vous avez fait appareilleur avant mais combien de temps vous avez fait le poste d'appareilleur alors ?

G : Pas longtemps pardon le poste de grutier ? Pas très longtemps j'ai dû faire 4 ans

MM : 4 ans donc vous n'étiez pas qu'au niveau de la grue de 150 tonnes alors ?

G : J'ai fini sur la grue de 150 tonnes et ensuite après une fois la grue a été déclassée je suis passé je suis parti sur d'autres grues donc en l'occurrence mais des engins... après je suis parti au service des... toujours dans le même service mais on était détaché sur des engins flottants

MM : D'accord, les grues flottantes qui étaient proches des navires ?

G : Voilà d'accord donc on en avait deux on avait grue de 15 tonnes et une grue 250 tonnes parce que bon après donc moi je n'ai pas assisté au démantèlement de la 150 tonnes mais là ils ont détarée à 100 tonnes dans les années 1960 donc on travaillait avec un croc de 75 tonnes et on pouvait le jumeler on pouvait faire ce qu'on voulait avec c'était été très pratique ici en haut on avait une petite un petit croc de 20 tonnes qui servait donc pour les charges plus faibles et alors donc c'était une grue vraiment très agréable. Quand il y'a eu le démantèlement il y'a eu appel d'offres à l'époque on disait pas ça

MM : Et ben justement figurez-vous que j'en ai discuté avec monsieur Bodremon hier je l'ai lu quelque part comme quoi il y avait eu un appel d'offres pour récupérer la ferraille de la grue et est en fait je n'ai pas trouvé de preuves que que ça a vraiment eu lieu

G : Alors en 76/77 il y'a eu un appel d'offres il y'a une c'était une société italienne qui s'est présentée et c'était comment dire des ferrailleurs. Honnêtes pas honnête en fait ils sont arrivés là donc plus ou moins pas pour le franc symbolique mais c'était vraiment donné quoi mais ce qu'ils ont fait ils sont arrivés donc ils n'ont pas mis de filets de protection. Ils sont arrivés ils ont pris tout ce qui était intéressant : le bronze, le cuivre et ils sont partis

MM : Et ils ont laissé le reste

G : Ils ont laissé le reste. Donc il y'a eu un deuxième appel d'offres mais là alors ils ont dit là va pas faire de bêtises c'était drastique et donc voilà il y avait un délai pour tout enlever pour ça, ça, ça ils ont pris leurs précautions et tout et là il y eu un démantèlement il y avait un délai aussi pour tout enlever la ferraille et tout et donc ça c'est fait après part très vite

MM : D'accord parce que quand vous avez commencé à travailler au contact de cette grue, par qui est-ce que vous avez été formé ? par d'anciens conducteurs ? c'est en fait une sorte de binôme pour une certaine période pour vous apprendre ?

G : Dédé Cabon qui était donc titulaire sur cette grue là, donc moi je suis arrivé donc j'étais en double on appelait on appelait ça à l'époque où il est en double avec quelqu'un j'étais en double avec lui et puis après Dédé est parti au bureau petits problèmes de santé et donc moi j'ai continué seul et puis voilà j'ai terminé sur cette grue là

MM : Et combien de temps durait et la formation en général ?

G : Après ça dépendait aussi des capacités de la personne moi je sais qu'avec Jean Bodremon on a été en double sur il avait une Clyde , une Clyde à air entre le bassin 2 et 3 à Pontaniou c'était c'était rock'n'roll ! C'était une grue à air donc les relèves de flèches si vous êtes à air il y avait la pédale la pédale était lisse d'un côté et à crans de l'autre c'est que quand on fallait qu'on lâche la pédale fallait appuyer au pied pour lâcher le cran c'était lisse derrière et quand on a arrêté alors ont embrayait comme une voiture et on embrayait la flèche pour la lever donc on avait des chaussures pas adaptées mais antidérapantes et donc le levier en haut du levier et c'était un métallique avec des petites rayures pour ne pas qu'on dérape pas parce que comme on n'avait aucune sécurité la flèche pouvait partir dans le bassin la grue aussi si on dérape

MM : Il fallait être attentif

G : Tout à fait

MM : Est-ce que vous savez s'il y avait des critères de recrutement pour travailler sur des grues ?

G : Oui on faisait des tests psychotechniques donc c'était des tests un peu basiques mais pour la vue après la personne au niveau de l'alcool au niveau de tout un tas de détails, antécédents voir parce que on est noté aussi avec on a un coefficient donc voilà on est notée et puis donc à la longue ils voient qui est capable qui n'est pas on ne peut pas laisser une grue à n'importe qui non plus parce que c'est quand même dangereux.

Donc après en fonction de la personne et de ses capacités il y avait des grues qui étaient quand même plus ou moins intéressantes. Après j'avais fini au bassin 10 pour les carénages les hypers des sous-marins atomiques, donc là c'était précis il fallait faire des prélèvements de matériel dans les fûts tout ça puis bon c'est quand même un sous-marins c'est quand même quelque chose de très cher. Voilà donc concernant cette grue donc ça m'a beaucoup plu de travailler sur cette grue-là elle était vraiment très très très intéressante. Puis alors moi j'ai formé après des jeunes parce que d'autres personnes venaient sur cette grue-là, on tournait donc de temps en temps on me disait, il y avait interphone en bas donc il y avait un chef d'équipe appareilleur. On travaillait en talkie-walkie avec des petits interphones donc il ya une cabane ici là et puis là il y avait tous les apparaux de levage donc les élingues les manilles tout ce qu'il fallait pour griller cette grue là et donc chef d'équipe y avait quatre appareilleurs. Par la suite après donc comme il y avait moins de travail les équipes se déplaçaient au lieu de rester la alors on a un peu tourné puis à faire un petit entretien … De toute façon cette grue-là elle aurait pu continuer c'est un peu comme la tour Eiffel s'il y avait eu les moyens, si on s'était donné les moyens , cette grue elle serait encore à Brest

MM : Oui parce que c'était le symbole de l'arsenal, tout le monde connait cette grue là

G : Exactement. Alors il y avait une anecdote comme un genre de bizutage. Oui c'était interne à la grue on peut en parler ?

MM : Oui oui allez-y

G : Donc là haut on avait une lunette donc c'était en fait c'étaient les anciens qui avaient récupéré alors tout le monde s'est fait avoir, y'a pas de raison et donc c'était un genre de lorgnion mais une jumelle comment on appelle ça ?

MM : Une sorte de télescope ?

G : Oui une longue vue quoi. Elle était très précise et ils avaient fait ça avec des comment dire des visées de périscopes ils avaient dû récupérer ça des… et puis donc il y avait quelqu'un sûrement un bon dans l'équipe qui avait réussi à installer ça et puis on voyait très bien de loin et puis il ya forcément il ya un ancien qui s'est dit bon bah comment on pourrait l'utiliser pour la rigolade en fait et quelqu'un a dit ben quand un jeune vient bien il n'y a qu'à lui dire que il y'a une jeune fille et donc ils mettaient de la graisse noire sur l'œilleton . Le jeune quand il redescendait… (rires) donc tout le monde savait qu'il avait eu le droit à son bizutage.

MM : C'est le passage de flambeau

G : Oui oui tout à fait bon forcément quand une personne s'est fait avoir donc y'a pa de raison que l'autre ne l'est pas

MM : Puis c'est bon enfant quand même

G : Oui tout à fait bon après faut les suivre mais bon

MM : Est-ce que au niveau de l'organisation du travail c'était quoi vos horaires quand vous travaillez au niveau de la grue ?

G : Les horaires étaient identiques aux autres personnes donc à époque-là c'était six heures 18 heures, 18h05 on finissait et c'était des horaires internes à l'arsenal on n'avait pas des horaires différents d'autres personnes on avait les mêmes horaires que les autres.

MM : D'accord et est-ce qu'il y avait des moments type dans la journée par exemple parce que le matin vous aviez un briefing avec les équipes des réunions ou alors est-ce que vous alliez travailler au niveau de la grue sans forcément…

G : Oui alors en fait on nous disait qu'est-ce qu'il y avait à faire on buvait le café le matin avant de monter et avant de monter donc le chef d'équipe me disait ben voilà on aura ça ça ça tu prépares le croc, tu descends quelques crocs on va voir ça… bon forcément après là-haut à l'interphone ans on se parlait aussi mais bon il faisait en gros les grandes

lignes de la journée et quand souvent le vendredi on essaie d'avoir un moment de libre pour le graissage de câbles, parce qu'on faisait l'entretien nous-même, [...] donc ici on avait un graissage à faire tout le long de la flèche

MM : Et c'est vous qui montiez sur la flèche pour faire le graissage ?

G : Oui

MM : Et vous étiez équipés point de vue sécurité ?

G : On avait une ligne de vie puis craque on s'attachait, on avait des points de contact pour la graisse

MM : Ça prenait combien de temps de graisser la flèche comme ça ?

