



HAL
open science

Une vision produit-process et sa méthodologie dédiée à la sauvegarde du patrimoine technique et industriel sous une forme virtuelle

Florent Laroche, Alain Bernard, Michel Cotte

► To cite this version:

Florent Laroche, Alain Bernard, Michel Cotte. 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, 2009, 26 p. hal-00422153

HAL Id: hal-00422153

<https://hal.science/hal-00422153>

Submitted on 6 Oct 2009

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.

Une vision produit-process et sa méthodologie dédiée à la sauvegarde du patrimoine technique et industriel sous une forme virtuelle

Florent Laroche ^{(1) (2) (3)} - florent.laroche@ircsyn.ec-nantes.fr

Alain Bernard ⁽¹⁾ - alain.bernard@ircsyn.ec-nantes.fr

Michel Cotte ^{(2) (3)} - michel.cotte@univ-nantes.fr

⁽¹⁾ *Institut de Recherche en Communications et Cybernétique de Nantes
Equipe Ingénierie Virtuelle pour le Génie Industriel
Ecole Centrale Nantes
1 rue de la Noë - BP 92101 - 44321 NANTES Cedex 3 - FRANCE*

⁽²⁾ *Institut de l'Homme et de la Technologie - Ecole Polytechnique de Nantes
Pôle Objet Société Technologies de l'Information et de la Communication
Rue Christian Pauc - BP 20606 - 44306 Nantes Cedex 03 - FRANCE*

⁽³⁾ *Centre François Viète d'histoire des sciences et des techniques
Université de Nantes – Faculté de Sciences
Chemin la Censive du Tertre - BP 81227 - 44312 Nantes Cedex 03 - FRANCE*

RÉSUMÉ. Lors de la conférence CPI en 2005, nous avons présenté un nouveau champ de recherche émergent : la sauvegarde sous forme virtuelle du patrimoine industriel et technique. Nous avons alors établi l'état de l'art et les hypothèses de premier niveau. Après 2 ans d'investigations, cette communication statue sur l'avancement de nos travaux : mise en place d'une démarche formalisée pour conserver ce patrimoine grâce à un Système d'Information dédié orienté selon une vision Produit-Processus.

ABSTRACT. During the CPI conference in 2005, we presented a new research project: the preservation thanks to a virtual state of the industrial and technical heritage. We established the state of the art and the first hypothesis level. After 2 years of investigations, this communication synthesizes our new works: the setting up of a formalized methodology for conserving this heritage thanks to an Information System with a Product-Process view.

MOTS-CLÉS : reverse-engineering, système d'information, situations d'usages, connaissances, réalité virtuelle, patrimoine technique et industriel, muséographie

KEYWORDS: reverse-engineering, information system, dynamic situation of use, knowledge, virtual reality, industrial and technical heritage, museography

1. Introduction

Se simplifier la vie, inventer des objets pour toujours faire mieux. Depuis la nuit des temps l'Homme tente d'améliorer sa situation de vie. Il se crée un monde parallèle (mais réel) au monde réel naturel. Ces objets de la vie quotidienne font désormais partie de notre patrimoine "présent" mais également "passé". Conserver ces objets afin de les analyser et de les comprendre peut devenir une source de connaissances pour anticiper notre "futur" et créer les objets de demain. Malheureusement, la protection de ce patrimoine pose question quant aux méthodes, aux ressources et aux compétences à utiliser pour le capitaliser et le valoriser. En effet, depuis 200 ans, les objets étant devenus de plus en plus complexes, de nouvelles méthodes et de nouveaux outils sont à implémenter pour cette muséologie du 3^{ème} millénaire.

Une des actions menées par notre groupe de recherche consiste à proposer une nouvelle démarche de rétro-engineering impliquant des équipes interdisciplinaires afin de conserver et valoriser le patrimoine technique et industriel.

Ce projet de recherche pour la sauvegarde sous forme virtuelle du patrimoine industriel et technique a débuté en 2004 [Cotte & al 2005]. Après un an d'investigations, nous avons été en mesure de présenter un état de l'art et les hypothèses de premier niveau lors de la conférence CPI en 2005 : "Méthode de construction de situations d'usages virtuelles de systèmes techniques anciens" [Laroche & al 2005].

Arrivé au terme de la thèse de Florent Laroche, nous proposons, à l'occasion de CPI 2007, d'établir le bilan de cette problématique de recherche [Laroche 2007]. L'état de l'art exposé dans la communication de 2005 (que nous ne rappellerons pas ici), nous permettra de formuler les hypothèses de deuxième niveau afin d'explicitier la méthodologie développée pour *capitaliser – formaliser – valoriser* le patrimoine technique et industriel.

Les modèles conceptuels et processus associés présentés dans cette communication mettent en scène les différents acteurs du passé et du présent de l'environnement proche objet. Nous définirons ce qu'est un objet technique à caractère patrimonial dans ses aspects internalistes et externalistes en mettant en regard les différentes connaissances et savoirs-faires associés. Ainsi, ce modèle permettra de décrire le DHRM (Digital Heritage Reference Model ou Dossier d'Oeuvre Patrimonial Numérique de Référence) qui est appelé à devenir la nouvelle base de référence muséographique.

Enfin, pour valider la démarche, un exemple mené par une équipe interdisciplinaire sera détaillé. Il s'agit d'une machine à laver le sel construite en 1914 et qui cessa de fonctionner en 1960. Elle est actuellement en attente de

valorisation dans le cadre de l'extension du Musée des Marais Salants de Batz-sur-Mer (Bretagne, France) :

- Données de départ = objet en ruine et connaissances externalistes et générales,
- Finalité = étude de reverse-engineering avec mise en situation dynamique d'usage virtuelle pour l'extension du Musée,
- Partenaires = universitaires, institutionnels et industriels.

2. Méthodologie : une vision produit-processus

Selon les propos de Kuhn sur les Révolutions scientifiques [Kuhn 1970] et la rupture observée dans les systèmes techniques et industriels contemporains vis-à-vis des systèmes proto-industriels du 18^{ème} siècle (Domestic system et Manufactory System), un manque dans les méthodes contemporaines de conservation du patrimoine est donc apparu : les sciences et les techniques doivent être reconsidérées à leur juste valeur au même titre que l'est actuellement le patrimoine architectural. A titre d'exemple, dans une usine, il y a les murs des ateliers mais aussi les moteurs, les actionneurs et les machines qui confectionnent les produits : prendre en compte ce point de vue technique et le contexte socio-économico-technique peut alors conduire à une meilleure compréhension du passé. Cependant, étant donné qu'il est question de mécanique et d'industrie, un produit sous-entend également une cinématique, une dynamique, des flux et des process ; aussi, utiliser les outils propres à l'industrie devient une nécessité. Ainsi, faire converger les approches des sciences pour l'ingénieur et celles des sciences humaines et sociales peut être bénéfique pour les deux disciplines.

