L'ARCHEOLOGIE INDUSTRIELLE AVANCEE OU COMMENT FAIRE REVIVRE LE PATRIMOINE INDUSTRIEL

Florent LAROCHE - Thèse de doctorat 2004-2007 – Concours Prix des Thèses Le Monde

Mots clefs… Patrimoine Industriel / Ingénierie Virtuelle / Rétro-conception
Histoire des Sciences et des Techniques / Muséologie

Sommaire

Contexte : Enjeux et Problématiques..... 1
Cadre de la thèse 3
Apport scientifique de la thèse 4
Synthèse du travail de recherche… 9
Des perspectives : un chantier de recherche vaste et diversifié… 10
Ad lib… 12

Annexes

Table des matières du manuscrit + des annexes
"Cinq bonnes pages" extraites de mon manuscrit
Liste des publications scientifiques inter-disciplinaires
Rapport des membres du jury lors de la soutenance

Contexte : Enjeux et Problématiques

Se simplifier la vie, inventer des objets pour toujours faire mieux, depuis la nuit des temps l'Homme tente d'améliorer ses conditions de vie. Les objets de la vie quotidienne font désormais partie de notre patrimoine *présent* mais également *passé*. Patrimoine d'infrastructures matérielles enrichissant notre vie, c'est dans la science et la technique que l'essence même de notre imagination puise pour agrémenter notre quotidien de nouveaux produits. Ainsi, pour optimiser sa création de valeur, l'entreprise adapte sans cesse son mode de fonctionnement et ses outils de production. Mais, dans un contexte industriel où tout s'accélère et doit être plus rentable, les environnements industriels sont transformés, abandonnés… les systèmes industriels locaux sont arrêtés puis démantelés, les machines ferraillées, au mieux stockées. Ainsi, certains sites industriels disparaissent et les hommes, catalyseurs des savoir-faire, les emportent avec eux. Comme un puzzle dont les pièces s'usent ou disparaissent, les données techniques et les compétences associées s'effacent au fur et à mesure de l'écoulement du temps. C'est toute la connaissance technique de l'humanité qui disparaît progressivement.

Aussi, pour faire rapidement face à cette perte de données, les entreprises reconsidèrent leur point de vue et se sont lancées dans le vaste chantier du *Knowledge Management*. Depuis quelques années, la capitalisation des connaissances est devenue une application *à la mode* dans les milieux industriels contemporains. Comme l'a dit le journaliste Tom STEWART :

> *« L'actif le plus précieux des entreprises est son capital intellectuel. »*
>
> *[STEWART 1997]*

Devenu, dans le privé, un réel business en soi, il n'est capitalisé que les connaissances implicites des métiers : le savoir-faire des concepteurs.

En terme de sauvegarde patrimoniale, de façon générale, la priorité est accordée aux approches d'architectures industrielles. S'orientant vers les stratégies de gestion des territoires et des paysages, une moindre mesure est accordée à l'héritage des machines, des processus industriels ou des savoir-faire ouvriers. Cette situation se comprend aisément :

- en raison d'une meilleure conservation fréquente du contenant bâti de l'industrie au détriment du contenu en machines, rapidement revendues ou ferraillées,
- mais également par les nécessités souvent impérieuses de la restructuration urbaine et des projets de réutilisation et de réaffectation entrepris par les collectivités.

Alors qu'en est-il des machines, des usines, des processus de fabrication qui ont forgé les piliers de notre société contemporaine ? Ils sont oubliés, détruits… et pourtant, même si cachés du grand public de consommateurs que nous sommes, les sites industriels ont su développer et exploiter une masse de connaissances qui n'a fait que croître depuis des centaines d'années. Demeurant à l'état de vestiges matériels, il s'agit de notre savoir-faire immatériel qui caractérise notre culture.

Pour autant, la faible place de la culture technique en FRANCE ne favorise pas, pour l'instant, l'approche que nous développons quant à la valeur ajoutée apportée par notre patrimoine technique et industriel. Certaines démarches de réhabilitation architecturale revendiquent même une coupure avec le passé privilégiant les cotations immobilière et foncière à la valeur industrielle intrinsèque. Et pourtant, les évolutions géopolitiques dans les systèmes techniques classiques de productions menacent d'une perte de mémoire les pays ayant un passé industriel important.

Une certaine urgence est donc associée à un tel risque de déperdition de connaissances. En somme, ce que les générations actuellement en activité peuvent encore comprendre en détail n'appartiendra plus aux systèmes techniques des siècles futurs lorsque ce savoir-faire deviendra patrimonial.

Dès lors, la question de la capitalisation de la connaissance matérielle liée au patrimoine local, national, voire mondial se pose. Mais l'enjeu va bien au-delà de la simple conservation… sauvegarder, analyser et comprendre ces objets du Patrimoine *Passé* peut permettre de les transformer en Capital *Présent* et devenir source d'innovation pour anticiper notre *futur* et aider les industriels à créer les objets de demain.

Quant à leurs vulgarisations dans les musées et les sites, le vieillissement intrinsèque de l'information technique, contenue dans les archives et les lieux de patrimoine, nécessite d'implémenter une nouvelle muséologie pour ce 3ème millénaire. En effet, le témoignage des collections et des sites du patrimoine technique et industriel est généralement statique, alors que par nature, une machine ou un processus industriel est dynamique. Il y a là une contradiction épistémologique fondamentale qui est généralement oubliée ou simplement traitée comme une valeur médiatique. De plus, comprendre une machine technique ancienne peut être chose aisée pour un ancien du métier ou pour un conservateur de musée très averti, mais sa présentation à un public peut, en revanche, s'avérer difficile et délicate voire inaccessible.

Ne pouvant rentrer dans la ligne des priorités industrielles, il convient alors aux universitaires, en collaboration avec les conservateurs de Musées, les historiens et les experts en patrimoine d'apporter des éléments de réponse et de mettre en œuvre des moyens pour *immortaliser* ces savoir-faire matériel et immatériel à vocations scientifique, technique et industriel.

De plus, tout comme la population mondiale, son patrimoine culturel croît exponentiellement, sans limite aujourd'hui perceptible. L'enjeu pour notre génération et les générations à venir consiste alors à mettre en œuvre les moyens et les outils nécessaires pour sauvegarder cette connaissance en perpétuelle expansion. Mais, affrontant un temps qui ne peut s'arrêter, il faudra redoubler d'efforts et d'intelligence pour rattraper des décennies de capitalisation perdues et faire face à cette accumulation de savoirs.

Comme le déclara Sir Julian HUXLEY à la fin de sa vie (1887-1975 ; zoologiste & philosophe et Vice-Président de la Commission internationale pour l'histoire du développement scientifique et culturel de l'humanité à l'UNESCO) :

> *« Au cours du siècle passé, une extraordinaire explosion scientifique a produit une somme de données, d'idées, et de principes plus grands que tous les millénaires précédents de l'histoire réunis avaient réalisé… Il est évident que la science ou plutôt la coopération scientifique, doit jouer un rôle dirigeant dans la tâche prodigieuse qui consiste à synthétiser cette masse énorme de connaissances sous la forme d'un modèle intelligible, signifiant et chargé d'efficacité humaine. »* *[HUXLEY 1970]*

Cadre de la thèse

Ce doctorat s'inscrit dans une nouvelle catégorie de travaux novateurs : les approches inter-disciplinaires. Les sujets d'étude étant des objets à caractère industriel mais nécessitant une vue historienne, il s'agit de se placer à l'interface des Sciences pour l'Ingénieur et des Sciences Humaines et Sociales en créant un nouveau champ d'application commun : l'**Archéologie Industrielle Avancée**.

Pour ce faire, la thèse a été réalisée dans deux sections disciplinaires du CNU et donc, en co-encadrement :

- 60ème section "Mécanique, Génie Industriel et Génie Civil", au sein du laboratoire IRCCyN (UMR CNRS 6597) à l'ECOLE CENTRALE DE NANTES ; co-directeur Pr Alain BERNARD,
- 72ème section "Epistémologie Histoire des Sciences et des Techniques", au Centre François Viète (EA CNRS 1161) à l'UNIVERSITE DE NANTES ; co-directeur Pr Michel COTTE.

Cette thèse a été subventionnée par le MINISTERE DE LA RECHERCHE sous la forme d'une allocation MNRT. En effet, s'agissant d'un travail de recherche fondamental, ni partenaire privé ni cas d'applications industrielles n'a pu être identifié dès le début de la thèse. Aussi, de nombreux projets universitaires ont été menés en partenariat avec de futurs techniciens mécaniciens, ingénieurs, designers, architectes, historiens, philosophes, sociologues… afin de cerner les enjeux de cette problématique de recherche et définir une méthodologie applicable et fonctionnelle. Itérer entre la théorie et la pratique, telle est la démarche de recherche développée usuellement en Génie Industriel.

Apport scientifique de la thèse

Comme présenté précédemment dans la partie *Enjeux et Problématiques*, la situation du patrimoine technique et industriel pose aujourd'hui de nombreuses questions…

Que sauvegarder ? Comment sauvegarder ? Comment valoriser ?

Couramment utilisées par les entreprises, les nouvelles technologies créent de nouveaux modes de travail, de nouvelles représentations... par le virtuel. Les milieux industriels contemporains ont intégré de façon formelle l'utilisation des outils numériques. La Digital Mock-Up, DMU ou maquette numérique, est au cœur du processus de conception manufacturier : elle est le document central de travail rassemblant l'équipe projet. Elle est ainsi utilisée dans la phase de conception, fabrication, maintenance, service après-vente… jusqu'aux services de communication exploitant les modèles numériques à des fins commerciales.

Dès lors, nos objets de recherche provenant des domaines techniques et industriels, les outils d'ingénierie du présent peuvent être détournés de leur segment temporel de prédilection afin d'être utilisés pour reconcevoir des objets anciens.