G : Une bonne demi-journée. Oui oui après on avait des points de graisse on avait un appareil avec une extrémité adapté puis on l'encochait avec une manivelle et la graisse rentrait dans l'orifice et puis ça et puis après avec le maillage de derrière tout ça se graissait automatiquement

MM : Du coup c'était finalement les conducteurs de grues et les appareilleurs qui s'occupaient de l'entretien de la grue n'y avait pas des personnes qui avaient un poste précis pour ce genre de choses ?

G : Non non. Après il ya eu des sociétés aussi qui ont fait le graissage pas l'entretien mais bon mais longtemps ça a été le grutier qui s'occupait du graissage

MM : Est-ce que finalement le graissage c'était plus au niveau des mécanismes finalement il n'y avait pas d'entretien à proprement parler pour la carcasse entre guillemets de la grue et c'est pour ça qu'elle s'est finalement...

G : Les points les points de graissage étaient les points les plus importants après bah le reste ça dépendait pas nous vous vous rendez compte le kg de peinture qu'il faut pour peindre ça ... et en plus faut décaper tout, il fallait qu'elle soit apte pendant 60 ans, ils l'ont laissée se dégrader c'est un peu dommage

MM : Finalement en comptant les conducteurs de grues et les appareilleurs il y avait environ combien de personnes qui travaillaient autour de cette grue ?

G : On était six personnes environ

MM : 6 personnes en tout en comptant les différents conducteurs ou seulement le conducteur et appareilleurs

G : Les appareilleurs en bas avec le chef d'équipe, le grutier donc 4 5 6 oui c'est 6 personnes qui tournaient après quand il y avait du gros du gros travail bon on fait appel à d'autres personnes du groupe parce que ben il fallait donner un coup de main non c'est du travail des fois conséquent parce que bon on soulevait quand même des charges importantes

MM : Et justement à propos de ces charges la quel type de charge vous vous déplaciez en fait ?

G : Alors là principalement c'était des poissons les poissons remorqués sur les escorteurs on appelait ça des poissons c'est un appareil qui va être dans l'eau avec un câble et puis que avec des radars et tout un tas de systèmes électroniques. Et on faisait aussi les tourelles 200. Donc les trois quarts des tourelles étaient à l'avant des escorteurs, les soulever aussi pour les caréner. Après ceux-là ils partaient à l'artillerie donc il y avait des grands il y avait des comment dire des convois exceptionnels qui arrivaient puis ça ça partait à l'artillerie.Les transports de rade aussi

MM : Qu'est-ce que c'est ?

G : Ce sont des bateaux rapides qui ramènent le personnel de la porte Jean Bart à l'île longue

MM : Ah oui d'accord c'est les bateaux gris et orange qu'on voit... d'accord

G : Donc ces transports de rade là on les carénait donc on les soulevait aussi. Ils faisaient 80 tonnes donc on n'avait pas de soucis pour les soulever.

MM : Donc finalement cette grue-là elle servait à la fois pour le service général entre guillemets et puis pour tout ce qui dépend de l'artillerie finalement ?

G : Oui et puis surtout les bateaux en général parce qu'on faisait un peu toutes les charges en fait tous les charges qui était qui incombaient à cette grue tous les bateaux venaient à la verticale quoi si si par exemple il y avait des bateaux ou est-ce que les charges étaient les chargés étaient moins lourdes... On avait une grue ici là (montre une photo) on avait cette petite grue de 20 tonnes, de 15 tonnes

MM : Qui pouvait être rajoutée à côté ?

G : Donc sur moi je pilotais celle-là

MM : Celle-ci c'est une grue flottante aussi ?

G : Oui

MM : D'accord donc celle-ci on pouvait la déplacer et l'emmener près de la grue 150 tonnes

G : Oui elle était autonome

MM : D'accord donc pour pouvoir déplacer les charges les plus importantes quoi. Et du coup combien de temps pouvait durer une manœuvre ?

G : Ça dépend des pièces en fait oui pour la journée des fois mais fallait faire attention parce qu'avec la marée dans le grutier il fallait qu'il reste en poste à l'intérieur. oui oui. Par exemple lever une charge sur une par exemple sur un bateau et puis que qui avait un petit souci on préférait par exemple un marnage donc par exemple sur une marée descendante et ont bloqué sur par exemple m'arrête pas importante et comme ça le bateau il bougeait presque pas encore. Et donc comme il y'a une entre la marée descendante et la marée montante y'a à peu près une heure donc on essayait de fin de marée descendante après il y avait un blocage par rapport à la remontée donc là mais une heure où le bateau est stable donc s'ils avaient quelque chose de très très très précis ces instants-là or après même à l'heure de midi on faisait journée continue

MM : Est-ce qu'il y'a une manœuvre en particulier qui était plus compliquée que d'autres ?

G : Oui des retournements de pièces parce qu'on pouvait retourner des pièces avec deux crocs

MM : Donc directement sur le quai où sur un navire ?

G : Directement sur le quai

MM : D'accord donc en fait il fallait être vraiment précis pour pas abîmer la pièce quoi c'est ça que vous voulez dire

G : Et alors dans cette grue-là après à la fin on avait là la cabine était tout petit peu plus grande que la pièce ici et donc avec elle était vitrée sur trois côtés et arrivée au niveau du plancher on avait des vitres en biais comme ça pour voir la verticalité du croc par exemple quand on travaille à 75 tonnes ou 150 tonnes avec les deux crocs il fallait qu'on travaille à la verticale parce que en fait ce qui logique par rapport au contrepoids le contrepoids se déplace pas donc plus on s'éloigne moins on peut soulever c'est logique donc à partir de là quand on travaillait sur ... (regarde une photo) là ils font des essais de charge ils ont des statique , dynamique pour y mettre de l'eau dedans et donc à 150 tonnes on soulevait presque à la verticale donc c'est pas des charges énormes en volume mais plutôt en poids quoi donc on travaillait par exemple sur cette tournée avec grille oui donc on savait que si par exemple on avait on avait 100 tonnes a soulever on savait que vous pouvez pas dépasser par exemple 40 m on savait qu'on était limite. Donc des fois ont simulait une levée alors on mettait le croc à 40 mètres et on voyait où ça menait et voilà donc après [...]

c'est très lent très lent très puissant mais alors très long oui donc quand il nous disait par exemple on avait un canon de 100 à soulever de suite en montant je mettais en route les moteurs et je descendais les crocs dessus et en arrière comme ça je laissais à une certaine hauteur et quand le bateau arrivait ...

MM : Est-ce que vous aviez un équipement particulier pour travailler dans la grue?

G : Non, moi ce que j'avais demandé après une réunion c'est que avec la réverbération de l'eau avec le soleil on a eu des lunettes après antireflet

MM : Ça vous gênait pour suivre le croc et le fardeau?

G : Oui donc on a eu des lunettes après anti reflets ça c'est tout le monde a eu mais autrement rien de spécial Vous aviez pas par exemple des casques de chantier ou des protections c'était l'équipement traditionnel on va dire le bleu de travail et les chaussures de sécurité?

G : Oui et puis le palto chaud de l'hiver et puis voilà.

MM : Parce que même quand vous montiez dans la grue vous étiez quand même voilà une certaine hauteur vous n'aviez pas une sécurité en particulier pour monter dans la grue?

G : Non y'avait des escaliers quoi , il y'a une rambarde et elle a été conçue comme ça il y avait rien de particulier

MM : Finalement comme vous êtes passé quand même par différents services et différents métiers entre guillemets au sein de l'arsenal, ce métier de conducteur de grue est-ce que c'est un métier que vous appréciez et que vous aimiez?

G : Alors moi j'étais jeunes mariés j'avais un besoin de parler j'avais un besoin évident de communication et là ça me manquait beaucoup c'est pour ça j'aurais peut-être continué on m'a proposé de faire chef équipe et tout ça ça m'intéresse pas je préférais le contact. En fait je me situais mal en fait en chef d'équipe par rapport aux ingénieurs et puis retransmettre après l'idée j'étais entre deux chaises. C'est à dire que revenir après ramener l'information, est-ce qu'elle était fausse, vraie, par rapport aux copains et remonter là-haut donc je me trouvais en porte-à-faux total mais ça ça me plaisait pas donc je préférais rester avec des bons copains, une bonne équipe. Après moi j'avais un poste où j'étais libre j'avais 3,4 gars avec moi tout temps et puis voilà. Mais non je préférais pas ce système là... y'a des chansons sur eux hein mais une partie de vrai. Et alors c'était c'était quand même pour être très très particulier sur les engins flottants après avoir passé sur la 150 tonnes, j'étais au bassin 10 sur une Caillard de 40 tonnes qui était différente forcément mais bon et après sur les engins flottants , c'était aussi une bonne et belle équipe [...]