2.1. Vision macroscopique du processus

La méthodologie présentée en 2005 sous la forme d'une chaîne d'actions encapsule les 2 domaines dans lesquels s'inscrit notre projet de recherche : le Génie Industriel et l'Histoire des Techniques.

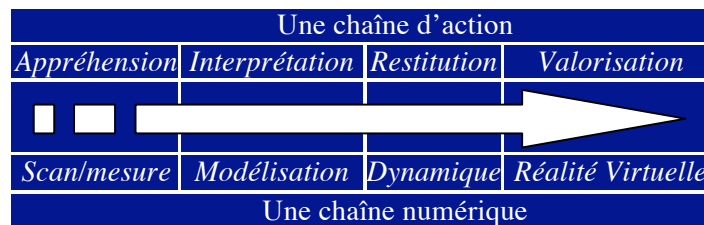


Figure 1. Le modèle des 2 chaînes

2.2. Méthodologie générale

Notre approche propose donc une nouvelle finalité : sauvegarder et conserver un objet physique coûte cher pour un Musée ; et parfois, le démantèlement est impossible (la machine tombant en ruine) ; nous proposons alors de le sauvegarder sous la forme d'un objet virtuel, d'une maquette numérique...

La figure 2 présente le processus global que nous avons mis en place pour capitaliser et valoriser le patrimoine scientifique, technique et industriel.

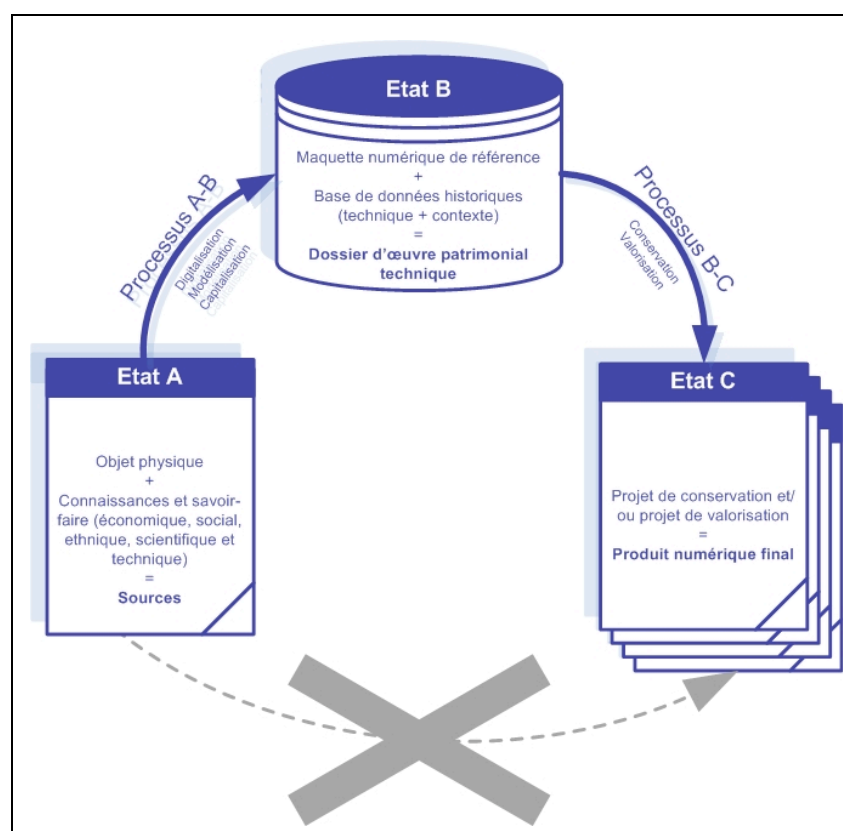


Figure 2. Méthodologie générale pour conserver et valoriser le patrimoine technique et industriel

Passer directement de l'état A à l'état C n'est pas recommandé. En effet, les différentes possibilités de finalités énumérées ci-après pour l'état C montrent qu'il est nécessaire de capitaliser un maximum d'éléments au départ (la finalité du programme de conservation et valorisation ne pouvant être définie au lancement du projet). Ainsi, un état intermédiaire structuré contenant l'ensemble des informations,

des données et des connaissances est indispensable : c'est que ce l'on appelle, par extension à la définition muséographique du Dossier d'Oeuvre, le Dossier d'Oeuvre Patrimonial Technique. Notons que l'appellation anglaise est plus signifiante et que celle-ci est utilisée plus largement : DHRM = Digital Heritage Reference Model [Laroche & al 2006a].

2.2.1 Phase de capitalisation et d'acquisition

La première phase concerne l'acquisition des données. Il s'agit du travail classique de l'histoire des techniques consistant à regrouper la documentation à caractère technique ou externaliste. La première catégorie concerne les plans, les données archéologiques, anthropologiques ou ergonomiques, les restes de machines... La deuxième catégorie est constituée par des données économiques, sociales, architecturales, paysagères...

Par la suite, un travail de numérisation des données, de prise de côtes, est mené. Les premiers outils de base sont bien entendus le pied à coulisse et le mètre à ruban. Cependant, afin de gagner en temps de mesure et afin de pouvoir prendre en charge des machines complexes, la numérisation 3D peut être utilisée : théodolite à balayage laser, photogrammétrie, scanner laser 3D avec reconstruction topographique en temps réel... [Saito & al 1991] [Remy 2004]

2.2.2 Phase de compréhension/interprétation et de re-conception

La phase explicitée précédemment est guidée par un méta-modèle conceptuel de données. Ce modèle également utilisé pour analyser les données numérisées dans le but d'élaborer la maquette numérique de référence de l'état B et ainsi conduire au DHRM. La méthodologie déployée pour reconcevoir l'objet patrimonial dans son contexte est telle que décrite dans le paragraphe ci-après : c'est le rétro-processus de patrimonialisation.