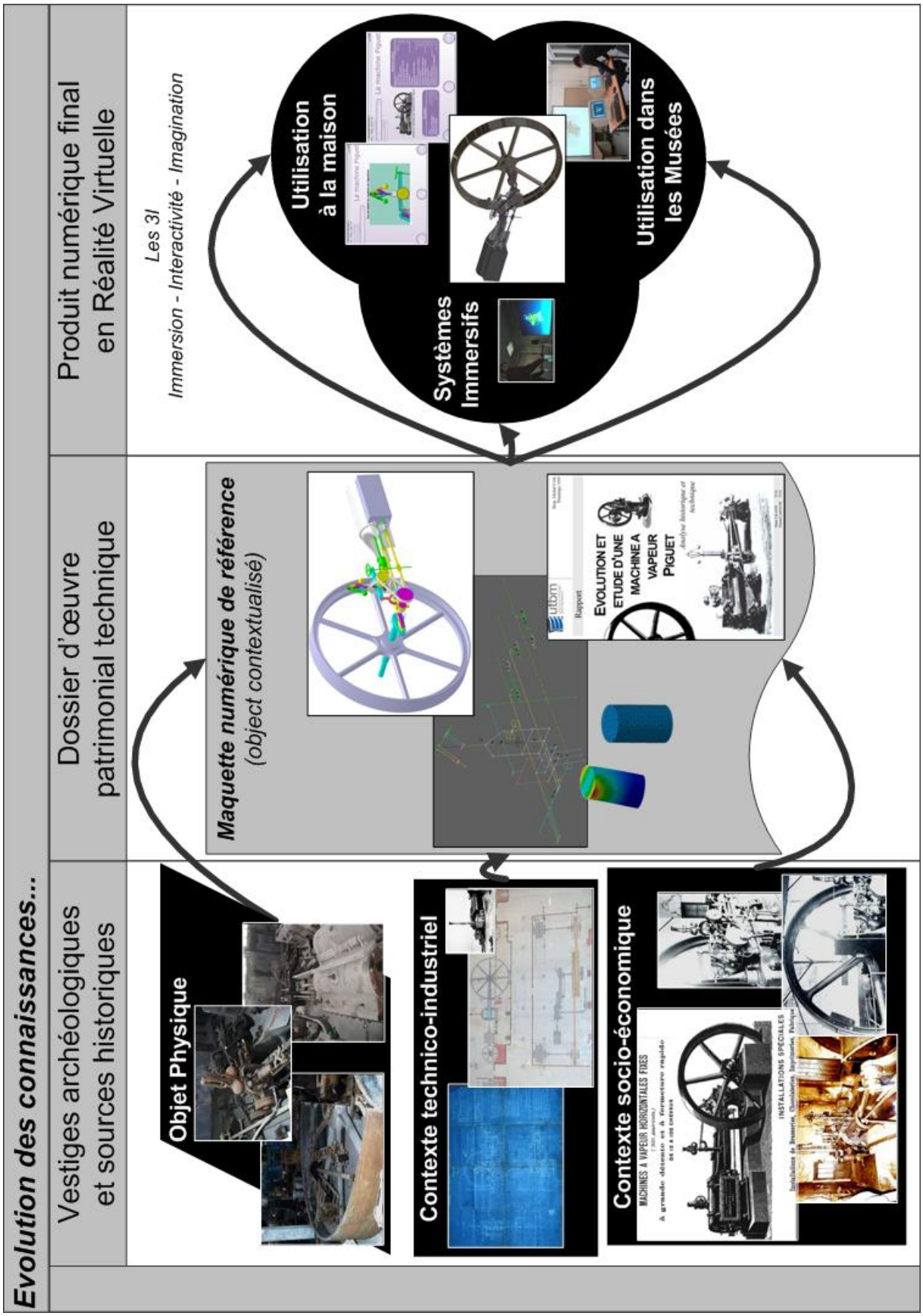
L'approche développée consiste à "renverser l'axe des temps de la conception" en proposant de faire "revivre" les objets techniques anciens :

- à partir des vestiges archéologiques et des informations dont on dispose (objet, photos, textes, plans 2D, système hors d'état d'usage…),
- et grâce à l'utilisation d'outils (outils de contrôle et de mesure, théodolites à balayage laser des architectes, technologies de numérisation 3D, CAO - Conception Assistée par Ordinateur, imagerie de synthèse, réalité virtuelle…).

L'enjeu est de permettre la capitalisation des connaissances techniques du passé sous une forme numérique et dynamique, en les remettant virtuellement en situation d'usage grâce à une modélisation multi-points de vue des organes, des flux de matières et de fluides, des interactions homme/système, de l'environnement manufacturier dans son ensemble… En effet, les sujets d'étude étant des objets industriels, ils sont tous issus d'un processus : le produit fini résulte de l'action d'une machine, la machine doit sa raison d'être à une usine, l'usine à un contexte économique… Hors de son milieu et de son contexte, l'objet perd toute signification ; aussi, nous suggérons d'aller plus loin dans les démarches de capitalisation et de restitution en favorisant la mise en exergue du contexte socio-économico-technique afin d'enrichir la valeur de ces artefacts archéologiques. Par la même, il convient de préparer les Musées à une refonte de leurs pratiques : peut-être un jour seront-ils appelés à devenir des **Technomusées** !

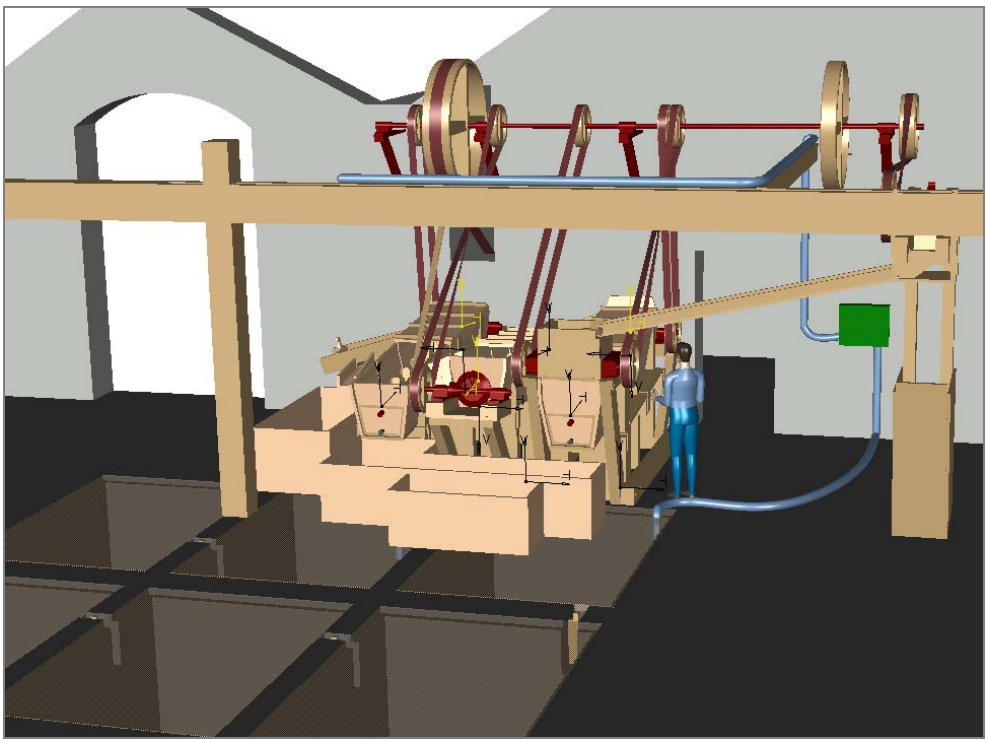
« On est bien loin de l'usine et de l'atelier, du bruit et de la poussière, de la fatigue et de la sueur, de la fureur des luttes et de la violence des rapports sociaux… » *[RASSE 2003]*

Le schéma de la page suivante est une vision macroscopique de la démarche globale déroulée sur un des cas d'application réalisé : une machine à vapeur du 20ème siècle.


Evolution des connaissances...
Vestiges archéologiques et sources historiques
Dossier d'œuvre patrimonial technique
Produit numérique final en Réalité Virtuelle
Objet Physique
Contexte technico-industriel
Contexte socio-économique
Maquette numérique de référence
(object contextualisé)
Rapport
EVOLUTION ET ETUDE D'UNE MACHINE A VAPEUR PIGUET
Les 3I
Immersion - Interactivité - Imagination
Utilisation à la maison
Systèmes Immersifs
Utilisation dans les Musées

Tout comme les relevés archéologiques permettent de démontrer une évolution anthropologique, le dessin technique révèle les savoirs et met en évidence les savoir-faire. Comme l'ont été en leur temps la photographie puis le cinéma, nous sommes sans doute à une césure majeure dans les outils techniques d'étude et de prévision de la réalité matérielle. Les nouvelles compétences apportées par les outils de CAO, et plus largement les outils de 3D, ainsi que les bases de données tendent aujourd'hui à remplacer ces anciens systèmes archéologiques. Notons qu'il s'agit également là d'une proposition de conversion d'un système technique ancien dans celui d'aujourd'hui : en effet, à terme, l'outil utilisé pour numériser un patrimoine ancien deviendra lui-même à son tour un objet technique ancien…

Destinées à des fins de vulgarisations scientifiques, muséographiques, didactiques… ces images virtuelles n'en restent pas moins qu'un point de vue qui ne remplacera jamais le réel. Ces modèles numériques ne sont qu'illustrations ou évocations et ne doivent pas être considérés comme un moyen de conservation de l'information au sens rigoureux du terme mais plutôt comme un support à la compréhension : il ne s'agit pas d'une solution alternative de type *miracle technologique virtuel*. De plus, non seulement le statut numérique possède ses propres limites, mais il pose à son tour de nouveaux problèmes spécifiques, tant pratiques qu'épistémologiques !