MM : Mais justement on en a parlé avec monsieur Bodremon mercredi par rapport au fait que finalement même si vous travaillez en équipe c'était un travail qui était très solitaire puisque vous étiez seul dans la dans la cabine et en plus vous deviez rester en poste un moment quand même plus est-ce que vous voir vous l'avez enfin vous avez trouvé ça difficile?

G : Non c'était en fait on savait on savait que c'était confiné qu'on était dans un endroit précis et que c'était quelque chose de particulier mais ça on le savait dès le départ une personne par exemple nerveuse ou instable ou autre dans une grue de toute façon on l'aurait pas laissé et donc on savait que certaines personnes ont été aussi remerciées un peu parce que ça n'allait pas mais généralement le grutier c'est quelqu'un de stable

MM : Parce que finalement dans ce métier là qu'est ce qui était le plus dur vu que la solitude ça vous dérangeait pas est-ce que vous aviez plus des difficultés au niveau de la hauteur par exemple ou du bruit?

G : Ce qui m'a fait un peu partir un peu de ce métier c'est qu'en fait quand ils achetaient des grues quand il achetait des grues les grutiers on ne leur demandait pas leur avis.

Donc un jour l'ingénieur ben voilà tu vas être titulaire de la grue de 40 tonnes au bassin 10 donc tu vas être en double avec un autre pied et puis tu vas t'occuper de ça. Donc j'ai fait la réception d'une grue ...

MM : Sans savoir de quel type elle était mieux comment elle fonctionnait

G : Donc c'est une grue plein une grue plein qui était alors on se dit alors donc à toi tu vas avoir ta grue comme un joli cadeau et puis c'est une grue spécialement faite pour le bassin 10.Donc l'ingénieur derrière il ya la culture du savoir. Bon la grue faite pour le bassin 10 allonger la flèche au maximum peinait à attraper l'extrémité du quai opposé. Bon un détail. La flèche était pleine donc prise au vent énorme ça aurait été une grue à treillis ça aurait été beaucoup plus facile, un détail. Cette grue faisait 300 tonnes donc on était haut et elle est toujours en place elle était face au goulet. Donc quand il y avait du vent à partir de 80 km/heure je mettais la grue la grue comme ça perpendiculaire au quai au bassin donc là c'était on avait un petit siège avec les manettes donc et puis donc très facile, elle travaillait formidablement bien. Donc c'était un petit potentiomètre qu'on avait donc je reviens tu es la grue perpendiculaire au goulet je mettais le plot de translations sur cinq donc maximum elle était conçue par rapport à son poids lorsque par exemple je m'étais le potentiomètre sur cinq donc pour aller vers le château je l'arrêtais d'un seul coup je mettais à 0. De par son propre poids il y avait donc une genre de minuterie et au bout de trois ou quatre secondes la grue devait s'arrêter et il y avait quatre électro freins qui qui bloquaient les bougies donc les bougies c'est les pieds qui à la verticale des pieds. Donc il y avait une bougie forcément par pied et il y avait quatre électro freins qui bloquaient qui ralentissaient pas mais qui bloquaient que la grue devait être arrêtée. Seulement le problème c'est qu'avec le vent qu'il y avait et bien donc rien n'était en fait je crois que ce qu'ils ont fait ils ont pris une grue puis pour moi c'est bon c'est ça qu'on veut et donc la grue s'arrêtait pas. C'est que quand les 4 électro-freins bloquaient la grue est en fonction [...] ça bougeait de partout donc automatiquement moi je fais rapport j'ai demandé à tout le monde de venir bon ben ouais m'enfin bon et puis un jour ben avec l'électronique embarquée qu'on a ça va tomber en panne on va voir des petits soucis. [...]

MM : Et au niveau du bruit je prends forcément l'exemple de la grue de 150 tonnes mais est-ce que c'était compliqué pour vous est-ce que c'était bruyant?

G : Non avec le moteur électrique on l'entendait pas

MM : Et même quand elle tournait vu que c'était quand même un appareil qui était relativement ancien y avait pas...

G : Oh c'était top elle était top parce que la couronne et donc quand elle tournait , elle partait c'était d'une douceur incroyable

MM : C'était un appareil qui était agréable à manœuvrer et pourtant très ancienne finalement donc c'est un appareil qui était bien conçu finalement

G : Mais quand on voit par exemple même aux capucins avant il y avait des outils pour forger pour tout, des tours qui dataient des années fin 1800 début 1900

MM : C'était des outils qui étaient fiables

G : Qui étaient prévu dans la durée. Donc surtout ce matériel là parce que bon après ben il y'a forcément la rouille qui est arrivée après bon les grues ils se sont aperçus qu'il fallait quand même bien les entretenir donc il y avait un petit coup de peinture à donner de temps en temps donc y'avait des sociétés qui venaient un appel d'offres toujours quoi pour faire ses peintures

MM : Et au contact de cette grue est-ce que vous avez déjà entendu parler ou vu des problèmes de blessures ou d'accident de travail il n'y a jamais rien eu de ce côté-là? Et même au niveau de par exemple ce qu'on appelle maintenant le burn out, des gens qui ne supportaient plus ce travail-là ou qui ont craqué?

G : Moi j'avais demandé à partir parce que... mais je vais une opportunité sur les engins flottants

MM : Vous aviez envie de découvrir autre chose [...] Donc ça vous changeait beaucoup quand même de votre travail avait pu en avoir et est-ce que vous avez constaté des évolutions d'un point de vue sécurité au contact de la grue ? Il ya des nouveaux dispositifs qui ont été mis en place pour justement favoriser la sécurité au contact de ces outils-là ?

G : Oui tout à fait ... on avait des ... bon le matériel par exemple sur le 150 tonnes on avait dû on avait des manilles qu'on prenait à plusieurs personnes quoi c'était énorme c'était lourd. Après on a fait deux plateforme de forage. Les américains sont arrivés et ils avaient des manilles genre aluminium de métaux légers plus ou moins mais d'une force énorme qu'on pouvait soulever d'une seule personne l'équivalent que nous on avait. Alors on a demandé à en avoir quelques-unes bon il nous ont offert des jeux [...] nous on avait des manilles forgées, c'était des manilles faites à Guérini

MM : Elles n'étaient pas faite à Pontaniou aux les forges de l'arsenal directement quoi

G : C'était Guérini qui faisait les manilles. On avait des manilles de 50 tonnes mais alors par rapport aux manilles de 50 tonnes américaines c'était démesuré et alors en plus c'était un axe avec un boulon et nous c'était donc à visser [...]

MM : Est ce qu'il y avait un système de sécurité sur cette grue par exemple si vous aperceviez qu'il y avait un souci est-ce que vous pouviez bloquer la grue ou arrêter les moteurs ? d'arrêt d'urgence ?

G : Y'avait des arrêts d'urgence mais sur la 150 tonnes

MM : Vous ne pouviez pas couper les moteurs vous depuis la cabine s'il y avait un souci si vous constatiez par exemple qu'il y avait une charge qui était mal attachée ou qu'il y avait une personne en bas ?

G : En fait au départ le grutier bon s'il voit quelque chose qui va pas oui il le signale forcément mais c'est l'appareilleur qui décide l'appareilleur est directement lié à la charge pas le grutier lui on lui dit de lever il lève mais s'ils voient quelque chose, une incompréhension sur un détail lui il signale il fait que signaler non c'est bon tu peux lever et si un problème ou s'il y avait un blessé ou autre le grutier lui n'est pas responsable pour lui on demande de lever il lève, on lui demande d'arrêter il arrête. Donc c'est l'appareilleur qui est responsable de sa charge.

MM : Ce qui m'intéresse c'est d'avoir un peu les caractéristiques techniques de la grue c'est par exemple en début de journée comment est-ce qu'on allumait la grue pour la mettre en service ?

G : Alors ça dépend des grues donc sur la 150 tonnes c'était une grue électrique on mettait les contacts il n'y avait pas de préchauffage avait rien à mettre avant alors on allumait on mettait les inters en bas ont coupait le jus.

MM : C'était au niveau du socle quoi.

G : Oui oui alors ici on ne voit pas parce que sur ce bateau là (montre une photo) il y'a bâche et puis un peu de fumée mais donc ben là il y avait une cabane d'accord puis donc à l'intérieur donc il y avait les apparaux de levage comme je vous disais dont manilles les élingues tout ça et il y avait une zone vie où il y avait un réchaud pour boire le café puis si on travaille pour l'heure de midi pour un petit peu s'isoler. Autrement donc tout se passait là. On descendait on coupait les inters et donc on sécurisait la grue d'en bas. Moi je coupais d'abord en haut et puis après je sécurisais en bas

MM : D'accord donc il fallait d'abord éteindre au niveau de la cabine de pilotage et ensuite en bas.

G : Alors on sécurise et parfois c'est arrivé que t'oublies la lumière parce que pour les grues on a mis des petites lumières qui ont été ajoutées pour les hélicoptères par rapport

à la hauteur [...].