Le DHRM fait intervenir toutes les données à caractères scientifique, technique et dynamique de la machine. De plus, une base de données à caractère historique lui est associée. Cet ensemble constitue alors "le Dossier d'Oeuvre Patrimonial Technique", permettant en lui-même la gestion des connaissances.

2.2.3 Phase de valorisation, diffusion de la connaissance

A partir de l'état de référence constitué précédemment, plusieurs possibilités d'utilisation de cette maquette à des fins de valorisation sont envisageables (état C) : thésaurus virtuel (archives numériques), sauvegarde en archéologie industrielle, utilisation didactique pour experts ou universitaires, reconstruction, valorisation muséographique pour tout type de public. Pour le dernier cas d'application, plusieurs approches peuvent être développées. Au vu de la croissance

exponentielle des technologies de Réalité Virtuelle, nous menons actuellement des recherches d'un point de vue utilisateur afin de cerner au mieux les besoins du public quant à l'appréhension de ce type de technologie [Laroche & al 2006b].

2.3. Le rétro-processus de patrimonialisation

En prenant comme point de vue la première partie du processus A → B de la figure 2, il convient dès lors de :

- Définir l'objet d'étude,
- Identifier le périmètre de l'objet étudié,
- Préciser la finalité de l'étude et l'objectif pressenti pour le projet.

2.3.1 Définition du Système Technique étudié

Le modèle qui suit prend appui sur la cartographie de la définition d'un objet physique établi dans la figure 2 de notre précédente communication pour CPI 2005 [Laroche & al 2005].

D'un point de vue conceptuel, un objet, un outil ou un "truc" tel que spécifié par l'analyse fonctionnelle externe de la méthode APTE peut se modéliser selon la figure 3. Notons que le terme proto-industriel sera employé dans la suite de cette communication pour désigner les systèmes industriels à caractère patrimoniaux : les objets appartenant au passé et non au présent.

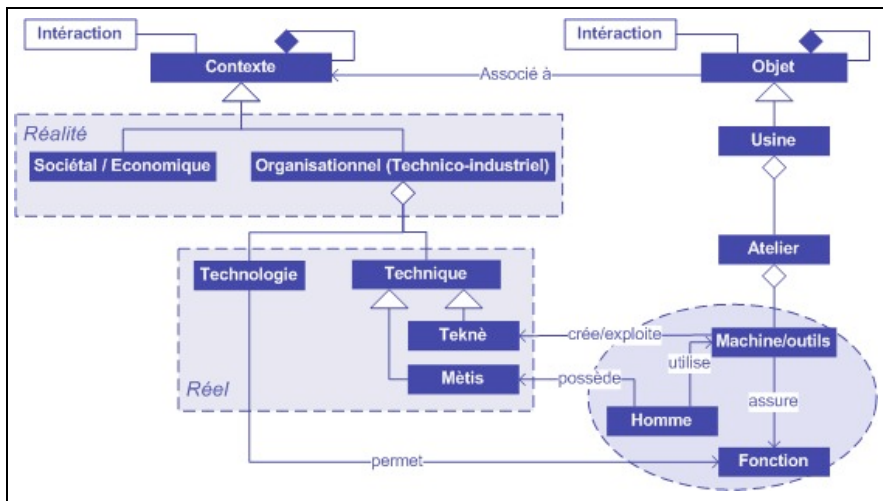


Figure 3. Description du domaine des objets proto-industriels complexes

Les 2 domaines mis en regard dans ce modèle de situation d'usage et travaillant tous deux à multi-échelles sont :

- Pour la classe "Objet" = définition du "truc" depuis la fonction de l'objet jusqu'à son intégration à échelles macroscopiques successives : c'est une relation de type parents/enfants ou part/product. En effet, plusieurs machines constituent un atelier, plusieurs ateliers constituent une usine, etc... [Noblet 2005].
- Pour la classe "Contexte" = définition du contexte d'étude en interaction avec "l'objet" permettant de décrire l'Environnement de l'objet étudié : les technologies et les techniques employées jusqu'aux modèles de comportements organisationnels et sociaux décrivant le caractère évolutif de notre communauté [Thoulouze 2006].

Précisons que la technique est explicitée ici selon la dualité de la définition grecque lui donnant 2 significations : la technique au sens propre du terme contemporain et le savoir-faire [Aristote 1992] [Detienne & Vernant 1974] [Denoyel 2000] :

- Le terme "Teknè" est défini par Aristote comme une "production accompagnée de raison". En ces termes, il entend que la technique est "l'expression du combat de la raison contre la nature" et qu'à ce titre, elle est la base de la conception dite technique.
- Le terme "Métis" désigne, lui "une forme d'intelligence et de pensée". "Elle implique un ensemble complexe, mais très cohérent, d'attitudes mentales et de comportements intellectuels"; en outre, c'est la compétence nécessaire et le savoir-faire acquis pour exploiter une Teknè.

L'environnement est également divisé en 2 concepts empruntés au domaine de la sociologie et de la pensée Darwiniste où, suite à un décalage d'usage, une différence est introduite entre la notion de Réel et la notion de Réalité :

- La Réalité est la projection que l'homme se fait du Réel ; c'est une représentation évoluant dans un univers où les paramètres sont indépendants de la finalité choisie.
- "Le Réel n'a pas besoin d'être pensé car il existe" ; le Réel se définit donc comme l'invariant de l'équation où les seuls paramètres changeants sont l'homme et le temps.

Ainsi, au vu des définitions précédentes du Réel et de la Réalité, il convient de préciser que la classe "homme", même si représentée dans le triptyque "*fonction – machine – homme*" est transversale à l'ensemble des éléments du domaine de la figure 3. En effet, à chaque élément de la taxonomie des classes Objet ou Contexte, l'homme pouvant être représenté comme un attribut de ces classes, ce dernier changera de nature.

2.3.2 Le rétro-processus de patrimonialisation

Le domaine d'étude déterminé, il convient désormais d'identifier la finalité du processus à dérouler. En effet, lors d'une démarche de conception classique, la méthode APTE est déroulée selon les étapes décrites par la figure 4 ; avec comme finalité la construction de prototypes réels et/ou virtuels. [Aoussat & Le Coq 1998]

L'élément dominant dans cette arborescence est sans nul doute la Fonction Principale pour laquelle l'Objet va être créé :

- la partie en amont du processus permet, à partir d'une idée, de définir cette Fonction ;
- et la partie en aval du processus caractérisant cette Fonction dans son Environnement permet ensuite la décliner en un objet réel palpable.