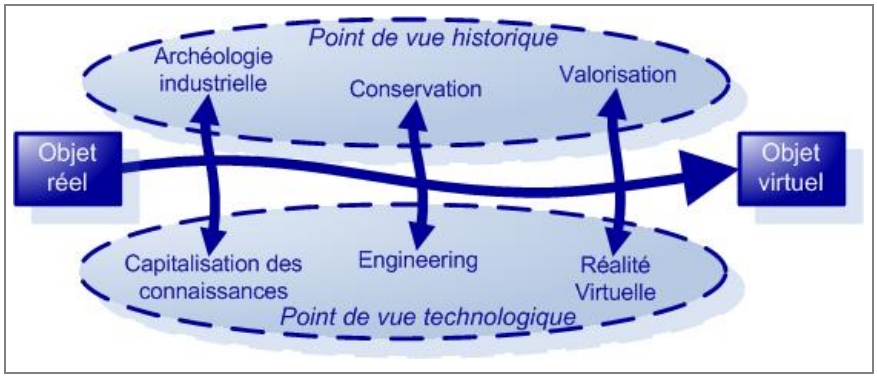


Exemple d'étude de cas de l'Entreprise BERTRAND à BATZ-SUR-MER (44) :
modélisation 3D dynamique de l'usine et de la machine à laver le sel (1914-1966)

La première hypothèse qui envisageait la possibilité de réunir les domaines de l'Histoire des Techniques et du Génie Industriel fut rapidement validée et il nous appartenait de définir une méthodologie générale pour capitaliser et valoriser le patrimoine technique et industriel.

Au même titre que l'art et l'architecture ont déjà entrepris depuis longtemps des collaborations avec les sciences, le schéma suivant démontre que les deux points de vue étudiés sont convergents et que, même si

n'utilisant pas le même vocabulaire, les outils et les méthodes n'en sont pas pour autant non-homogènes. Au contraire, elles sont similaires et nous avons donc travaillé à créer un champ de recherche commun utilisant la même sémantique : c'est l'**Archéologie Industrielle Avancée**.

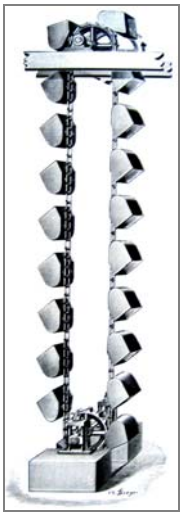


La méthodologie générale : Sciences Humaines VS Sciences de l'Ingénieur

La méthodologie associée pour " *Appréhender → Interpréter → Restituer → Valoriser* " a alors été affinée pour obtenir un processus opérationnel et applicable sur le terrain. Afin de transformer un objet réel en un objet virtuel muséographié, nous avons mis en place un **Rétro-processus de Conception Patrimoniale**. Celui-ci exploite l'intégralité des outils numériques tels qu'utilisés par les grandes entreprises pour développer les automobiles, les avions… : reverse-engineering, conception mécanique, simulation de flux, Résistance Des Matériaux… Cependant, pour assurer la complétude de l'*étude internaliste* de l'objet technique, la méthodologie inclut également une *étude externaliste*. La combinaison de ces deux démarches permet alors de décliner et restituer l'objet dans son Système Technique d'autrefois. Pour ce faire, les démarches historiennes et archivistiques vont fournir une information juste et interprétable. En effet, des difficultés de compréhension des mécanismes ou du site industriel peuvent parfois surprendre tout ingénieur d'aujourd'hui ; suite à l'utilisation d'un vocabulaire technique révolu, un dictionnaire passé-présent serait nécessaire.

Ainsi, couplant un corpus de connaissances dans une base de données multi-formats et une maquette numérique dite de référence, cette première phase opérationnelle de l'**Archéologie Industrielle Avancée** va permettre la constitution du **Dossier d'Oeuvre Patrimoniale Technique**. Il s'agit là d'un nouvel outil de travail muséologique pour lequel la couche technique n'existait pas encore.

Maillon de chaîne à godets numérisé en 3 dimensions (2007)



Dessin technique de 1893 d'une chaîne à godets

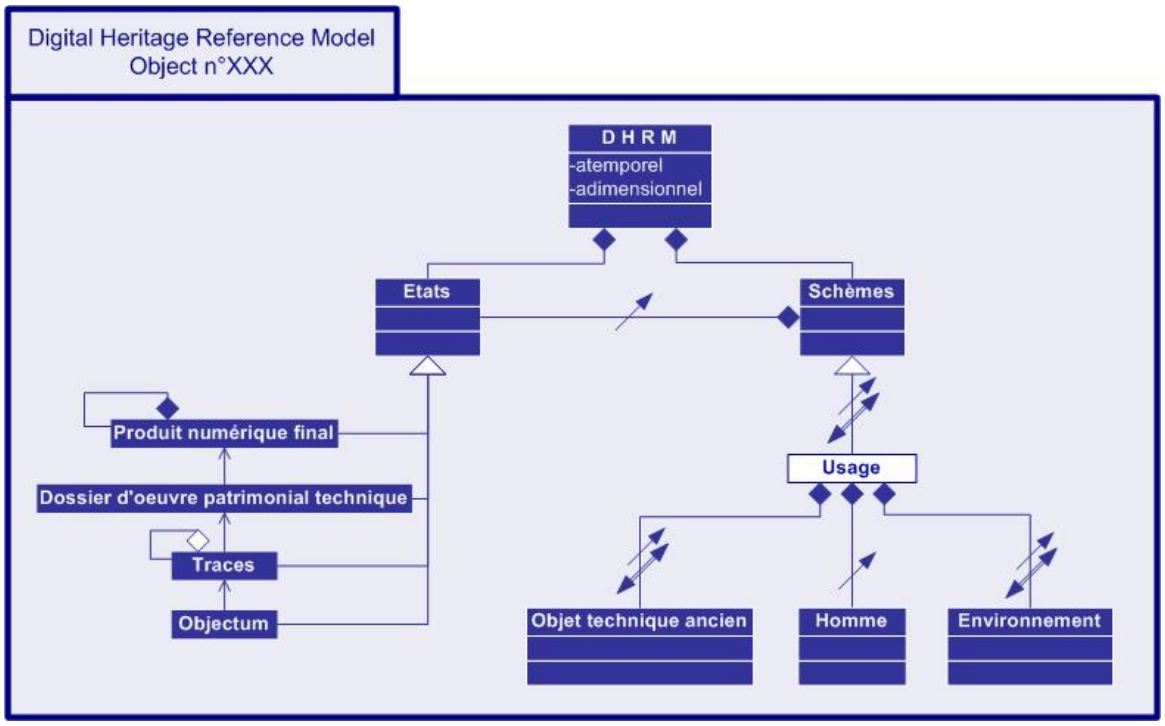
De plus, la complexité des objets induisant une multiplicité des compétences, le **Projet d'Ingénierie Patrimoniale** requiert la coopération de métiers qui, jusqu'alors, ne collaboraient pas ou peu. Dès lors, une nouvelle forme d'Equipe Inter-disciplinaire émerge pour laquelle un référentiel commun devient nécessaire. Le groupe projet oeuvrant pour cette patrimonialisation technique pourra être composé de mécaniciens, d'archéologues, d'informaticiens, de scientifiques, "d'anciens" de l'entreprise, de sociologues, d'anthropologues, d'historiens, de bibliothécaires, d'archivistes, de personnes travaillant dans le milieu du patrimoine…

De plus, compte-tenue de la complexité des objets techniques étudiés et afin de guider les acteurs du processus de patrimonialisation, nous avons élaboré un Système d'Information pour pouvoir caractériser de façon exhaustive l'objet technique et son Environnement.

- encapsuler la description et la définition de l'objet ancien dans ses aspects internalistes fonctionnels aussi bien technique que scientifique,
- prendre en compte le contexte de l'objet et l'intégrer dans son environnement ; il s'agit ici du travail fondateur des historiens qui permet de définir l'aspect externaliste du Système Technique Ancien,
- décrire les différentes transformations intermédiaires de l'objet depuis ses vestiges archéologiques jusqu'aux projets de valorisation multimédia,
- considérer également les aspects humains avec les acteurs du passé qui ont utilisé l'objet ainsi que les acteurs du temps présent déroulant le processus de patrimonialisation.

Ce modèle, exprimé dans le langage UML, Unified Modeling Language, est avant tout conceptuel. Il est défini à plusieurs niveaux multi-dimensionnels et multi-temporels (par exemple depuis le boulon jusqu'à l'usine ; et depuis l'opérateur du passé jusqu'au futur visiteur de Musée). Il s'agit là d'une proposition d'enrichissement du langage de modélisation UML qui, jusqu'alors n'existe pas du fait que les Systèmes d'Information échangent majoritairement sur des données du temps présent et sans prise en compte des enjeux humains sur une longue durée temporelle.