MM : Est ce qu'il y avait des pièces qui ont été changées au niveau de la grue est ce qu'il y avait des pièces qu'on devait remplacer régulièrement ? (non) C'était en fait plus un travail de graissage qui était fait pour pouvoir la garder dans un relativement bon état mais pas de pièce à changer ?

G : Alors il y avait peut-être une maintenance au niveau des moteurs électriques des balais de retors et tout ça à changer mais ça c'était une maintenance fait par centrale et réseaux qui venaient de temps en temps quand il y avait un soucis mais autrement c'est tellement c'était du gros matériel que c'était très... par exemple c'était des pupitres qu'on avait vertical un peu cette hauteur là et on avait un volant comme ça donc on tournait le volant dans un sens ou dans l'autre et on avait un point zéro donc plus on montait en puissance plus on pouvait lever de charge et puis l'orientation ben si on tournait dans un sens ou dans l'autre on partait soit à droite soit à gauche on tournait plus on allait vite c'était relativement basique mais c'était très très lent mais c'était précis.

MM : Est-ce que pendant que vous étiez en service c'est déjà arrivé que la grille tombe en panne vous avez jamais entendu parler d'une panne ?

G : Non donc ce qui l'a précipitée en fait dans l'arrêt définitif c'est que on avait des plaques de tôle, de rouille qui tombaient sur le toit de la cabane et puis à un moment on est plus en sécurité.

MM : Est-ce que vous aviez justement une appréhension quand vous preniez votre service de monter à l'intérieur parce qu'elle était quand même dans un état de délabrement avancé quoi donc ça posait des questions en termes de sécurité.

G : Bah en fait ce qu'ils ont fait ils ont détarée à 100 tonnes bon après donc à 100 tonnes après on était quand même limités dans beaucoup de charges que si on faisait encore les transports de rade mais après bon moins on l'utilisait mieux on se portait. Donc après on ne sait pas trop c'est quand même le problème il n'y avait pas eu d'entretien du tout et ben en fait c'est la rouille a pris vite en fait

MM : Elle aurait finalement pu durer encore quelques années

G : C'est comme la tour Eiffel 1910 ... [...] ben la tour Eiffel elle est nickel, on n'a pas les mêmes valeurs nous

MM : Ce qui m'intéresse de savoir aussi c'est par rapport au poste de pilotage parce que finalement c'est un endroit où vous passiez beaucoup de temps est-ce que vous pouvez m'expliquer un peu à quoi ça ressemblait on en a parlé un peu tout à l'heure mais quand j'en ai discuté avec monsieur Bodremon ce qui m'a surpris c'est que je m'imaginais une toute petite cabine en fait très exiguë et finalement c'était un lieu qui était relativement grand

G : Oui dans la grue 150 tonnes on avait la pièce ici.

MM : Oui donc on avait dix mètres carrés au moins

G : oui oui

MM : Et comment il s'organisait le poste de pilotage ?

G : En fait alors moi j'avais installé à ce système on avait des banquettes en moleskine et moi j'avais réhaussé un peu les banquettes vu que j'étais dans le bois tombé et j'avais fait un galbe au niveau du menton je travaille à l'horizontale parce que pour pour voir la verticale parce que quand on travaillait avec les petites verrières qu'on avait en biais oui ben on était debout comme ça avec les volants comme ça donc j'ai capté qu'il y avait peut-être d'autres possibilités donc j'avais installé donc cette banquette, on se mettait à l'horizontale [...] j'avais mes deux volants à portée de main et je voyais les gars en bas. Comme les chefs ne montaient jamais pratiquement jamais parce qu'il y avait quand même plus de 300 marches à monter donc il me parlait à l'interphone pour voir si tout

allait bien si machin...

MM : Et étant donné que vous passiez quand même relativement beaucoup de temps dans cette cabine est ce je parle de cette grue en particulier et même des autres est-ce que certains grutiers personnalisaient un peu avec des photos de la décoration pour se sentir un peu...

G : Oui d'ailleurs quand on faisait un remplacement un grutier qui était malades ou qui était en congés bon on touche à rien on arrivait... On a l'impression quand même d'être invités donc on touche à rien moi je faisais ce qu'il y avait à faire puis je repartais je signais... Alors on notait tout ce qu'on faisait les horaires et tout ça donc après a pris pour se faire payer ça marchait comme ça

MM : C'était un petit bordereau

G : Donc on marquait tout ce qu'on faisait et puis et après les services concernés devaient régler après le temps passé et ainsi de suite

MM : Est-ce que vous vous aviez décoré votre cabine de pilotage ?

G : Non c'était très très sobre

MM : Est-ce que vous aviez quand même de quoi vous faire un café par exemple vous restaurer quoi

G : Oui mais le café on le descendait il était en bas

MM : D'accord vous aviez une pause et vous descendiez boire le café avec les appareilleurs et les autres

G : Vu la des fois on montait une thermos, vu la hauteur on descendait qu'une fois

MM : Justement vous mettiez combien de temps à monter et à descendre de la grue ? Parce que là c'est difficile de s'en rendre compte

G : Ici par exemple on voit les marches quoi (montre une photo) donc on voit les marches donc c'est des paliers quoi donc on monte et ça descend ça il y avait plus de 300 marches donc ça faisait quoi entre 5 et 10 minutes à monter donc deux fois par jour. C'est surtout ce qui a précipité donc son démantèlement c'est le fait qu'il ya de la rouille qui tombaient mais les filets ils les ont mis sur la flèche voilà mais après il y avait sur les pieds il y'a eu aussi des plaques qui tombaient

MM : Et la petite grue qui se trouvait au-dessus vous la commandez directement au niveau du poste de pilotage aussi (oui) et vous choisissiez d'utiliser du coup le petit croc et le grand croc en fonction de la charge que vous aviez à déplacer

G : Oui parce que des fois par exemple lorsqu'il y avait des élingues et tout le matériel à emporter je le prenais avec le petit crocs pour prendre le matériel qu'il fallait pour amener à proximité des deux crocs de 75 tonnes [...]

MM : D'accord donc finalement la petite grue était plus utilisée que la grande ?

G : En fait on n'utilisait pas la petite grue il est préférable d'aller ailleurs sous une grue, prendre du matériel que prendre la grande pour que travailler avec le petit croc. Nous par exemple ce qu'on faisait avec cette grue là aussi c'est qu'avec le petit croc là il y avait le train qui arrivait et donc on pouvait aussi comment dire enlever tout le matériel d'un train par exemple avec le petit croc

MM : Est-ce que pendant toute votre carrière au contact de cette grue vous avez déjà entendu parler d'anecdotes sur l'histoire de la grue par exemple pendant la guerre le fait qu'on aurait essayé de la dynamiter pour la détruire est-ce que vous savez si la grue présente des stigmates ?

G : Elle a été dynamitée sur les quatre pieds il y'a trois pieds apparemment qui ont explosé mais bon ça pas été net et un pied était resté bien tout ça c'était renforcé forcément mais c'était rivé la structure par elle-même n'a jamais bougée

MM : Vous vous avez cette grue en quelle année ?

G : 74 75

MM : Est-ce que déjà à cette époque-là vous avez entendu que la grue allait être démantelée ?

G : Non

MM : On en parlait pas encore à cette période là

G : c'est déjà en bas ils parlaient qu'il y avait des plaques qui tombaient après donc ce qu'ils ont fait comme je disais tout à l'heure ils l'ont détaré de 150 à 100 tonnes et ensuite après ils ont mis des filets et puis après le modernisme qui est arrivé est après ils se sont dit c'est un gouffre financier si faut la décaper la refaire la repeindre et puis et puis quelle utilité donc après ils ont pris une Caillard de 80 tonnes celle qui était celle qui qui a été détruite en 2009 [...]

B.2 Les démonstrations de la modélisation 3D des forges avec les forgerons

Robert Vourch et Jean-Pierre Roué sont invités le 8 novembre 2017 à tester pour la première fois la modélisation du Marteau-Pilon. Notre dernière rencontre avait eu lieu fin janvier 2017 pour les entretiens menés par Julien Hageaux et MM.Abiven. Lors de ces entretiens nous avions montré aux forgerons la modélisation 3D du Marteau-Pilon sur Unity. A cette époque la modélisation du marteau et de la grue était faite mais la forge était vide, il n'y avait pas non plus les entités virtuelles ainsi que les animations de la grue et du marteau.

Dès leur arrivée les forgerons sont pris en charge par Ronan Querrec Serge Garlatti et Sylvain Laubé afin de faire une rapide visite des différents dispositifs du CERV comme le CAVE. Pendant ce temps-là, MM.Abiven installe avec Matthieu Courgeon et Frédéric Devillers le matériel (Appareil photo et trépieds) dans le but de filmer les démonstrations.

Déroulé des démonstrations :

Le but de cette démonstration est de montrer l'avancée du projet aux forgerons mais également de les familiariser avec une technologie qu'ils ne connaissent pas.