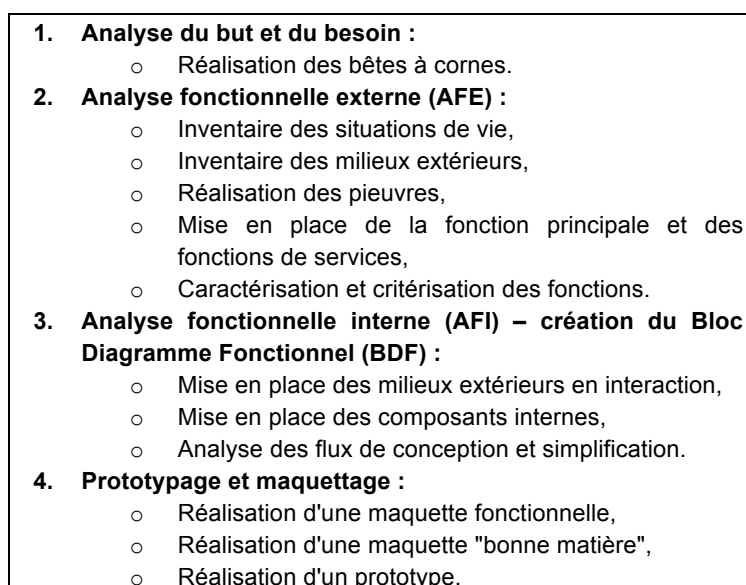


Figure 4. La démarche de conception standard d'un objet industriel contemporain

La démarche que nous développons dans le cadre d'une rétro-conception d'objets industriels propose les mêmes étapes et utilise les mêmes outils que la figure 4 mais commence son investigation depuis la fin de la méthode de conception "classique" (voir figure 5). L'élément dominant est toujours la définition et la caractérisation de la Fonction Principale de l'objet étudié. Cependant, nous déclinons cette fonction en deux typologies :

- la Fonction Principale *apriori*,
- la Fonction Principale *rationnelle*.

En effet, lors de la première étude telle que décrite par la phase "Etude internaliste" de la figure 5, un Bloc Digramme Fonctionnel va permettre de déterminer les liaisons cinématiques présentes dans l'objet étudié. En affinant cette étude, il sera ainsi possible d'en déduire les aspects dynamiques alimentés par les flux d'entrée et de sortie de matière, d'énergie... et donc permettra d'en déduire une Fonction Technique de l'usage envisagé : la *Fonction Principale a priori*. Hors, l'introduction du paramètre humain et des connaissances externalistes à l'objet va modifier cette Fonction Principale en l'adaptant à son Environnement (cf figure 3, la classe Contexte) et va ainsi donner naissance à la réelle Fonction pour laquelle l'objet a été construit : la *Fonction Principale rationnelle*.

De plus, dans les différentes étapes du processus de patrimonialisation, il est mentionné le paramètre temps : t_x ; où l'indice "x" fait référence à la phase de cycle de vie du produit considéré (sur le temps long) [Laroche & al 2006c] :

- t_{inex} = le temps où l'objet est *inexistant*, il n'existe pas encore ; c'est le moment où un manque est constaté et que le besoin est en train de naître,
- t_{fab} = il s'agit du moment où l'objet est développé puis *fabriqué*,
- t_f = c'est la phase de *vie fonctionnelle* ; il est à noter que plusieurs phases de vie en utilisation peuvent s'observer sur un objet devenu patrimoine,
- t_{fin} = la *fin de vie* ; l'objet perd son usage et sa fonction pour laquelle il a été créé,
- t_0 = c'est le *temps présent*.

En filigrane de la figure 5, il est représenté la notion de multi-échelle. En effet, tout comme les taxonomies des classes Contexte et Objet de la Figure 4 le font apparaître, cette idée d'encapsulation successive comme des "poupées russes" s'applique également au rétro-processus de patrimonialisation. Le champ d'investigation s'élargit de plus en plus au fur et à mesure de l'étude : analyse internaliste → analyse externaliste.

Enfin, il convient de préciser que les métiers présents dans ce nouveau type de projet interdisciplinaire diffèrent de ceux présents usuellement dans un projet de conception "classique". En effet, faire cohabiter des mécaniciens et des informaticiens avec des archéologues, des historiens ou des anthropologues n'est pas aisé [Laroche & al 2007a]. Cependant, le facteur humain représenté par les corps de métiers de l'équipe participant au projet de patrimonialisation n'a pas été mentionné sur la figure 5.