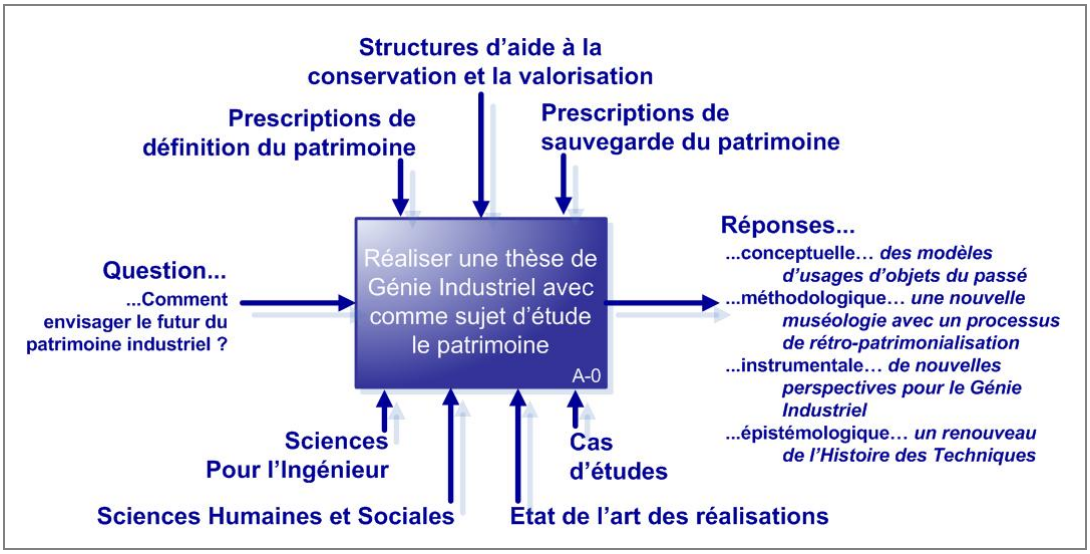
Le **DHRM**, **Digital Heritage Reference Model** ou Dossier d'Oeuvre Patrimoniale Numérique de Référence, se situe à l'interface des *Sciences de l'Ingénieur* et des *Sciences Humaines et Sociales*. D'un point de vue opérationnel, il se décline en une **maquette numérique de référence** associée à des **connaissances** externes et du **savoir-faire** anthropologique. Le **DHRM** propose l'introduction de la notion de **Schème** qui permet de définir un usage de l'objet pour une dimension donnée et un temps donné (pour la définition du **Schème**, voir en annexe de ce doucement la page 259 dans les "cinq pages extraites de mon manuscrit de thèse"). Intégrant également les différents modes de représentations intermédiaires de l'objet (dont l'artefact de valorisation), le **DHRM** est donc un modèle a-temporel et a-dimensionnel. Il permet de guider le travail d'**Archéologie industrielle avancée** ; il encapsule l'objet ancien ainsi que son système technique complet comme l'illustre le schéma suivant (qui n'est que la première vue macroscopique du DHRM car un chapitre entier du manuscrit est dédié à la description du modèle).



Vue macroscopique du Digital Heritage Reference Model

Synthèse du travail de recherche…

En prenant comme axe central de notre réflexion "la réalisation d'une thèse de doctorat en sciences interdisciplinaires", nous pouvons synthétiser notre démarche de recherche et nos apports scientifiques dans le SADT du schéma suivant (Structured Analyse Design Technique, méthode couramment utilisée dans les entreprises).



Position et contenu de ma recherche scientifiques

Plusieurs réponses thématiques ont ainsi pu être apportées :

- la création d'un méta-modèle de données, un *système d'information*, pour décrire une situation de type patrimoine industriel et technique dans son intégralité complexe aussi bien internaliste qu'externaliste mais également multi-temporelle et multi-dimensionnelle,
- la mise en place d'un *nouveau processus de conception* pour guider la patrimonialisation d'un objet technique ancien en insistant sur la nécessité de créer une équipe projet inter-disciplinaire collaborative,
- un *renouveau de l'Histoire des Techniques* et des *pratiques muséologiques* en terme de conservation et de valorisation muséographique du patrimoine technique et industriel,
- la *mise en exergue de manques dans les outils du Génie Industriel* appelant à de nouveaux développements ou de nouveaux projets de recherches,
- l'*enrichissement sémantique de la méthode de modélisation UML* par l'introduction d'un domaine encore jamais transféré à cet outil conceptuel : le patrimoine technique et industriel.

Des perspectives : un chantier de recherche vaste et diversifié…

Comprendre un objet technique du passé : oui. Mais pour qui, pour quoi ?

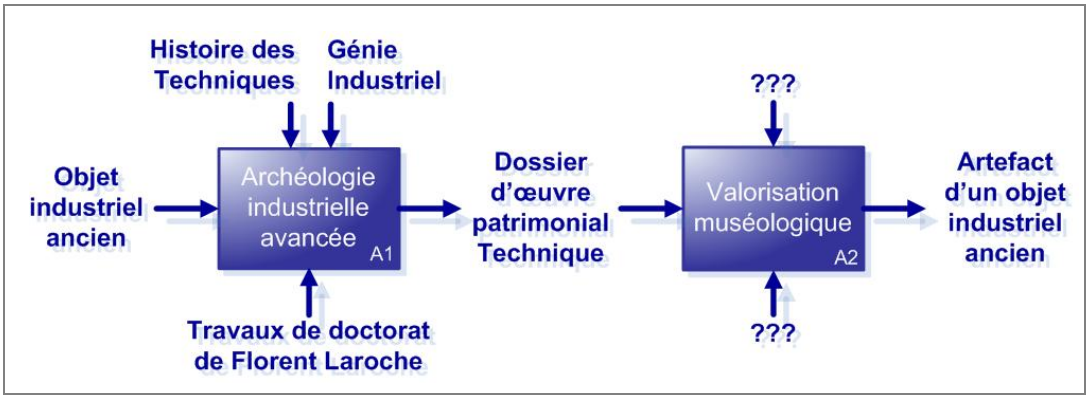
Durant ces trois ans de doctorat, nous avons déterminé les besoins en terme de capitalisation des objets techniques anciens. Qu'en est-il en terme de valorisation ?

L'hypothèse centrale de notre travail de recherche repose sur le postulat qu'il faut capitaliser un maximum d'informations avant de les vulgariser.

En effet, lorsqu'un programme de sauvegarde patrimoniale est défini, généralement, on dispose de peu de temps - quelques jours - pour sauver l'objet et son environnement avant qu'il ne soit détruit.

De même, en terme de valorisation, un éventail très large de public de différentes provenances culturelles peut être ciblé. Leurs attentes sont toutes différentes et seule une partie des éléments sauvés les concerne. Aussi, afin d'envisager un maximum de possibilités de valorisation, il faut conserver un maximum de connaissances. Il convient donc de réaliser un état intermédiaire de l'objet que l'on nomme le **Dossier d'Oeuvre Patrimoniale Technique**.

La deuxième phase de notre travail de recherche nous emmène alors vers la valorisation de l'objet en tant qu'artefact patrimonial. En effet, comme Louis FIGUIER nous le rappelle : l'Histoire et l'Industrie sont toutes deux considérées comme des sciences depuis plusieurs siècles. Vulgariser la science n'est pas une idée ni une possibilité mais une nécessité si l'humanité veut toujours aller de l'avant.



Problématique de recherche étendue et perspectives

La liste ci-dessous n'est pas exhaustive mais propose quelques possibilités d'utilisation du **Dossier d'Oeuvre Patrimoniale Technique** afin de créer des Artefacts de l'Objet Technique Ancien : de multiples modes de représentations intermédiaires sous la forme de **Produits Numériques** :

- Valorisation muséographique pour intégrer de nouveaux outils comme la Réalité Virtuelle dans de nouveaux espaces dédiés : les **Technomusées**. Il s'agit de mettre en place des collections de machines virtuelles dynamiques pouvant être utilisées, mises en fonctionnement par le visiteur lui-même… grâce à l'utilisation de périphériques de Réalité Virtuelle (vision 3D, immersion, retours haptiques…)
- Création d'un thésaurus virtuel pour que chacun puisse accéder aux connaissances du passé depuis son ordinateur, chez soi… (www.secondlife.com, archives numériques PALISSY du MINISTERE DE LA CULTURE…)
- Devenir un tremplin pour l'innovation en Entreprise par une réutilisation des connaissances dans des domaines connexes en identifiant le contexte et les moteurs de ces ruptures technologiques. Cette finalité apporterait une consistance culturelle et historique qui améliorerait ainsi la compétitivité industrielle,
- Etre utilisé pour le sauvetage en archéologie industrielle afin d'optimiser le processus de sauvegarde,
- Reconstruction pour aider l'artisan à refabriquer l'objet à l'origine à l'échelle 1:1 ou à échelle réduite ; en maquette statique ou dynamique fonctionnelle,
- Utilisation didactique pour experts ou universitaires en renouant les liens avec la culture technique d'autrefois si souvent oubliée.

Envisager le *passé* pour prévenir et créer l'*avenir* pourrait être une utilisation ultime de la capitalisation de ce patrimoine : innover à partir des connaissances patrimoniales ? N'y-a-t-il pas ici une contradiction épistémologique qui ne serait en réalité qu'une nouvelle vision de penser le *futur* ?

Les possibilités de déclinaisons muséologiques du **Dossier d'Oeuvre Patrimoniale Technique** sont nombreuses. C'est une nouvelle science qui est en train de naître : la **Techno-muséologie**. Daniel THOULOUZE, Directeur du MUSEE DES ARTS-ET-METIERS à PARIS, envisage même que :

> *« Le Musée ne doit pas être qu'un rétroviseur vers le passé mais un tremplin pour l'avenir et l'innovation. »*
> *[THOULOUZE 2005]*

Ad lib…

Les travaux que j'ai réalisés durant mon doctorat sont, par définition, de la recherche fondamentale. Aussi, croire dans une "virtualisation des machines, des usines, voire d'un système socio-économique complet" peut paraître ambitieux.

« La seule chose que l'on est sûr de ne pas de réussir, c'est celle que l'on ne tente pas. »
[Paul-Émile VICTOR]

Considérant le caractère novateur ainsi que la diversité de mes travaux de doctorat, il m'a paru très vite nécessaire de diffuser les résultats de ma recherche auprès d'un très large public. Outre les communications de vulgarisation scientifique et les reportages aux informations télévisuelles locales, les premières conférences nationales et internationales réalisées m'ont fait prendre conscience de la difficulté de mise en place d'une nouvelle discipline. Aussi, la stratégie développée se propose de balayer un spectre le plus étendu possible tant dans le domaine des Sciences de l'Ingénieur que des Sciences Humaines et Sociales, impliquant ainsi de nombreux domaines comme en histoire, en mécanique, en informatique, en didactique… De plus, en sus des coopérations avec des chercheurs de laboratoires nationaux et internationaux (LASMIS, LAMIC, CFV, Clarte…), de nombreuses collaborations ont émergées avec des partenaires publics et privés permettant ainsi de faire progresser la problématique de recherche (fabricants de matériels de numérisation 3D ou de Réalité Virtuelle, développeurs de logiciels, constructeurs automobiles, chantiers navals, communautés d'agglomération, DRAC, associations de patrimoine…).