Une fois dans la salle, j'explique aux forgerons ce qu'est la technologie de la réalité virtuelle : l'utilisation des manettes, comment déclencher des animations dans l'environnement virtuel (conduire la grue, utiliser le MP).

La démonstration se déroule dans deux pièces différentes mais les forgerons se retrouvent ensemble dans l'environnement virtuel. Chaque forgeron est accompagné d'un « médiateur» pour les guider : Sylvain Laubé pour Robert Vourch, MM Abiven pour Jean-Pierre Roué. Les casques sont tous reliés à des écouteurs qui permettent de transmettre les bruits de l'environnement virtuel (bruit de la grue, bruit du marteau-pilon et bruit d'ambiance). Ces écouteurs permettent également d'entendre les autres participants à l'expérience qui se trouvent dans la pièce d'à côté.

B.2.1 La démonstration de M.Roué

La démonstration de M.Roué a eu lieu le 8 novembre 2017 au CERV. (Présents : Ronan Querrec, Sylvain Laubé, Serge Garlatti, Matthieu Courgeon, Frederic Devillers, MM Abiven)

Premier essai :

Pour débuter la démonstration, nous équipons JP Roué du casque et nous lui rappelons les commandes pour déclencher une animation ou pour se déplacer dans l'environnement virtuel.

Au toutes premières minutes de l'expérience JP Roué semble un peu déboussolé et bouge pour se déplacer et dépasse à plusieurs reprises la zone limitée par les capteurs dans la pièce. Il déclare d'ailleurs *« Je voulais aller près du pilonnier »*. Nous devons alors lui réexpliquer la démarche à suivre pour se déplacer à l'aide de la manette au sein de la modélisation. Je remets alors le casque pour diriger M.Roué dans l'environnement virtuel. Le forgeron semble perdu, quand je lui demande s'il l'entend bien il répond *« Oui mais là j'ai perdu le marteau-pilon »*. Il a de grandes difficultés à se diriger. Nous lui rappelons la démarche à suivre avec la manette. Nous nous rendons compte sur l'écran de contrôle qu'il n'appuie pas sur la touche pour se déplacer. Il se déplace constamment dans la pièce pour se rapprocher du marteau-pilon, nous devons donc l'accompagner pour qu'il ne sorte pas des limites fixées par les capteurs. Je lui dis *« Vous n'avez pas besoin de vous déplacer pour de vrai dans la pièce M.Roué, pour vous déplacer vous utilisez les manettes »*. Quand je lui demande s'il a compris : *« D'accord M.Roué ? »* Il ne répond pas, il ne semble pas avoir entendu.

M.Roué souhaiterait faire fonctionner le marteau-pilon *« Je voudrais le faire monter »*. Je reprends alors mon casque pour lui indiquer la marche à suivre. Je lui demande s'il entend bien et il confirme que non *« Je n'entends pas trop bien »*. Je vérifie donc que les écouteurs sont bien positionnés au niveau de ses oreilles. Je demande *« est-ce que vous entendez les autres parler M.Roué ? »* pas de réponse en retour. A la deuxième question il répond *« Oui j'entends »*. Je remets mon casque afin de lui expliquer comment actionner le marteau-pilon. Pendant ce temps-là M.Roué reste statique, la tête fixe et ne touche pas aux boutons de ses manettes. A la vue de l'écran je remarque que le faisceau lumineux pour se déplacer semble rester coincé comme si M.Roué laissait son doigt sur la manette. Nous lui enlevons alors le casque et nous lui réexpliquons les manipulations pour se déplacer. Un fois ce rappel effectué, nous invitons M.Roué à se déplacer au niveau du poste du pilonnier afin de lui montrer comment actionner le marteau-pilon. Après visionnage du film, nous nous rendons compte que M.Roué continue de se déplacer dans la pièce et jusqu'à se rapprocher dangereusement d'un des murs de la pièce. Je lui pose plusieurs questions mais celui-ci ne répond pas. J'enlève donc son casque et me rapproche du forgeron afin que celui-ci m'entende bien : *« Est-ce que vous voyez le faisceau lumineux ? »* et il répond *« Oh je ne suis pas doué moi »*. Nous décidons alors de diriger Jean-Pierre Roué à la voix en regardant depuis l'écran de contrôle. JP Roué dit alors *« J'ai du mal à coordonner mes mouvements »*. Voyant que M.Roué a des difficultés je décide alors d'enlever les écouteurs à M.Roué pour que celui-ci ne soit pas gêné par les bruits de l'environnement virtuel et par les autres participants dans l'autre pièce. Ainsi il peut alors se concentrer sur ma voix. Nous le dirigeons alors depuis l'écran de l'ordinateur. Ronan Querrec propose de faire une petite pause sur les démonstrations.

Deuxième essai :

Pour le second essai, voyant que M.Roué a énormément de difficultés avec le dispositif, nous lui proposons alors de l'asseoir sur une chaise tournante avec le casque et nous prenons les commandes des manettes afin de le diriger dans le but de découvrir les animations de la modélisation. JP Roué devient alors un spectateur et non un acteur. Il est donc plus à l'aise et réagit plus facilement sur ce qu'il voit. Matthieu Courgeon s'occupe de prendre les commandes pour actionner le pilon et pour ma part je me rapproche de M .Roué pour qu'il entende parfaitement et je lui pose des questions sur ce qu'il voit : «

Ah oui je vois la masse qui tombe ». Je lui demande *« Est-ce que vous trouvez que ce que vous voyez est semblable à ce que vous avez connu ?»*. Question auquel il répond *« Oh oui ça reflète la réalité »*.

Nous souhaitons maintenant lui montrer comment commander la grue. Je lui explique l'utilité des manettes sur le poste de commande et lui demande s'il entend le bruit de la grue en action mais il répond *« Pas vraiment »*. Nous avions enlevé le son des écouteurs pour le mettre dans les haut-parleurs de la pièce mais cela ne semblait pas suffisant. Matthieu Courgeon augmente alors le volume. Après avoir manipulé la grue nous lui proposons de le « téléporter » en haut de la plateforme du marteau-pilon pour qu'il puisse voir la vue d'ensemble de la forge.

Quand Jean-Pierre Roué est accompagné au sein de l'environnement virtuel, il semble beaucoup plus à l'aise et réagit beaucoup plus à ce qu'il voit. Il parle notamment des engrenages de la grue et de son entretien et du fait qu'il soit monté à plusieurs reprises en haut de la plateforme du marteau-pilon (informations qui n'étaient pas évoquées lors des entretiens classiques). Je lui demande : *« Qu'est-ce que ça vous fait de voir les forges comme ça de manière virtuelle vu que vous avez passé des années là-bas ? »* Il répond *« Ça me fait des souvenirs, j'ai vu des gars passer là... Je peux tirer mon chapeau parce qu'ils ont eu du mérite à travailler dans ces conditions. Ce n'était pas toujours facile. La transpiration, le bruit... »*. Je lui propose alors de mettre fin à la démonstration. JP Roué enlève le casque et dit *« Excusez-moi pour ma prestation, je suis confus »*.

Conclusion sur cette démonstration :

La démonstration de M.Jean-Pierre Roué a été relativement compliquée car il a de gros problèmes d'auditions qui l'empêchaient parfois d'entendre les instructions. De plus, le forgeron semblait un peu déstabilisé par l'environnement virtuel ce qui le poussait à se déplacer constamment au sein de la pièce. Il n'a pas l'air d'avoir non plus vraiment compris le fonctionnement des manettes.

La démonstration s'est beaucoup mieux déroulée quand nous lui avons proposé Matthieu Courgeon et moi-même de le diriger. JP Roué semblait alors beaucoup plus à l'aise et profitait davantage de l'expérience en réagissant à ce qu'il voyait.

B.2.2 La démonstration de M.Vourch

La démonstration de M.Vourch a eu lieu le 8 novembre 2017 au CERV.(Présents : Ronan Querrec, Sylvain Laubé, Serge Garlatti, Matthieu Courgeon, Frederic Devillers, MM Abiven)

Premier essai

Robert Vourch participe à la démonstration avec Sylvain Laubé et Ronan Querrec. Sylvain Laubé est le médiateur qui l'accompagne au sein de l'environnement virtuel. Ronan Querrec aide le forgeron à mettre son casque et Robert Vourch déclare instantanément *«Ah je suis aux forges ! »* . Ronan Querrec explique alors la démarche à suivre pour utiliser les manettes.