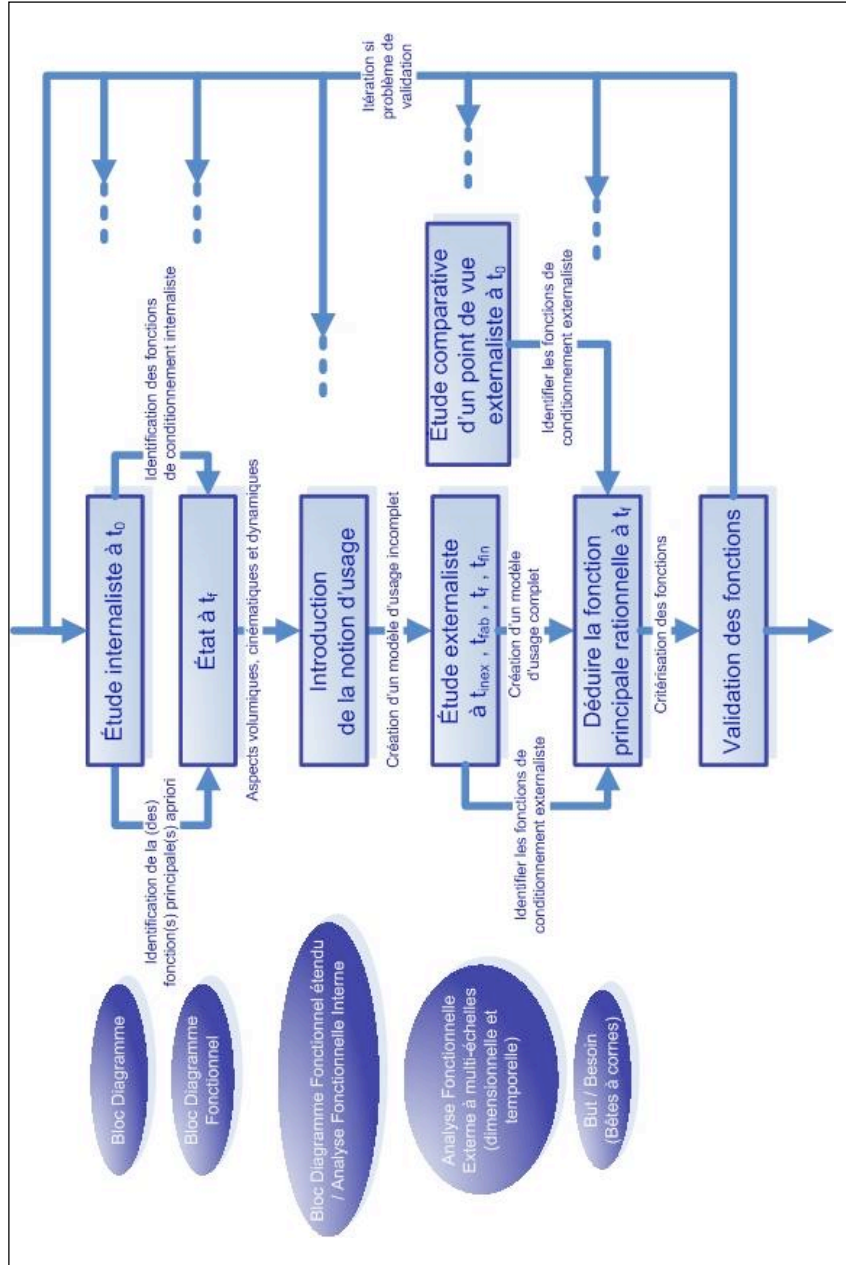


Figure 5. Le rétro-processus de patrimonialisation

3. Exemple de cas d'étude

L'étude de cas qui suit va permettre d'illustrer la méthodologie détaillée ci-avant. Un compte-rendu de notre expérience selon une forme littéraire aurait rendu la lecture de l'exemple plus aisé. Cependant, notre objectif étant de déployer la démarche du rétro-processus de patrimonialisation et de démontrer la pertinence de cette méthode, nous avons volontairement choisi d'exposer cet exemple sous la forme d'un témoignage. Il s'agit d'une série de questions-réponses que les acteurs du projet se sont posés où à chaque étape, un objectif est visé et ses hypothèses sont formalisées.

3.1. *But encouru et contexte général de l'objet patrimonial étudié*

En 1984, s'ouvre à Batz-sur-Mer en Loire-Atlantique (Département 44, France), le Musée des Marais Salants, héritier du Musée des Anciens costumes, un des premiers Musées d'Arts et Traditions Populaires de l'Ouest de la France. Il est consacré aux paludiers, producteurs de sel dans les marais salants de Guérande.

Dès l'ouverture du nouvel équipement, se pose le problème d'absence de réserves pour les collections non exposées ou acquises dans le cadre d'enrichissement par dons ou achats, ainsi que l'absence d'un lieu consacré aux expositions temporaires. Dès 1987, les Conservateurs du Musée, confrontés au manque d'espaces et en recherche de locaux, repèrent à proximité un ensemble architectural : un bâtiment industriel contenant une des dernières laveries à sel de la Presqu'île Guérandaise. Dès lors, une démarche de conservation et d'investigation pour comprendre cet objet s'entame.

3.2. *Etude internaliste*

3.2.1 *Découverte de l'objet et premiers relevés*

Objectif → "*Immortaliser*" l'objet en 2D.

A la vue de cet objet dans un état de ruines très avancées, une atmosphère particulière se dégage. Les acteurs du processus de patrimonialisation en sont presque tous tombés "amoureux". Chacun se pose de nombreuses questions et font un nombre incalculable d'hypothèses quant à son fonctionnement, sa construction, son utilisation...

Mais étant donné l'état de dégradation de l'objet, celui-ci se devait avant tout d'être "immortalisé". Pour ce faire, une campagne de clichés photographiques a été menée par les conservateurs du Musée.



Figure 6. La machine à laver le sel en 2007

Afin de compléter cette galerie de photos et d'aider à la compréhension du fonctionnement du processus technique, d'autres relevés à mains ont été réalisés : relevés d'architecte (figure 7)

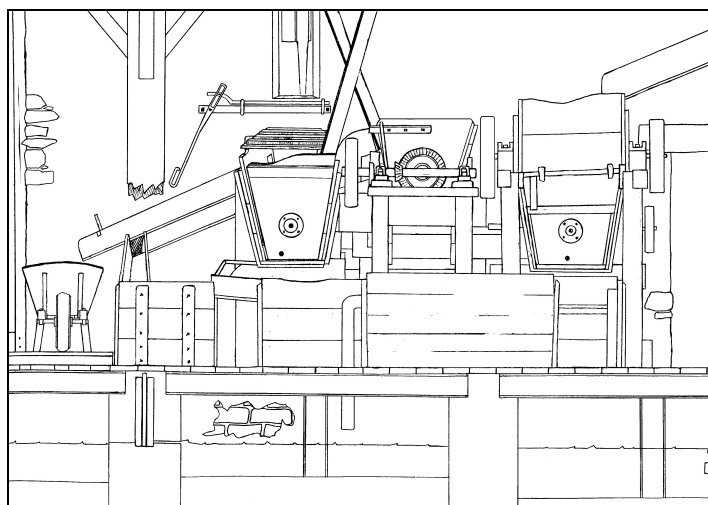


Figure 7. Relevé d'architecte, vue de face

3.2.2 Numérisation 3D

Objectif → "Immortaliser" l'objet en 3D.

La seconde approche a consisté à produire un relevé précis de la machine replacée dans son contexte architectural pour la conserver à un état daté. La

digitalisation de la machine a été réalisée par le cabinet d'architecture Morel Mapping Workshop spécialisé dans le domaine de la numérisation de grands ensembles architecturaux. Celle-ci a été effectuée grâce à un scanner Leica : laser Cyrax 2500 (relevé de 1 point tous les 1 mm à une distance de 100 mètres). Cette étape a permis d'obtenir une "photo 3D" de l'objet.



Figure 8. Nuage de points, vue de face-droite

3.2.3 Etude mécanique internaliste et modélisation

Objectif → Comprendre le dimensionnement géométrique des composants unitaires de la machine.