Les recherches ayant été menées en partenariat avec des universitaires, j'ai été amené à mettre en place de nombreuses études pour lesquelles je devenais le chef de projet. Au bilan, c'est plus de 250 personnes qui ont contribuées à cette thématique : élèves IUT, élèves ingénieurs, enseignants du secondaire, enseignants-chercheurs, conservateurs de Musées…

A chaque rencontre, à chaque discussion, l'accueil qui m'a été réservé m'a convaincu d'être dans un domaine prometteur, plein d'espoir et porteur d'avenir. Présenter ces travaux à travers le *Concours des Prix des Thèses Le Monde* est pour moi une façon de remercier tous ceux qui croient en ce projet et qui souhaitent le voir commencer à "vivre". Mais c'est surtout une modalité supplémentaire pour pouvoir sensibiliser un plus large public quant à la valeur du patrimoine matériel et immatériel qui fonde notre société.

Souvenons-nous que lorsque GALVANI découvrit l'influx nerveux, personne dans le milieu de la biologie n'osa le contredire et lui-même ignorait que sa découverte allait changer le monde de la médecine moderne. Il faudra attendre plusieurs années pour qu'en 1791 le physicien du nom de VOLTA démentisse son hypothèse. S'en suivirent de nombreuses années de querelles par communications scientifiques interposées… lorsque en 1800, faisant intervenir une grande part de hasard, VOLTA créa le premier générateur électro-chimique. Nos ancêtres étaient loin d'imaginer que la domestication de l'électricité allait être une des origines du développement de notre société actuelle.

Aussi, l'enthousiasme qui m'a animé de travailler avec des personnes issues de milieux différents et la volonté de me rendre utile "pour l'humanité" en partageant du savoir-faire ancestral me poussent à continuer dans la voie de la recherche universitaire en envisageant, tout d'abord, un post-doctorat au CANADA, pays relativement en avance sur les pratiques muséologiques, afin d'expérimenter de nouvelles formes de valorisation à destination du grand public.

Ici aussi réside notre mission de chercheur de diffuser à tous la connaissance développée dans nos laboratoires. Depuis la RENAISSANCE, les vulgarisateurs scientifiques font partie de notre monde mais rencontrent parfois des difficultés dans la transmission des informations car la forme n'est pas adaptée… ou les idées sont culturellement peu interopérables. Toutefois, on se souviendra de Louis FIGUIER qui tint une place essentielle au 19ème siècle pour diffuser les *Merveilles de la science et de la technique*…

> *« L'histoire des progrès de l'esprit humain dans la voie scientifique est aussi riche en intérêt, aussi féconde en enseignements qu'aucune autre partie de l'histoire générale.*
>
> *On ne peut trouver une matière plus intéressante que l'histoire et la description des grandes inventions scientifiques dans lesquelles éclate toute la grandeur du génie humain.*
>
> *Lorsque l'utilité des travaux de ce genre sera mieux appréciée qu'elle ne l'est encore, d'autres écrivains complèteront cette tâche en embrassant l'ensemble tout entier des conquêtes scientifiques de notre époque, et ainsi seront sauvés de l'oubli des monuments précieux qui seront un jour les vrais titres de gloire de l'humanité. »*
>
> *[FIGUIER 1870]*

TABLE DES MATIERES

1. PRELIMINAIRES INTRODUCTIFS 13

1.1 Quoi ? 14
1.1.1 Une première approche du patrimoine : La connaissance de l'Humanité 14
1.1.2 La science et la technique 15

1.2 Qui ? 16
1.2.1 Des rencontres et une idée… 16
1.2.2 Une première expérience : la presse Bliss 17
1.2.3 Vers un cadre de recherche inter-disciplinaire 19
1.2.4 Un parcours atypique pour un travail de recherche fondamentale peu commun 20

1.3 Comment ? 23
1.3.1 La rédaction d'une thèse en Génie Industriel 23
1.3.2 La rédaction d'une thèse en Histoire 25
1.3.3 La rédaction d'une thèse interdisciplinaire en Génie Industriel et en Histoire 26
1.3.3.1 Le terrain d'expérimentation 27
1.3.3.2 La démarche globale de la recherche 27
1.3.3.3 L'outil de modélisation conceptuel déployé 30
1.3.3.4 La chronologie globale de la recherche 32
1.3.3.5 La démarche de recherche d'informations et la bibliographie 33
1.3.3.6 Découpage du manuscrit et prescriptions de lecture 35

1.4 Synthèse et hypothèses des apports scientifiques 36

2. LA SITUATION DU PATRIMOINE AUJOURD'HUI 39

2.1 Définition du patrimoine 39
2.1.1 Le patrimoine selon l'Unesco 40
2.1.2 Le patrimoine matériel : nature et culture 41
2.1.3 Le patrimoine technique et industriel 44
2.1.3.1 Vers une approche globalisante : entre Génie Industriel et Histoire des Techniques 45
2.1.3.2 Quelques exemples considérés comme patrimoine industriel 47
2.1.3.3 Définition 49
2.1.4 Une problématique sous-jacente : « Et le patrimoine immatériel ? » 50
2.1.4.1 Définition 52
2.1.4.2 La science et la technique : un patrimoine immatériel ? 52
2.1.5 Synthèse 54

2.2 Comment capitaliser cette connaissance ? 55
2.2.1 Histoire de la culture et du patrimoine en France puis à l'international 56
2.2.1.1 La loi de 1792 pour la protection du patrimoine français 56
2.2.1.2 La création du Conservatoire des Arts-et-Métiers 57
2.2.1.3 La formation des technologues et les sociétés savantes d'ingénieurs 57
2.2.1.4 Quelques structures françaises d'aide à la valorisation des connaissances immatérielles 59
2.2.1.5 Le Ministère Français de la Culture 60
2.2.1.6 Les aides aux Musées : OCIM et ICOM 61
2.2.1.7 Les structures internationales de sauvegarde 62

2.2.2 Des critères pour certifier le patrimoine 62
2.2.2.1 Le code du patrimoine : entre mobilier et immobilier 63
2.2.2.2 Les critères d'authenticité et d'intégrité selon l'Unesco....65
2.2.2.3 Synthèse 66
2.3 Synthèse 68

3. L'ARCHEOLOGIE INDUSTRIELLE AVANCEE : ETAT DE L'ART ET PREMIERES HYPOTHESES 71
3.1 Hypothèse de niveau 1 71
3.1.1 L'archéologie industrielle 71
3.1.2 Des difficultés liées à la sauvegarde du patrimoine technique et industriel 72
3.1.3 Synthèse....74
3.2 Les connaissances et les sources 76
3.2.1 Le cycle de vie des objets anciens et le PLC....77
3.2.2 Les sources en histoire des techniques 78
3.2.3 Connaissances et Knowledge Management....81
3.2.3.1 Du document vers la connaissance....82
3.2.3.2 Les méthodes de capitalisation des connaissances en Génie Industriel 84
3.2.4 La génétique ou l'évolution des objets 87
3.3 La conservation par la virtualisation 89
3.3.1 L'avancée des techniques numériques....89
3.3.2 Capture d'informations physiques....92
3.3.2.1 Les systèmes avec contact physique 92
3.3.2.2 Les systèmes passifs sans contact 93
3.3.2.3 Les systèmes actifs sans contact 94
3.3.2.4 Synthèse et tableau récapitulatif....96
3.3.3 Traitement et Reconstruction de modèles 3D à partir de nuages de points numérisés .98
3.3.3.1 Rebouchage du nuage de points....98
3.3.3.2 Reconnaissance automatique de formes 98
3.3.3.3 Distinction de pièces/couleurs 99
3.3.3.4 Outils logiciels de traitement et de reconstruction de nuages de points 99
3.3.3.5 Synthèse 100
3.3.4 La modélisation 3D et la dynamique....102
3.3.4.1 La modélisation CAO 3D : un peu de théorie 102
3.3.4.2 La modélisation CAO 3D : outils et exemples patrimoniaux 103
3.3.4.3 La simulation numérique 3D+t : outils 104
3.3.4.4 La CAO 3D+t : exemples patrimoniaux 105
3.3.4.5 La modélisation CG 3D et 3D+t : outils....106
3.4 La valorisation muséographique par la Réalité Virtuelle 108
3.4.1 Maquette numérique : des utilisations innovantes en GI et en Muséographie....108
3.4.1.1 La maquette numérique comme support au prototypage rapide : faits réels .109
3.4.1.2 La maquette numérique comme usage muséographique : hypothèses 110
3.4.2 Vers une nouvelle muséologie....112
3.4.2.1 Le public 112
3.4.2.2 Audiovisuel et muséologie....113
3.4.2.3 Une nouvelle dimension muséologique : l'immersion 115
3.4.2.4 Enquête : les attentes du public par les outils de la Réalité Virtuelle....116
3.4.3 Les technologies de Réalité Virtuelle....117
3.4.3.1 Les logiciels de Réalité Virtuelle....118
3.4.3.2 Les formats de 3D et le Web3D....119
3.4.3.3 Interopérabilité et portage des données 3D+t....122
3.4.3.4 La vision en Réalité Virtuelle : 3D vision et vision immersive 123
3.4.3.5 L'interactivité en Réalité Virtuelle : des interfaces kinesthésiques....124
3.4.3.6 La Réalité Augmentée 127
3.4.4 Perspectives et Applications muséologiques....127
3.4.4.1 Réalité Virtuelle dans l'art, l'architecture et l'archéologie 128
3.4.4.2 Interfaces homme/machine et culture technique 131
3.5 Synthèse : problématique et hypothèse de niveau 2 133