Robert Vourch souhaiterait aller face au pilon. Ronan Querrec le dirige et Robert Vourch déclare *« Ah ça y est je suis devant le pilon ! »*. Robert Vourch souhaite actionner le marteau. Ronan Querrec le dirige en l'aidant avec les manettes tout en se repérant grâce à l'écran de contrôle. Robert Vourch actionne le pilon et sa réaction ne se fait pas attendre *« Oh c'est magique ! »* Le forgeron prend alors les commandes seul et souhaite faire monter le marteau très haut afin de donner un grand coup et d'entendre le bruit. Quand Ronan Querrec lui demande s'il entend le bruit du pilon il répond *« Ah si j'entends le bruit du pilon, c'est*

tout à fait ça ! [...] ça tonne comme à l'atelier ! C'est exactement le même son. C'est formidable ! [...] C'est magique ! ». Sylvain Laubé lui demande alors quelle impression cela lui fait par rapport à la réalité et Robert Vourch lui répond *« Oh ben c'est tout comme, à part que c'est commandé autrement c'est tout mais les bruits sont les mêmes »*. Sylvain Laubé et Robert Vourch décident ensuite d'actionner la grue. Ronan Querrec aide le forgeron à se déplacer jusqu'au poste de commande. Une fois sur place Sylvain Laubé explique au forgeron comment actionner les différentes commandes de la grue et Ronan Querrec l'accompagne en le dirigeant avec les manettes. Robert Vourch souhaiterait alors descendre la grue. Ronan Querrec s'interroge alors de savoir quelle manette il faut actionner, Robert Vourch dirige alors son doigt vers la commande en disant *« C'est celle-là ! »* sans se rendre compte que les autres personnes de la pièce ne voient pas ce qu'il montre. Il commence à actionner la grue et dit alors *« Oh la vache c'est magique ! C'est formidable ! »* Ronan Querrec propose une pause pour soulager les yeux des forgerons. Une fois le casque enlevé Robert Vourch s'exprime sur son expérience *« C'est magique, c'est impressionnant ! Oh oui ça impressionne dur ! D'entendre les bruits du marteau, de la grue, les mêmes bruits exactement ! Oh ouais c'est bien capté ! Oh oui c'est super, ça impressionne !»*

Pendant la pause, nous discutons tous ensemble de l'expérience que viennent de vivre les deux forgerons pendant la démonstration. Robert Vourch dit à ce propos *« Il y a une chose que j'ai remarqué. C'est encore plus impressionnant en 3D que la réalité. Ça impressionne plus. »*

Deuxième essai

Ronan Querrec et Sylvain Laubé proposent à Robert Vourch de démarrer le deuxième essai en allant en haut du marteau-pilon. Robert Vourch : *« C'est tel que, y'a rien de changé ! »* Il s'interroge alors sur la façon dont la modélisation a été faite *« C'est par caméra que vous avez capté tout ça ? »* et Ronan lui répond *« En scan 3D et après photos »*.

Robert Vourch rejoint alors Sylvain Laubé en haut de la passerelle du marteau-pilon. Il réagit alors à ce qu'il voit en montrant du doigt : *« Ah ça y est je suis en haut ! Les pièces ici, la tuyauterie, l'alimentation [...] la conduite est là et ça alimente le pilon »*. Ronan Querrec invite alors Robert Vourch à avancer physiquement pour se rapprocher de l'avatar de Sylvain Laubé sur la passerelle. Il semble rapidement déboussolé Ronan lui propose alors de lui enlever le casque. Une fois le casque enlevé il réagit : *« Oh c'était génial d'avoir été sur la passerelle ! [...] c'est réaliste, c'est la réalité ! On était dedans. [...] ça fait longtemps que je n'ai pas été sur la passerelle justement. [...] Je ne m'imaginais pas ça comme ça, si réel. C'est la réalité, c'est proche de la réalité [...] Ah super les gars ! Formidable ! [...] C'est magique, j'ai trouvé ça magique »*.

La démonstration terminée, Jean-Pierre Roué rejoint Robert Vourch dans sa salle et lui demande *« Alors tu as été brillant ? »* et Robert Vourch lui réponds *« Je ne sais pas si j'ai été brillant mais j'ai vu des choses briller »*. Jean-Pierre Roué réagit à sa démonstration en disant *« C'est une bonne expérience de voir ça, avec les manettes on se croit dans la réalité »*

Conclusion de cette démonstration :

Robert Vourch semble avoir été très impressionné par cette démonstration et a exprimé à plusieurs reprises son enthousiasme en répétant *« C'est magique ! »*. Il semblait également plus à l'aise que Jean-Pierre Roué avec le dispositif.

B.2.3 Conclusion des démonstrations

Les deux démonstrations ont été bien différentes pour les deux forgerons. Jean-Pierre Roué a de sérieux problèmes auditifs, mais contrairement à son collègue Robert Vourch il n'est pas appareillé. Ce problème d'audition a rendu sa démonstration relativement

compliquée car à plusieurs reprises il n'entendait pas les indications. Pour pallier à ce problème, nous avons donc trouvé une solution : faire asseoir Jean-Pierre Roué et le faire guider par quelqu'un d'autre. Une fois qu'il n'avait plus les commandes, il était beaucoup plus à l'aise et réagissait beaucoup plus à ce qu'il voyait.

Les deux forgerons n'avaient jamais utilisé ce genre de dispositif. Robert Vourch semble s'être rapidement adapté contrairement à Jean-Pierre Roué qui semblait complètement déboussolé. Il n'a pas compris le fonctionnement des manettes et bougeait physiquement pendant ses essais.

Robert Vourch était beaucoup plus démonstratif que Jean-Pierre Roué. Il a exprimé son enthousiasme à plusieurs reprises (cf : C'est magique !) alors que M.Roué était plus discret. Hors caméra, Robert Vourch s'exprimait sur sa démonstration et était très ému, au bord des larmes. Lors des entretiens début 2017, il nous avait dit que son métier de forgeron n'était pas un simple travail mais une véritable passion, cette démonstration a donc été pour lui une expérience particulièrement riche en émotion.

B.3 Les scénarios de médiation

B.3.1 Le scénario activité : La fabrication d'une grosse pièce métallique

4 rôles : Le guide, deux forgerons et un chef d'équipe

1. Réceptionner le plan de la pièce à fabriquer
2. Calculer le poids nécessaire pour la pièce en métal
3. Découper la pièce de métal
4. Fixer la pièce (appelée bloom) sur une queue de forge qui est, elle-même suspendue au vireur de la grue
5. Déplacer la pièce
6. Ouvrir le four
7. Placer la pièce dans le four à une température de 1250°.
8. Vérifier la température de la pièce. Si celle-ci est blanche la pièce est à bonne température
9. Sortir la pièce du four et la positionner à l'aide du vireur et de la queue de forge au niveau du marteau-pilon
10. Actionner le marteau-pilon afin de commencer le forgeage.
11. Mettre la pièce à refroidir pendant environ 24h.
12. Envoyer la pièce à l'usinage au plateau des Capucins

B.3.2 Le scénario scolaire : La présentation de l'environnement des forges

Un rôle : Le guide

Bonjour, et bienvenus dans la forge de l'arsenal de Brest que l'on appelle « la forge de Pontaniou ». La forge est un atelier où on travaille le métal. On y fabrique toute sorte de pièces qui vont équiper les bateaux de la marine. On y répare également les ancres et les chaînes des bateaux. Un arsenal est un établissement militaire où l'on construit, entretient, et répare les navires. L'arsenal de Brest est construit à partir de 1631 et existe encore

aujourd'hui La forge de Pontaniou est située au bord de la Penfeld juste en dessous du plateau des Capucins. Le bâtiment est facilement reconnaissable avec sa grande cheminée en brique rouge. Il y a eu plusieurs forges dans l'arsenal de Brest, d'après les archives, la zone de Pontaniou a été équipée d'une forge en 1742. Je vous propose à présent de vous faire visiter la forge de Pontaniou qui a fermé ses portes en 2013. Il s'agit d'un très grand bâtiment où se trouvent de nombreuses machines. La plus impressionnante c'est celle-ci, le marteau-pilon.