Vint ensuite la phase de compréhension du fonctionnement mécanique de la machine et la façon dont elle a été construite il y a 90 ans. Pour ce faire, d'autres relevés à main intermédiaires [Jeantet 1998] ont alors été effectués.

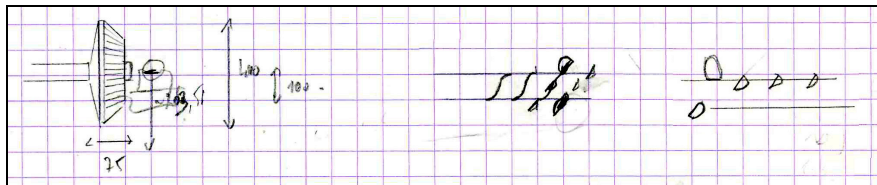


Figure 9. Relevés à main à visée mécanique

Une fois le fonctionnement de la machine appréhendé (voir partie ci-avant dans la description technique de l'objet), il a été réalisé un schéma cinématique du fonctionnement de la machine en version papier puis modélisé sous CATIA V5. A ce squelette a pu être ajouté le "volumique des pièces" (l'habillage du modèle) afin d'obtenir une maquette numérique fonctionnelle. Les volumes étant obtenus à partir du nuage de points.

3.2.4 Analyse Fonctionnelle Interne et mise en situation d'usage

Objectif → Comprendre les interactions entre les différents composants et le processus industriel de la machine

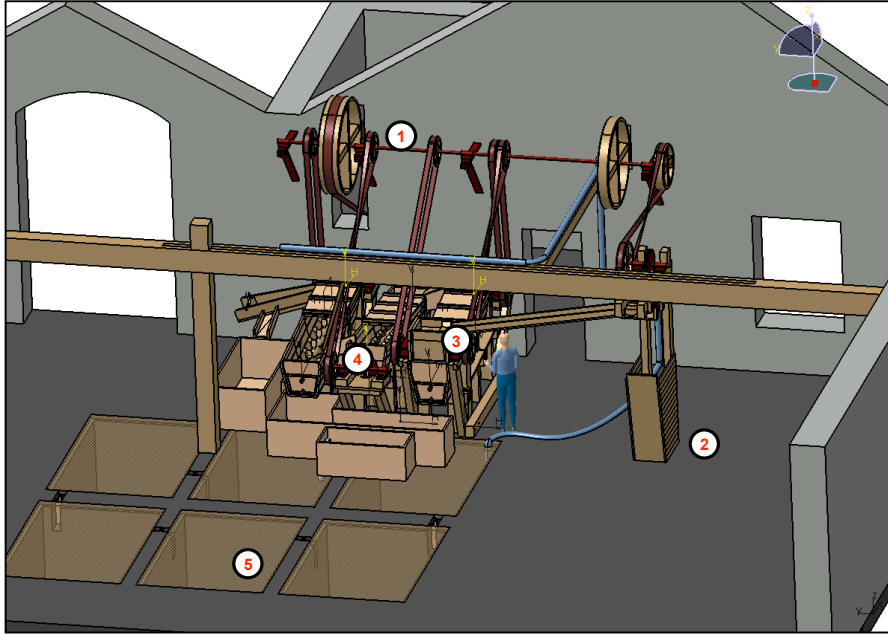


Figure 10. Maquette numérique, vue d'ensemble de la machine

❶ Le moteur et l'arbre principal

Le moteur de marque Cardner abrité dans la chaufferie attenante au corps du bâtiment principal, était destiné à fournir l'énergie nécessaire à l'ensemble des mécanismes de la laverie entraînés par un jeu de courroies et de poulies de bois. Les courroies sont en toile très épaisse et bouclées par des agrafes de métal. Pour empêcher qu'elles ne glissent des poulies, elles étaient régulièrement enduites de résine. Dès l'origine, ce moteur est supposé être un moteur à gaz mais l'état de dégradation étant trop avancé, l'hypothèse ne peut être validée ; pour sûr, après la Seconde Guerre mondiale, le générateur de force motrice est remplacé par un moteur électrique.

❷ Chaîne à godets

Le sel était transféré du Grand Magasin et ruiné à même l'aire de stockage située au pied de la chaîne à godets alimentant le lavoir à sel. Il était alors pelleté dans le puits rempli de saumure dans lequel baignait la chaîne. Celle-ci remontait le sel et le transvasait dans une gouttière se déversant dans la trémie surplombant le premier bac à laver.

③ La trémie

La trémie était traversée par deux rouleaux métalliques tournant en sens opposés, l'un vers l'autre. Cette action permettait de briser les agglomérats formés entre le sel et l'argile des marais salants.

④ Les bacs à laver

Le lavoir était constitué de trois bacs à laver placés en série. Ces bacs étaient traversés par un brasseur à palettes disposées de façon à former une "simili vis d'Archimède". Les pales brassaient le sel dans de la saumure et le "poussaient" jusqu'à la sortie, où il se déversait dans le bac suivant. Il était recueilli à la sortie du 3^{ème} bac où il était mis à sécher pendant une durée d'une semaine à 15 jours.

⑤ Le système de circulation de la saumure

Les bacs n°2 et n°3 recevaient un apport en saumure via des canalisations. La saumure était obtenue par dissolution de gros sel dans de l'eau douce dans des bacs situés devant la machine, à raison de la fonte d'une tonne de sel pour 10 à 15 tonnes de sel à laver. L'eau nécessaire était puisée aux fontaines communales et acheminée dans une tonne sur roues. La saumure était stockée dans des cuves souterraines qui servaient à alimenter les bacs et à recycler la solution qui en provenait.

3.3. Etude externaliste

3.3.1 La chaîne opératoire de lavage du sel

Objectif → *Comprendre le principe de fonctionnement du lavage du sel.*

Le principe du lavage des sels marins récoltés sur fond d'argile consiste à éliminer au maximum les infimes parties terreuses adhérant aux cristaux de gros sel par brassage dans une solution saturée. L'opération peut s'effectuer à la main en trempant et en agitant des paniers de sel dans une barrique ou un baquet de saumure. Mais l'intérêt du négoce qui développe et alimente un marché, est de mécaniser le processus. L'industrialisation porte ses fruits puisque la machine à laver le sel permet à l'entreprise de raffiner entre 15 et 20 tonnes de sel par jour, une production souvent supérieure aux autres entreprises de la région.