4. UN OBJET CONTEXTUALISE & TEMPORALISE : CAS D'ETUDE DE LA MACHINE A VAPEUR PIGUET N°135 135

4.1 Préliminaire : Plan de l'étude 135

4.2 Etude historique linéaire du PLC étendu et étude de la technologie Piguet dans ses contextes 139

4.2.1 L'entreprise Piguet : de sa création à la multinationale 139

4.2.1.1 Alphonse Duvergier, un éminent ingénieur : ses débuts dans le métier 139

4.2.1.2 La création de l'entreprise Duvergier à Lyon 140

4.2.1.3 Piguet & Cie, les successeurs de Duvergier : de rapides évolutions économiques et sociales 141

4.2.1.4 Courte monographie de la société Piguet et de ses successeurs 143

4.2.2 Le produit Piguet : une machine à vapeur horizontale à cylindre unique, à tiroirs plans et à condenseur 145

4.2.2.1 Disposition générale de l'exposition universelle de 1900 en vapeur, en force motrice et en électricité 145

4.2.2.2 Place des machines Piguet dans la galerie des groupes électrogènes 146

4.2.2.3 Description générale de la technologie Duvergier : simplicité et efficacité 147

4.2.2.4 Description de la technologie : le cylindre 151

4.2.2.5 Description de la technologie : le piston et l'arbre moteur 152

4.2.2.6 Description de la technologie : les tiroir-plans : fonctionnement, commande et arbres de distribution 152

4.2.2.7 Description de la technologie : le condenseur et la pompe à air 154

4.2.2.8 Description de la technologie : fonctionnement normal et entretien 154

4.3 Plusieurs vies pour l'exemplaire n°135 156

4.3.1 Les machines à vapeur Piguet aux balbutiements de l'électricité : Monaco 156

4.3.1.1 Les progrès de l'éclairage à la fin du 19ème siècle : du gaz à l'électricité 156

4.3.1.2 Les installations en gaz et les prémices de l'électricité à Monaco 158

4.3.1.3 Descriptif des installations électriques de Monaco 159

4.3.1.4 Evolution de la production de gaz et d'électricité à la SBE 163

4.3.2 Une 2ème vie pour l'exemplaire n°135 dans la scierie Bonnichon à Moulins (03) 165

4.3.2.1 Ambiguïté d'appartenance pour cette société monégasque ? 166

4.3.2.2 Remontage de l'exemplaire n°135 à Moulins 166

4.3.2.3 Hypothèses sur les modifications de puissances 168

4.3.3 Une ultime exploitation dans la scierie Brunel à La Roche-en-Brénil (21) 169

4.3.3.1 Des travaux préliminaires pour accueillir la machine dans la scierie : maçonnerie et chaudière 169

4.3.3.2 Un acteur garant de la réussite de la scierie Brunel : l'APAVE 170

4.3.3.3 Installation, modification de puissance et mise en route 172

4.3.3.4 Les installations en force motrice et force électrique de la scierie Brunel 172

4.3.3.5 Une tentative d'augmentation de la force motrice pour la scierie : une potentielle petite sœur ? 177

4.3.3.6 Des difficultés de fonctionnement à partir de 1950 178

4.3.3.7 45 ans de vie dans la scierie Brunel 180

4.3.4 Une dernière vie pour la machine Piguet n°135 : la sauvegarde patrimoniale 182

4.4 Modélisation 3D et valorisation Web3D 185

4.4.1 Méthodologie de conception de la maquette numérique 185

4.4.1.1 Choix du logiciel et modules utilisés 185

4.4.1.2 Méthode de modélisation 186

4.4.2 Le travail de modélisation et d'archéologie industrielle avancée 188

4.4.2.1 Rappel des caractéristiques techniques de la machine étudiée 188

4.4.2.2 Etude des classes d'équivalence de la cinématique 188

4.4.2.3 Définition des liaisons et schéma cinématique 190

4.4.2.4 Modélisation volumique et habillage du squelette 193

4.4.3 Valorisation de la DMU : Applications muséographiques en Web3D 194

4.4.3.1 Développement d'une interface HTML couplée à une base de connaissances 194

4.4.3.2 Application autonome muséographique 197

4.5 Problèmes soulevés par l'étude de la machine Piguet et Perspectives 199

4.5.1 Ancienne machine ou nouvelles machine : quelle DMU pour quelle temporalité ? Un problème de sémantique et de sources 199

4.5.2 Complétude de la DMU en vue d'obtenir une maquette numérique de référence : entre détails et environnement complet. 200

4.5.3 La sécurité dans les musées et la perspective d'une évolution en Réalité Virtuelle 201

4.6 Synthèse du cas d'étude 203

5. VERS UN PROCESSUS FORMALISE ET UN SYSTEME D'INFORMATIONS GLOBAL 205

5.1 Analyse du cas d'étude de la machine à vapeur Piguet n°135 : hypothèse n°3 207

5.2 Vers une méthodologie générale et un dossier d'oeuvre patrimonial technique 209

5.2.1 Le processus de patrimonialisation 209

5.2.2 Etat A : La vue Vestiges archéologiques industriels 210

5.2.2.1 Description 210

5.2.2.2 Synthèse 211

5.2.3 Etat B : La vue Dossier d'Oeuvre Patrimonial Technique 212

5.2.3.1 Description 212

5.2.3.2 Synthèse 213

5.2.4 Etat C : La vue Produit numérique final de valorisation 214

5.2.4.1 Description 214

5.2.4.2 Synthèse 215

5.2.5 Synthèse des états du processus de patrimonialisation 216

5.2.5.1 L'objectum : entre les professionnels et les amoureux du patrimoine 218

5.2.5.2 Une transformation d'objets intermédiaires 219

5.2.5.3 Le modèle d'usage générique du processus de patrimonialisation 221

5.3 L'objet technique ancien idéalisé avant patrimonialisation 222

5.3.1 L'objet technique dans son caractère internaliste 223

5.3.1.1 Définition et aspect fonctionnel 223

5.3.1.2 Les caractéristiques 224

5.3.1.3 La structure interne 224

5.3.1.4 Aspect dynamique 225

5.3.1.5 Synthèse : modèle d'usage fonctionnel internaliste de l'objet technique ancien 225

5.3.1.6 Validation du modèle 226

5.3.2 Quel objet pour quel usage ? 227

5.3.2.1 Les usages des objets techniques dans leur état d'origine 227

5.3.2.2 Classification 229

5.3.2.3 Généralisation : le concept des poupées russes 230

5.3.2.4 Synthèse : le concept des boîtes noires / boîtes blanches 231

5.3.3 Un objet dans son environnement : description de ses contextes multi-dimensionels et multi-temporels 234

5.3.3.1 Les sources du patrimoine technique et industriel 235

5.3.3.2 Un contexte à multi-niveaux pour les objets techniques anciens 237

5.3.3.3 Définition du Système Technique étudié : liens contexte-objet 240

5.3.3.4 Une rupture dans la typologie des objets techniques 241

5.3.3.5 La problématique du temps et l'accumulation de connaissances contextualisantes 243

5.3.3.6 Synthèse : modèle d'usage externaliste de l'objet technique ancien 246

5.3.4 L'homme dans le Système Technique 248

5.3.4.1 L'usage de l'objet technique ancien par l'Homme 248

5.3.4.2 Société et civilisation 250

5.3.4.3 Synthèse : modèle d'usage de l'Homme et de l'objet technique ancien 251

5.4 Vers une ontologie globalisante : le DHRM 253

5.4.1 Modèle comportemental global d'usage de l'objet technique ancien idéalisé : situation d'usage VS situations de vie 253