Montrer objet : Marteau-Pilon

Le marteau-pilon est une machine qui sert à frapper les pièces métalliques pour leur donner une forme. Cette machine est très ancienne, puisqu'elle a 152 ans. Pour venir à Brest, cette machine a fait un long voyage depuis le Creusot

Montrer image :

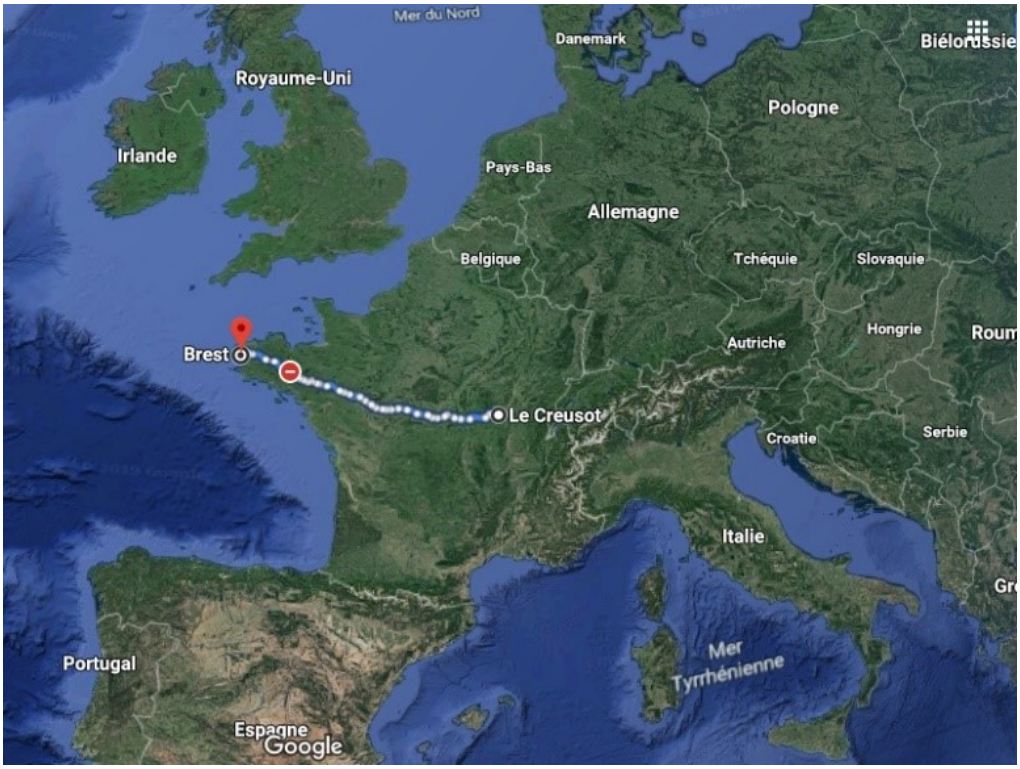


FIGURE B.29 – Scénario scolaire : Le trajet du marteau-pilon de Brest

La machine est arrivée en morceaux car comme vous le voyez elle est très grande et surtout très lourde, environ 6 tonnes ce qui correspond au poids d'environ 6 voitures. Le marteau-pilon fonctionnait à la vapeur à l'origine, mais dans les années 1920, il est modifié pour fonctionner à l'énergie hydraulique ce qui facilite son utilisation. Dans la forge se trouve aussi une grue qui date de 1931, on l'appelle « la grue strasbourgeoise »

Montrer objet : grue

La grue sert à transporter les grosses pièces métalliques depuis le four jusqu'au marteau-pilon. Le four a été détruit quand la forge a fermé ses portes. Voici à quoi il ressemblait.

Montrer image :

FIGURE B.30 – Scénario scolaire : Le four de la forge de Brest

On plaçait les pièces métalliques à l'intérieur du four pour que celles-ci soient très chaudes. Quand le métal est chaud il est plus facile à forger. Le four chauffait les pièces à une température de 1250°. Regardez sur ce film la couleur du métal

Montrer objet : extrait film

Quand le métal devient presque blanc, cela veut dire qu'il est à bonne température. En dessous de la grue vous pouvez voir une de ces pièces. On appelle cela un « bloom »

Montrer objet : bloom

Mais les forgerons travaillent également les petites pièces de métal, pour celles-ci pas besoin de grue, on utilise des outils comme des tenailles

Montrer image :

FIGURE B.31 – Scénario scolaire : Les outils de la forge de Brest

Ces outils permettent de transporter les pièces sans se brûler et de travailler le métal.

Il existe plusieurs types de postes dans ces forges : le forgeron qui va travailler le métal, le conducteur de la grue, le pilonnier qui commande le marteau-pilon, le chef d'équipe et le chef de la forge. Les conditions de travail étaient très difficiles car il faisait très chaud à cause de four, et le bruit du marteau-pilon était assourdissant, écoutez cela.

Montrer objet : extrait film avec son

B.3.3 Le scénario de comparaison des arsenaux : Les forges de Brest et Venise

Deux rôles : Deux guides (Un forgeron de Brest, Robert et un forgeron de Venise-Alessandro)

Robert : Les arsenaux sont des établissements dédiés à la fabrication des navires et à la Marine de Guerre. Il y a eu plusieurs arsenaux en France à Cherbourg, Brest, Lorient, Rochefort, ou encore Toulon. Certains de ces arsenaux existent toujours pour la maintenance des navires de la Marine Française. Nous sommes ici au sein de l'arsenal de Brest qui fut construit en 1631. Aujourd'hui nous allons particulièrement nous intéresser à une unité de production industrielle particulièrement importante pour la construction navale, la forge. Pour cette visite, je suis accompagné de mon collègue forgeron, Alessandro, qui vient d'un autre arsenal, celui de Venise. Alessandro, peux-tu nous en dire plus sur l'arsenal de Venise ?

Alessandro : L'arsenal de Venise est l'un des plus anciens arsenaux, il date du 12e siècle, sensiblement vers 1104. Afin de suivre le rythme de construction navale, l'arsenal de Venise va connaître différentes étapes d'agrandissements et d'aménagements. Contrairement à l'arsenal de Brest qui se développe linéairement autour des rives de la Penfeld, l'arsenal de Venise se concentre autour de bassins permettant le déplacement des navires.

Montrer image :

FIGURE B.32 – Scénario comparaison Brest-Venise : L'emplacement de l'arsenal de Venise

Robert : L'arsenal de Venise dispose-t-il d'une forge pour les besoins de la construction navale ?

Alessandro : Oui bien sûr, L'arsenal de Venise possède plusieurs forges réparties sur l'ensemble de la zone de l'arsenal. Ces forges se trouvent dans deux zones bien distinctes

de l'arsenal. La première se trouve dans l'arsenal Novissima et la seconde dans la Darsena nova.

Montrer image :

FIGURE B.33 – Scénario comparaison Brest-Venise : Les forges de Venise

Robert : A Brest, les forges ont pour la plupart toujours été à cet emplacement de Pontaniou, mais un autre bâtiment était situé au bout de la Penfeld, à la Villeneuve.

Montrer image :

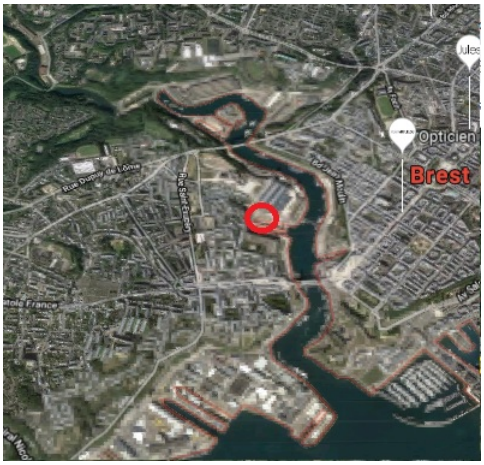


FIGURE B.34 – Scénario comparaison Brest-Venise : Les forges de Brest

Alessandro : Ce qui fait la particularité de Venise c'est que l'arsenal possédait plusieurs ateliers de forges qui avaient leurs spécialisations. Une des forges était consacrée à la fabrication des bâtiments blindés, et l'autre travaillait davantage sur les pièces destinées aux sous-marins.

Robert : A Brest les forges dans lesquelles nous nous trouvons servaient pour la fabrication des pièces pour les navires, mais également pour la réparation des ancres et des chaînes de bateaux. Est-ce que les forges de Venise ressemblaient à celles que tu vois ici Alessandro ?

Alessandro : Non, les forges de Venise sont bien différentes. Regardons le four de Brest par exemple, il fonctionnait au gaz et pouvait accueillir de très grosses pièces.

Montrer image :

FIGURE B.35 – Scénario comparaison Brest-Venise : Le four de Brest

Alessandro : Nous, à Venise, les fours sont bien plus modestes, ils fonctionnent au charbon.

Montrer image :

FIGURE B.36 – Scénario comparaison Brest-Venise : Les fours de Venise

Alessandro : Ces fours appelés sont de fabrication Française, ce sont des fours Clayet. Ils sont également appelés « les hottes des doges » en raison de leur forme de chapeau des doges.

Robert : Ce sont les seuls fours présents dans les forges de Venise ?

Alessandro : Non, nous avons également eu des fours électriques, mais ceux-ci ont été détruits. Je suis très impressionné par ce marteau-pilon qui est particulièrement grand. Pourriez-vous m'en dire plus ?

Montrer objet : Marteau-pilon

Robert : Ce marteau-pilon date de 1867, il provient des usines Schneider et Compagnie au Creusot. Auparavant il était dans les forges de la Villeneuve mais il a été déménagé ici à Pontaniou en 1881. Nous avons cette information grâce au livret d'entretien du marteau que nous avons retrouvé.