Le dispositif utilisé est un "lavoir à hélices", un modèle calqué, semble-t-il, sur les machines utilisées "dans le traitement du noir animal dans les raffineries de sucre et de la Flandre". Il aurait été introduit dans la région avant 1869 [Audiganne 1869].

3.3.2 L'industrialisation de la production

Objectif → *Comprendre le processus industriel et la raison pour laquelle le lavage du sel a été automatisé.*

La production récoltée dans les salines était livrée par les paludiers aux salorges de l'entrepreneur-négociant par charrette, puis par camion, pour y être stockée. Une partie du sel était ensuite transférée vers le lavoir. Elle y était brassée dans la saumure puis égouttée sur un plancher de bois avant d'être mise en sac de 50 kg ou 25 kg. Les sacs étaient ensuite livrés aux usagers et commerçants en demi-gros ou aux détaillants. Jusqu'aux années 1930, ils étaient acheminés via le chemin de fer (et ultérieurement par la route). L'entreprise se chargeait de leur transport en charrette jusqu'à la gare.

Sur le parcours, ils étaient contrôlés par la Douane. En effet, au 19^{ème} siècle, afin de répondre aux exigences du marché, les raffineries de sel ont connu un essor sans précédent. Et pourtant, depuis 1806, élément paradoxal, l'État percevait toujours un impôt sur le sel et ce, jusqu'en 1945. La Douane était chargée du contrôle de la circulation de la production, du recouvrement de la taxe et délivrait des congés pour acquis autorisant la libre circulation du produit hors de la zone franche de production. Ainsi, pour des raisons de rentabilité économique, le sel était lavé afin d'enlever les impuretés pour peser moins lourd et donc payer un impôt moindre.

3.3.3 Les données socio-économique

Objectif → *Comprendre dans quel contexte ce Système Technique a évolué (naissance, usage et déclin).*

La machine à laver le sel se trouve dans les "Magasins de la Croix de Paix". Ces entrepôts ont été construits à partir de 1882 dans le Bourg de Batz par Pierre Deniel pour abriter des stocks de sel. En 1886, il fonde une entreprise de raffinage du sel, implantée stratégiquement en bordure d'un étier navigable et à quelques centaines de mètres de la gare de chemin de fer. En 1898, l'entreprise change de mains. En 1914, le nouveau propriétaire, Jean-Baptiste Bertrand fait construire une salorge de 750 m², capable d'abriter 6 000 tonnes de sel. Parallèlement, il en développe le lavage. L'entreprise fait travailler jusqu'à 10 salariés à plein temps, et recrute régulièrement journaliers et saisonniers. [Buron 2004]

L'activité de la laverie des "Magasins de la Croix de Paix" cesse à la fermeture de l'entreprise Bertrand, au milieu des années 1960.

3.4. Bilan

Au final, la maquette numérique est constituée de plus de 550 pièces et 30 liaisons cinématiques. La modélisation a permis de valider l'hypothèse historique selon laquelle il s'agissait d'une machine artisanale. En effet, si à première vue les bacs se ressemblent beaucoup, chacun s'avère différent. La modélisation tient alors compte de cette unicité et authenticité des pièces. Par ailleurs, il est à noter que,

suite à son fonctionnement, la machine a parfois eu des problèmes d'étanchéité. Les plus grosses réparations étaient effectuées par l'artisan menuisier du bourg, les plus petites par les ouvriers travaillant sur la machine. C'est ainsi que certaines parties ont été renforcées voire remplacées.

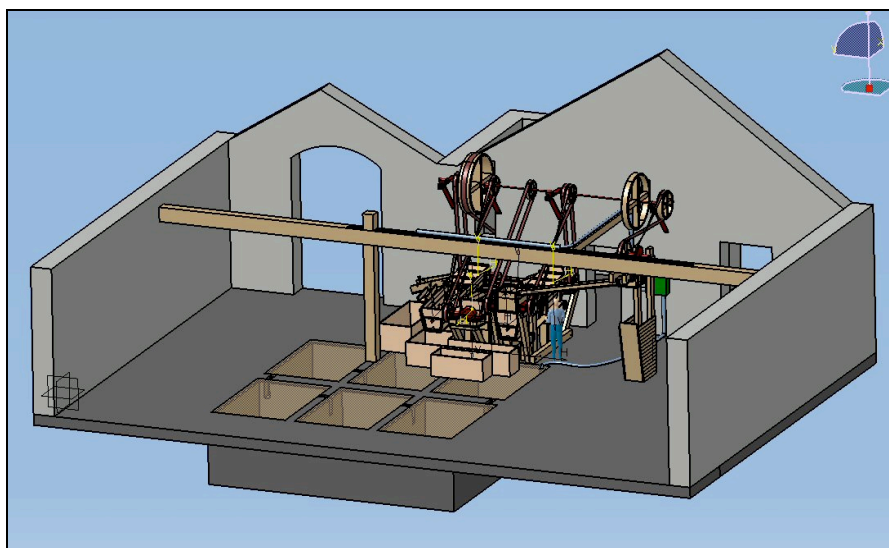


Figure 11. Maquette numérique, vue d'ensemble

L'interaction soulignée dans la partie méthodologie de cette communication entre l'objet et son contexte permet d'affiner les études internalistes en intégrant les connaissances externes. La démarche suivie dans cet exemple illustre cet effet d'entonnoir où un dézoom progressif est effectué dans la compréhension de l'objet pour arriver à le définir dans son Système Technique global.

De plus, d'autres études de détails que nous ne pouvons relater dans cette communication par manque de place ont permis d'affiner le DHRM. En effet, à titre d'exemple, le sous-ensemble "chaîne à godets" n'existe presque plus actuellement tellement il est "rongé" par la rouille. Aussi, nous avons comparé les données d'un catalogue fournisseur de 1893 [Burton 1893] avec des numérisations 3D de détails de plusieurs godets et maillons de la chaîne (en utilisant une autre technologie laser plus fine). Cette étude a permis d'en déduire les réelles dimensions des composants utilisés il y a 90 ans et provenant du constructeur Ewart ; notons que cette typologie de chaîne est toujours utilisée dans le milieu professionnel contemporain mais son brevet est tombé dans le domaine public.