5.4.2 Vers un modèle unifié 256

5.4.3 La notion de schème 257

5.4.4 Définition du schème et contribution à l'authenticité patrimoniale 258

5.4.5 Le Digital Heritage Reference Model 259

5.5 Synthèse 262

6. APPLICATION ET VALIDATION DU DHRM : CAS D'ETUDE DE LA MACHINE A LAVER LE SEL DE BATZ-SUR-MER 265

6.1 Un nouveau processus d'ingénierie 266

6.1.1 Le processus de conception classique 266

6.1.2 Le rétro-processus de conception contextualisé 267

6.1.2.1 Un schème multi-dimensionnel 268

6.1.2.2 Un schème multi-temporel 269

6.1.2.3 Une nouvelle temporalité : schème a priori et schème rationnel 270

6.2 Cas d'application du DHRM : la machine à laver le sel de Batz-sur-Mer 271

6.2.1 Le terrain archéologique : contexte général et but encouru 271
6.2.2 De l'objectum à l'artefact : la sauvegarde d'un objet patrimonial 273
6.2.2.1 Positionnement du schème étudié dans le DHRM et classes impactées 273
6.2.2.2 Découverte de l'objet et premiers relevés d'ensemble 274
6.2.2.3 Numérisation 3D et fouilles archéologiques 276
6.2.3 Etude mécanique internaliste via la modélisation 3D : vers un schème a priori 277
6.2.3.1 Positionnement du schème étudié dans le DHRM et classes impactées 277
6.2.3.2 Description technique générale du fonctionnement 278
6.2.3.3 Le moteur et l'arbre principal 280
6.2.3.4 La chaîne à godets 281
6.2.3.5 La trémie 282
6.2.3.6 Les bacs à laver 282
6.2.3.7 Le système de circulation de la saumure 284
6.2.3.8 Hypothèses internalistes nécessitant une étude externaliste 285
6.2.4 Le sel : histoire générale et usages 289
6.2.4.1 Positionnement du schème étudié dans le DHRM et classes impactées 289
6.2.4.2 Les origines 291
6.2.4.3 Un impôt sur le sel en France 292
6.2.4.4 Les différents usages du sel de nos jours 293
6.2.5 La production du sel : récolte et traitement selon sa provenance 295
6.2.5.1 Positionnement du schème étudié dans le DHRM et classes impactées 295
6.2.5.2 Généralités 296
6.2.5.3 Le sel gemme et son traitement artisanal 296
6.2.5.4 Industrialisation contemporaine du processus de minage du sel 298
6.2.5.5 L'eau de mer : composition chimique 301
6.2.5.6 Extraction et récolte du sel marin 302
6.2.5.7 Le travail annuel dans un marais salant 304
6.2.5.8 Le traitement du sel de mer aux 19ème et 20ème siècles 306
6.2.5.9 Le traitement du sel de mer au 21ème siècle : une solution contemporaine similaire 308
6.2.6 Etude externaliste : industrialisation et gestion du lavage du sel dans les magasins Bertrand à Batz-sur-Mer 310
6.2.6.1 Positionnement du schème étudié dans le DHRM et classes impactées 310
6.2.6.2 La chaîne opératoire de lavage du sel dans les magasins Bertrand 311
6.2.6.3 La commercialisation du sel : conditionnement et transport 312
6.2.6.4 Le problème de la saumure : alimentation et vidage des cuves 314
6.2.6.5 Le site et le processus de production 315
6.2.7 L'entreprise Bertrand de négoce de sels marins 320
6.2.7.1 Positionnement du schème étudié dans le DHRM et classes impactées 320
6.2.7.2 Les origines de l'entreprise 321
6.2.7.3 Un patrimoine familial : l'entreprise Bertrand 322
6.2.7.4 Usage courant et maintenance 323
6.2.8 Le sel en Bretagne : un contexte socio-économique changeant 324
6.2.8.1 Positionnement du schème étudié dans le DHRM et classes impactées 324
6.2.8.2 L'après révolution française : des conséquences difficiles sur la première moitié du 19ème siècle 325
6.2.8.3 Un déclin en chute libre 326
6.2.8.4 Une renaissance progressive : la Société Coopérative Agricole 328
6.2.9 Bilan d'utilisation du DHRM et schème rationnel de la machine étudiée 330
6.3 Enrichissement du DHRM par l'apport de la numérisation 3D 333
6.3.1 Le contexte de la numérisation 3D des objets patrimoniaux 333
6.3.2 Caractérisation des bribes des vestiges archéologiques 333
6.3.3 Critères de numérisation 3D et arbre décisionnel 334
6.3.4 Positionnement et enrichissement du DHRM 336
6.4 Cas d'application de numérisation 3D et étude mécanique approfondie : la machine à laver le sel de Batz-sur-Mer 338
6.4.1 Numérisation 3D de la laverie dans son intégralité 338
6.4.2 Numérisation 3D de détails de composants de la laverie 339
6.4.3 Etude mécanique internaliste approfondie de la capacité de production de l'entreprise Bertrand 342
6.4.3.1 Le moteur et l'arbre principal 342
6.4.3.2 La chaîne à godets et la première gouttière 343
6.4.3.3 La trémie 343
6.4.3.4 Les bacs 344
6.4.3.5 La gouttière finale et la brouette 345
6.4.3.6 Conclusion du rendement et validation par les données historiques 346
6.5 Synthèse et perspectives du cas d'étude 348

7. ENRICHISSEMENT DU DHRM ET INTERET DES MAQUETTES NUMERIQUES DE PATRIMOINE : CAS D'ETUDES 351

7.1 Le processus de patrimonialisation comme outil de valorisation 352
7.1.1 Vers une utilisation didactique des objets techniques anciens 352
7.1.1.1 Hypothèse : la spirale patrimoniale 352
7.1.1.2 Les projets tutorés universitaires : quels moyens pour quels objectifs ? 353
7.1.1.3 La culture technique : intérêt pédagogique des projets de sauvegarde du patrimoine industriel sous une forme numérique 353
7.1.2 Etude de cas : les Machines d'imprimerie 354
7.1.2.1 Contexte du projet 354
7.1.2.2 Presse à platine : Contextualisation par l'histoire des techniques 354
7.1.2.3 Presse à Cylindre : Contextualisation par l'histoire des techniques 355
7.1.2.4 L'objet technique comme point de départ 357
7.1.2.5 Gestion de projet et méthodologie de rétro-conception patrimoniale 358
7.1.2.6 Maquette numérique et découvertes techniques 359
7.1.3 Bilan : évolution du DHRM 361

7.2 Vers un nouveau processus coopératif d'ingénierie 363
7.2.1 Introduction : une problématique multi-points de vues 363
7.2.2 Contexte de l'étude de cas : le canot à vapeur de 1861 364
7.2.2.1 Définition du projet et de l'Objectum 364
7.2.2.2 Un projet interdisciplinaire : quelles interactions ? 366
7.2.2.3 Le processus de rétro-conception patrimoniale 367
7.2.3 Analyses des composants du canot à vapeur 370
7.2.3.1 La coque : reconception d'une pièce surfacique complexe 370
7.2.3.2 Le foyer et la chaudière 371
7.2.3.3 L'alimentation en eau et l'injecteur Giffard 372
7.2.3.4 Le réchauffeur et le ballon d'eau alimentaire 373
7.2.3.5 Transmission : machine à vapeur, arbre et hélice 375
7.2.4 Généralisation : Vers des équipes projets inter-disciplinaires pour la patrimonialisation 376
7.2.4.1 Conclusion et perspectives du projet canot 376
7.2.4.2 Les métiers du rétro-processus de conception 377

7.3 Synthèse 380

8. CONCLUSION GENERALE 383

8.1 Contribution des travaux de doctorat 384
8.1.1 Le constat sur la conservation du patrimoine technique et industriel aujourd'hui 384
8.1.2 Une méthodologie pour traduire le patrimoine technique et industriel 385
8.1.3 Quelle instrumentalisation pour la patrimonialisation ? 386
8.1.4 Vers une description conceptuelle du domaine étudié 387

8.2 Perspectives de valorisation du patrimoine technique et industriel 389
8.2.1 Reconstruire les objets d'autrefois ? 389
8.2.2 La maquette virtuelle comme médiateur 390
8.2.3 La Réalité Virtuelle rentre dans les Musées… 391
8.2.4 La culture technique, un tremplin pour l'innovation 392

8.3 Synthèse générale 393

9. SOURCES IMPRIMEES ET BIBLIOGRAPHIE GENERALE 397

9.1 Valorisation des travaux de thèse 397

9.2 Sciences Pour l'Ingénieur 398
9.2.1 Sources et ouvrages généraux 398
9.2.2 Travaux universitaires, Master, Thèses et Habilitations à Diriger les Recherches 400
9.2.3 Sources périodiques scientifiques 401
9.2.4 Sources diverses 404

9.3 Sciences Humaines et Sociales 405
9.3.1 Sources et ouvrages généraux 405
9.3.2 Travaux universitaires, Master, Thèses et Habilitations à Diriger les Recherches 407
9.3.3 Sources périodiques scientifiques 407
9.3.4 Sources diverses 410

10. SOURCES DU CAS D'ETUDE PIGUET 411
10.1 Critique des sources 411
10.2 Bibliographie de la machine à vapeur 412
10.2.1 Suivi des correspondances 412
10.2.2 Rapports de contrôles 413
10.2.3 Documents techniques 413
10.3 Bibliographie de la chaudière et du système vapeur 413
10.3.1 Suivi des correspondances 413
10.3.2 Pièces comptables 413
10.3.3 Rapports de contrôles - chaudière 414
10.3.4 Rapports de contrôles – analyse d'eau 414
10.3.5 Documents techniques 414
10.4 Bibliographie sur les installations générales 415
10.4.1 Rapports de contrôles – installation électrique 415
10.4.2 Documents techniques – installations architecturales 415
10.5 Iconographie – Scierie Brunel 415
10.6 Sources imprimées et bibliographie générale 415
10.6.1 Sources et ouvrages généraux 415
10.6.2 Sources imprimées périodiques 416
10.6.3 Sources diverses 416

11. SOURCES DU CAS D'ÉTUDE DE BATZ-SUR-MER 417
11.1 Critique des sources 417
11.2 Documentation locale 418
11.2.1 Archives classées du Musée des Marais Salants de Batz-sur-Mer 418
11.2.2 Actes de propriétés - Archives non classées du Musée des Marais Salants 418
11.2.3 Actes de naissance et de décès - Archives non classées du Musée 419
11.2.4 Iconographies : Cartes postales - Archives du Musée 419
11.3 Sources imprimées et bibliographie générale 419
11.3.1 Sources et ouvrages généraux 419
11.3.2 Sources imprimées périodiques 420
11.3.3 Sources diverses 420

12. SOURCES DU CAS D'ÉTUDE DES PRESSES D'IMPRIMERIE 421

13. SOURCES DU CAS D'ÉTUDE DU CANOT A VAPEUR DE 1861 423

14. SOURCES ET BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE (CLASSEMENT ALPHABÉTIQUE) 425

ABREVIATIONS ET LEXIQUE 441

INDEX DES FIGURES 443

ANNEXES

1. Le langage UML ... 3
1.1 Généralités ... 3
1.2 L'ontologie ... 3
1.3 Les classes objet et les classes d'équivalence ... 5
1.4 Diagrammes de classes ou Modèles ontologiques ? Quelles limites ? ... 6
1.5 Les relations entre les classes ... 7
1.5.1 Relation d'association ... 7
1.5.2 Lien d'agrégation ... 8
1.5.3 Lien de composition ... 8
1.5.4 Lien de généralisation ... 8
1.6 Des attributs supplémentaires pour les liens entre classes ... 9
1.6.1 Lien de multi-dimensionnalité ... 9
1.6.2 Lien de temporalité ... 10
2. Schéma détaillé de la recherche d'informations ... 13
3. Le formalisme SADT [Millet 2003] ... 15
4. Plan Grue 01, Nantes 29 décembre 1965 ... 17
5. Approche globale de la question des restitutions numériques de patrimoine technique et industriel ... 19
6. Les éléments d'un système socio-technique (M. Cotte) ... 21
7. Les différentes phases de l'histoire d'un objet (M. Cotte) ... 23
8. Les sources du patrimoine industriel [Manigand-Chaplain 1999] ... 25
9. Histoire de la naissance du Knowledge Management en France et en Europe ... 27
10. La fontaine des connaissances [Thévenot 1998] ... 31
11. Dispositif d'implantation de l'expérience en Réalité Virtuelle ... 33
12. Interopérabilité des formats 3D ... 35
13. La conversion de fichiers 3D par Deep Exploration ... 37
14. Le processus d'AR Toolkit ... 39
15. Genèse des machines à vapeur ... 41
15.1 Les origines ... 41
15.2 Les premières machines à vapeur ... 43
15.3 La première machine à vapeur par James Watt ... 44
15.4 Les différentes types de machines à vapeur, leurs applications et déclin ... 45
15.5 Sources ... 48
15.5.1 Sources et ouvrages généraux sur la technologie vapeur ... 48
15.5.2 Sources imprimées périodiques sur la technologie vapeur ... 48
15.5.3 Sources diverses sur la technologie vapeur ... 48
15.6 Index des figures ... 48
16. Les machines de la Compagnie des bateaux à vapeur omnibus ... 49
17. Extrait du catalogue Dujardin & Cie de 1929 ... 51
18. Machine Piguet 40x80 T.P. : Copie du plan original de 1898 ... 53