Montrer image :

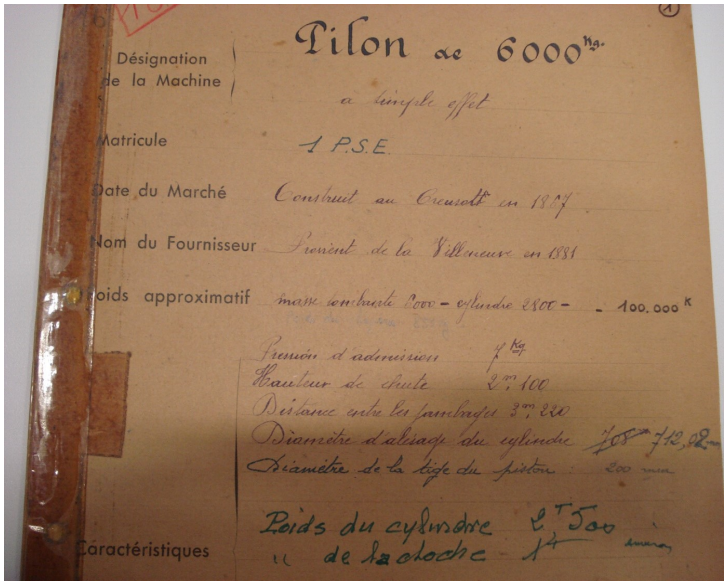


FIGURE B.37 – Scénario comparaison Brest-Venise : Le livret de réparation du Marteau-Pilon

Alessandro : Et quelle est la force de cette machine ?

Robert : La force de frappe du marteau-pilon est de 6 tonnes. A l'origine il fonctionnait à la vapeur mais il est passé à l'énergie hydraulique vers les années 1920. Et vous, aviez-vous également un marteau-pilon à Venise ?

Alessandro : Oui, nous avions également un marteau-pilon, mais celui-ci était bien différent du votre, il ressemblait davantage à un martinet regardez.

Montrer Image :

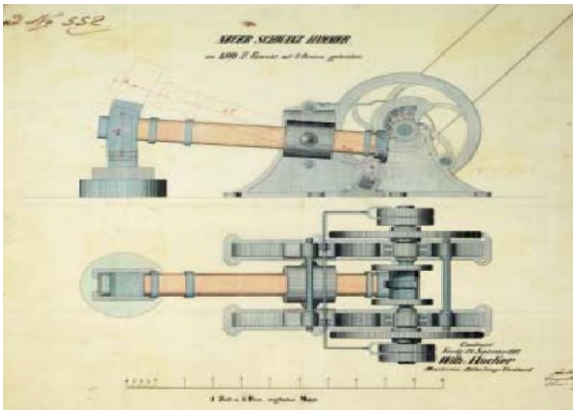


FIGURE B.38 – Scénario comparaison Brest-Venise : Le marteau-pilon de Venise

Alessandro : Ce marteau est de fabrication Neuer Schwantz Hammer et date de 1857. Il a été détruit et il n'existe à ce jour aucune photographie de ce marteau. Je vois que vous avez ici une très belle grue, à quoi servait-elle dans ces forges ?

Montrer objet : grue

Robert : On appelle cette grue « la grue strasbourgeoise ». Elle date de 1931. Son rôle était de transporter les grosses pièces métalliques du four au marteau-pilon. Aviez-vous ce type de grue dans les forges de Venise.

Alessandro : Dans les forges non, nous n'avions pas de grue, mais l'arsenal de Venise dispose encore aujourd'hui d'une grue particulièrement impressionnante : la grue Armstrong et Mitchell qui date de 1885. La grue hydraulique a pour missions principales le chargement et le déchargement des navires ainsi que la mise en place des canons sur les bâtiments. Ce système de levage est le témoin de l'innovation scientifique et technologique du 19ème siècle.

Montrer image :

FIGURE B.39 – Scénario comparaison Brest-Venise : La grue Armstrong de l'arsenal de Venise

Robert : Cette grue ressemble beaucoup à une grue de Brest, la grue hydraulique du quai de l'artillerie qui était positionnée non loin de là. Celle-ci a été détruite pendant la guerre.

Montrer image :

FIGURE B.40 – Scénario comparaison Brest-Venise : La grue hydraulique de l'arsenal de Brest

Alessandro : Oui c'est vrai, elles se ressemblent beaucoup !

Robert : Les forgerons de Venise utilisaient-ils des outils manuels pour travailler le métal?

Alessandro : Oui, ils utilisaient des tenailles, des pinces ou encore des marbres et des valets pour donner des formes spécifiques aux pièces métalliques. Il me semble d'ailleurs que vous utilisiez les mêmes outils à Brest. Ceci est le marbre de Venise

Montrer image :

FIGURE B.41 – Scénario comparaison Brest-Venise : Le valet de la forge de Venise

Alessandro : C'est très impressionnant cette modélisation des forges de Brest, nous avons vraiment l'impression d'y être!

Robert : Oui c'est vrai, cette modélisation permet aux gens de découvrir ces forges virtuellement. Les vraies ont fermé leurs portes en 2013 et ne sont pas ouvertes au public. A Venise il est possible de visiter les forges?

Alessandro : Une des forges est ouverte au public pour des expositions de la biennale, mais il ne reste plus que les fours. L'autre forge accueille quant à elle des démonstrations avec des forgerons afin de faire découvrir au public le savoir-faire des forgerons

Alessandro : Finalement il y a beaucoup de points communs entre ces deux forges et un véritable besoin de valoriser ces lieux

UNIVERSITE / SOCIETES
BRETAGNE \ TEMPS
LOIRE / TERRITOIRES

UBO
Université de Bretagne Occidentale

Titre : Humanités Numériques et méthodes de conservation et de valorisation des patrimoines maritimes. L'exemple des arsenaux de Brest et Venise

Mots clés : Histoire des sciences et des techniques, Humanités numériques, Ingénierie des connaissances, Réalité Virtuelle, Paysages culturels industriels, Arsenal, médiation culturelle, Brest, Venise.

Résumé : Cette thèse transdisciplinaire s'insère dans le programme du Centre François Viète (EA 1161) *"Histoire comparée des paysages culturels portuaires et Humanités Numériques"* et se situe à l'articulation entre les domaines du patrimoine, de l'Histoire des Sciences et des Techniques et des Humanités Numériques.
Le premier objectif est d'établir et comparer les cycles d'évolution et les pratiques culturelles industrielles des deux arsenaux (Brest et Venise) du point de vue scientifique et technologique à travers l'étude d'indicateurs spécifiques comme des unités de production industrielle et des grues en s'appuyant sur le méta-modèle en histoire ANY-ARTEFACT.
Le second objectif est la construction et la validation de nouvelles méthodes en Humanités Numériques dédiés à la conservation et à la valorisation du patrimoine industriel et de l'activité associée.
Nous proposons 1) Une chaîne de production impliquant des travaux en ingénierie des connaissances et en réalité virtuelle 2) Un environnement virtuel informé (EVI), appelé *Lab in Virtuo* dédié à la construction de scénarios pour la médiation culturelle. Cet EVI s'appuie sur le couplage de deux méta-modèles dédiés à l'activité: l'ontologie ANY-ARTEFACT-O et MASCARET. Une ontologie spécialisée consacrée aux forges a été développée.
Les travaux en réalité virtuelle ont permis le développement d'un EVI permettant la réalisation d'activités et la transmission des connaissances au sein de l'environnement virtuel sur le domaine des forges.
La synthèse de ces travaux se traduit par la création d'un guide méthodologique qui est à destination de chercheurs, d'acteurs académiques, ou territoriaux.

.

Title: Digital Humanities and methods of conservation and valorization of maritime heritage. The example of the arsenals of Brest and Venice

Keywords : History of science and technology, Digital humanities, Knowledge engineering, Virtual Reality, Industrial cultural landscapes, Arsenal, cultural mediation, Brest, Venice.

Abstract: This transdisciplinary thesis is part of the Centre François Viète (EA 1161) laboratory's program "*Comparative history of port cultural landscapes and digital humanities*," which is at the border between the fields of heritage, the history of science and technology, and digital humanities.
The first objective is to establish and compare the evolution cycles and the industrial cultural practices of both arsenals (Brest and Venice) from a scientific and technological point of view through the study of specific indicators such as industrial production units and cranes, based on the ANY-ARTEFACT history metamodel.
The second objective is the construction and validation of new digital humanities methods for the conservation and valorisation of industrial heritage and its associated activity.
1) A production chain involving work in knowledge engineering and in virtual reality, 2) An intelligent virtual environment (IVE) called *Lab in Virtuo* for the construction of scenarios for cultural mediation. This IVE is based on the coupling of two metamodels dedicated to the activity in question: the ANY-ARTEFACT-O and the MASCARET ontologies. A specialised ontology dedicated to forges has also been developed.
The work on virtual reality has led to the development of an IVE that allows the carrying out of activities and the transmission of knowledge within virtual environments based on forges.
The synthesis of this work is reflected in the creation of a methodological guide for researches and academic or territorial actors.