Pour plus de détails sur ce cas d'étude, consulter le chapitre 6 de la thèse de Florent Laroche [Laroche 2007].

4. Conclusion

Cette thématique de recherche a débutée il y a plus de 8 ans. Il y a 3 ans, elle s'est concrétisée par une première étape : le financement d'une thèse sur la base d'une allocation du ministère de la recherche française.

Ainsi, cette première approche a pu mettre en valeur l'intérêt émergent de faire croiser plusieurs disciplines dont celle de l'histoire, qui, au premier abord semble réservée aux initiés et est souvent considérée par les industriels comme réfractaire aux changements. Hors ici réside tout le paradigme de notre problématique de recherche pour laquelle le passé peut être utilisé à des fins utiles pour envisager le futur.

La démarche de reverse-engineering va au-delà du reverse-engineering "classique" : l'objet se doit d'être étudié, analysé, disséqué afin d'être replacé dans son contexte d'usage. Notre proposition va donc en ce sens : apporter de nouveaux modèles de produits et de processus pour le Génie Industriel contemporain en proposant de regarder également les objets à caractères patrimoniaux.

5. Remerciements

Ont participé ou collaboré au projet de la laverie de sel :

- Gildas Buron et Michaële Simonnin, conservateurs du Musée des Marais Salants de Batz-sur-Mer, France
- Laurent Derouene, stagiaire ingénieur, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, France
- Didier Morel, architecte, Société Morel Mapping Workshop
- Philippe Lhérieau, architecte

6. Bibliographie

- [Aoussat & Le Coq 1998] A. Aoussat, M. Le Coq, "Conception de produits mécaniques : méthodes, modèles et outils" sous la direction de M. Tollenaere, Ed. Hermès, Paris, Chapitre 8, 1998
- [Aristote 1992] Aristote, "Ethique à Nicomaque", Paris, Lib. Générale Française, 1992, 447 p.
- [Audiganne 1869] A. Audiganne, "La région du bas de la Loire", 1869, p.9
- [Buron 2004] G. Buron, "Petite histoire des magasins de la Croix de Paix et de l'entreprise Bertrand de négoces de sel", 2004, 19 p.
- [Burton 1893] Burton Fils, "Catalogue Général des Elévateurs, transporteurs et transmissions", Paris, 1893, 31 p.
- [Cotte & al 2005] M. Cotte, S. Deniaud, "Conception assistée par ordinateur et patrimoine, perspectives innovantes", revue Archéologie industrielle en France, 46, Paris, juin 2005, p. 32-38
- [Denoyel 2000] N. Denoyel, "Le biais du gars, la mètis des grecs et la raison expérimentielle. Contribution à l'étude de la culture artisanale et de

- l'éc(h)oforation", Villeneuve d'Ascq, Presses Universitaires du Septentrion, 2000, 720 p.
- [Detienne & Vernant 1974] M. Detienne, J.-P. Vernant, "Les ruses de l'intelligence, la métis des grecs", Paris, Champs Flammarion, 1974, 309 p.
- [Jeantet 1998] A. Jeantet, "Les objets intermédiaires dans la conception. Eléments pour une sociologie des processus de conception", *Sociologie du Travail*, 1998, pp. 291-316
- [Kuhn 1970] T. Kuhn "La structure des révolutions scientifiques", 1970, 284 p.
- [Laroche 2007] F. Laroche, "Contribution à la sauvegarde des objets techniques anciens par l'archéologie industrielle avancée", Thèse de doctorat, Ecole Centrale, Nantes, 563 p., 2007
- [Laroche & al 2005] F. Laroche, A. Bernard, M. Cotte "Méthode de construction de situations d'usages virtuelles de systèmes techniques anciens", Conférence CPI, Casablanca, Maroc, Novembre 2005, 19 p.
- [Laroche & al 2006a] F. Laroche, A. Bernard, M. Cotte, S. Deniaud "A new methodology for a new life of old technical machines", CIRP Design Seminar, Alberta, Canada, Juillet 2006, 12 p.
- [Laroche & al 2006b] F. Laroche, A. Bernard, M. Cotte "A new approach for preserving the technical heritage", Colloque scientifique VRIC, Salon Laval Virtual, Laval, France, avril 2006, 11 p. - ISBN 2-287-48363-2
- [Laroche & al 2006c] F. Laroche, A. Bernard, M. Cotte, "Between heritage and Industrial Engineering, a new life for old product: virtuality", conférence Virtual Concept, Cancun, Mexique, *Revue Research in Interactive Design*, Vol.2, Ed. Springer, novembre 2006, 7 p. - ISBN 2-287-48363-2
- [Laroche & al 2006d] F. Laroche, A. Bernard, M. Cotte, "Methodology for simulating ancient technical systems", *Revue Internationale d'Ingénierie Numérique, Integrated Design and Production*, Vol. 2 n°1-2/2006, pp.9-28, Hermès-Science, Ed. Lavoisier, juin 2006 - ISBN 978-2-7462-1679-2
- [Laroche & al 2007a] F. Laroche, A. Bernard, M. Cotte, "Un nouveau processus coopératif d'ingénierie et ses modes de représentations intermédiaires : les objets patrimoniaux à caractère industriel", Workshop du GT C2EI, GDR-MACS du CNRS, UTBM Belfort, France, 9 p.
- [Laroche & al 2007b] F. Laroche, A. Bernard, M. Cotte, "3D digitalization for patrimonial machines", Conférence CIRP Design Seminar, Berlin, Allemagne, avril 2007, 12 p. – ISBN 978-3-540-69819-7
- [Noblet 2005] J. de Noblet, "Patrimoine et avant-garde scientifique et technique au XXI^{ème} siècle", OSTIC workshop, Institut de l'Homme et de la Technologie, Nantes, 2005
- [Remy 2004] S. Remy, "Contribution à l'automatisation du processus d'acquisition de formes complexes à l'aide d'un capteur laser plan en vue de leur contrôle géométrique", Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy, 176 p., 2004
- [Saito & al 1991] K. Saito, T. Miyoshi, H. Yoshikawa, "Non-contact 3D digitizing and machining system for free-form surfaces", *CIRP Annals* 40/1, p. 483, 1991
- [Thoulouze 2006] D. Thoulouze, "Recherche et développement dans l'entreprise: conserver l'instrumentation, pourquoi, comment?", journée d'étude, Musée des Arts-et-Métiers, Paris, avril 2006