19. Modélisation CAO filaire des composants de la Machine Piguet 55
19.1 Partie puissance 55
19.2 Partie commande 56
19.3 Partie Régulateur 57
19.4 Le Bâti 58
20. Modélisation CAO volumique des composants de la Machine Piguet 59
20.1 Composants du sous produit régulateur 59
20.2 Composants du produit machine à vapeur 60
20.3 Composants ayant un habillage spécifique 61
20.4 Assemblage final - vues d'ensemble 62
20.5 Assemblage final - vues de détails 62
21. Application didactique de la Machine à Vapeur Piguet n°135 65
22. Laverie de Batz-sur-Mer : photographies en 2000, 2005 et 2006 67
23. Laverie de Batz-sur-Mer : Relevés d'architecte [Buron 2004] 69
24. Laverie de Batz-sur-Mer : Relevés du cabinet d'architecture 71
25. Laverie de Batz-sur-Mer : La brouette 77
26. Laverie de Batz-sur-Mer : Schéma cinématique en modélisation filaire 79
27. Laverie de Batz-sur-Mer : SADT du processus de modélisation 81
28. Les mines de Wieliska 83
29. Numérisation 3D d'une vis THPF centenaire 85
30. Numérisation 3D de statues d'Edgar Degas 87
31. Laverie de Batz-sur-Mer : Extrait du catalogue Ewart [Burton 1893] 89
32. Laverie de Batz-sur-Mer : Notes de calculs de dimensionnement 93
32.1 Moteurs et arbre principal 93
32.2 Chaîne à godets 93
32.3 La trémie 94
32.4 Les bacs 94
33. Laverie de Batz-sur-Mer : Démarche muséologique globale 95
34. Presses d'imprimerie : technologies des Pédales [Bargilliat 1968] 97
35. Presses d'imprimerie : La Minerve [Berthier & al 1910] 99
36. Presses d'imprimerie : Mécanisme du cylindre [Bargilliat 1968] 101
37. Canot à vapeur : Plan original de 1861 restauré 103
38. Canot à vapeur : Modélisation de la coque 105
39. Canot à vapeur : Schéma thermique fonctionnel du système 107
40. Canot à vapeur : Historique [Roul 2006] 109
40.1 Dépêches ministérielles 109
40.2 Correspondance avec le ministre de la Marine 109
40.3 Commande de matériaux 110

2.2 COMMENT CAPITALISER CETTE CONNAISSANCE ?

Après avoir recentré le sujet de notre étude, voyons quelles actions sont actuellement mises en place pour sauvegarder ce *patrimoine*. Les experts reconnaîtront que les analyses faites ici ne sont que des prémices tant le domaine à prendre en compte est complexe. L'objectif de cette partie 2.2 est d'éclairer notre sujet pour un lecteur non averti des moyens de capitalisation des connaissances patrimoniales.

> *Les intérêts fondamentaux de la nation s'entendent au sens du présent titre de son indépendance, de l'intégrité de son territoire, de sa sécurité, de la forme républicaine de ses institutions, des moyens de sa défense et de sa diplomatie, de la sauvegarde de sa population en France et à l'étranger, de l'équilibre de son milieu naturel et de son environnement et des éléments essentiels de son potentiel scientifique et économique et de son patrimoine culturel.*

Cette citation est issue de l'article 410-1 du Code Pénal[59] [LEGIFRANCE 2006]. Il s'agit avant tout de la DST[60] qui recherche les informations puis, si la sécurité du territoire est menacée, elle en informe les autorités compétentes. L'objectif premier étant bien entendu de préserver les idées et les valeurs de la FRANCE. Le terme *sauvegarde du patrimoine culturel* est généralement associé à la défense liée à l'espionnage et/ou au vol répréhensible par les Douanes. Malheureusement, les termes du Code Pénal ne sont pas tous interprétés comme les experts du patrimoine l'entendent ou comme nous l'envisageons dans le cadre de cette problématique de recherche.

Autant de contradictions qui tendent à prouver que dans les faits, peu, voire pas de méthodes ou d'outils formalisés existent pour aider à sauvegarder notre *patrimoine* dans son aspect général. Les actions menées pour sauvegarder le patrimoine font souvent l'objet de communications et c'est dans ces conditions où l'aspect publicitaire joue un rôle prépondérant que les actions de sauvegarde du patrimoine sont ciblées. C'est donc une reconversion économique où, comme le précise Robert BELOT [BELOT 2006] :

> *Il faut transformer de l'inutile en culturel.*

Un des exemples les plus marquants de cette année 2007 est celle de la candidature de l'œuvre de VAUBAN sur la liste du patrimoine mondial de l'UNESCO. 300 ans après sa mort, 14 sites censés être les plus représentatifs de l'œuvre du bâtisseur VAUBAN ont été sélectionnés[61]. Les 14 villes françaises ont pour beaucoup profité de cet évènement en proposant toute l'année des manifestations dans leurs citadelles ou leurs fortifications afin d'accueillir les experts de l'ICOMOS dans les meilleures conditions possibles. Mais cet engouement sera-t-il pérenne après 2007 ?

[59] Titre 1 : Des atteintes aux intérêts fondamentaux de la nation.
[60] DST = Direction de la Surveillance du Territoire
[61] http://www.sites-vauban.org

Version Provisoire

de capture. Elle peut également référencer des connaissances propres à chaque image pouvant être ainsi affichées simultanément.

Afin d'exploiter cette base de connaissances, le produit développé est constitué d'une page internet se décomposant en trois zones (figures 92 et 93) :

- La zone *Animation* contient la représentation virtuelle de l'objet modélisé. La machine est visualisée en 3D+t. L'interaction avec l'utilisateur s'effectue grâce à des boutons directionnels : il peut ainsi se déplacer autour de l'objet (à gauche, à droite, en bas, en haut) et agir sur le zoom (avant, arrière). Il a également la possibilité d'interagir avec la dynamique en ralentissant ou en augmentant la vitesse de fonctionnement du mécanisme.
- La zone *Connaissances*. L'utilisateur a ici la possibilité de choisir les informations qu'il souhaite obtenir à propos de l'objet représenté. Des hyperliens génériques affichent l'historique de la machine, son mode de fonctionnement… En outre, une liste déroulante recense les différentes pièces qui composent l'objet. En sélectionnant l'une d'entre elles, la représentation dynamique dans la zone animation change de point d'observation, de façon graduelle, jusqu'à ce que la pièce sélectionnée soit observable au premier plan.
- La zone *Affichage des connaissances*. Cet espace est réservé pour l'affichage des connaissances sélectionnées dans la zone précédente. Tout type de média peut être visualisé : textes descriptifs/explicatifs, photographies, vidéos, commentaires/extraits sonores…

Figure 92 : INTERFACE PRINCIPALE DU MODULE INFORMATIQUE DE VISUALISATION D'OBJETS TECHNIQUES

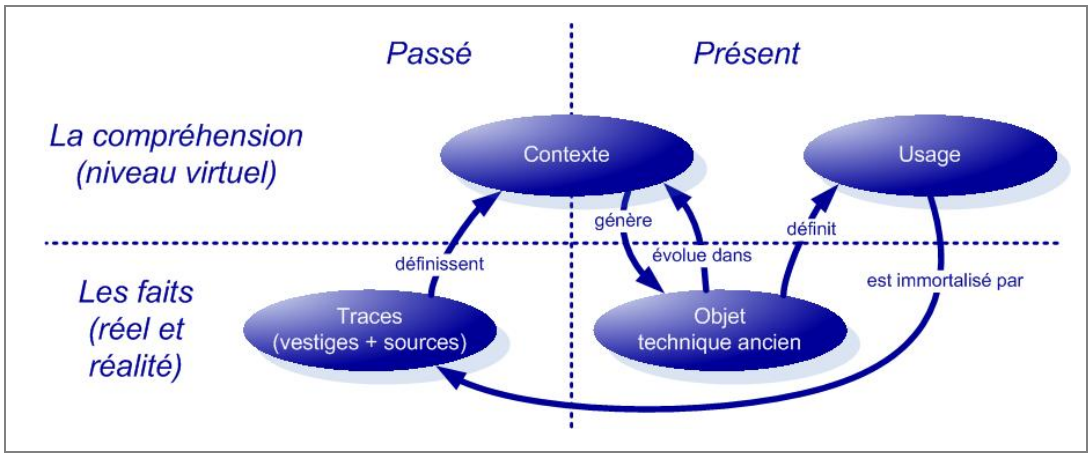


Figure 121 : PROCESSUS INTERNE DE PRODUCTION DE L'USAGE EXTERNALISTE D'UN OBJET TECHNIQUE ANCIEN

Le bouclage des ***usages*** aux ***traces*** est assuré par la variable du *temps*. Afin de justifier les utilisations des ***objets***, ***l'homme*** va de lui-même se créer un souvenir qu'il immortalisera ou non par écrit. Avec le *earth time*, ces éléments vont alors devenir des ***traces***. C'est par exemple le cas des rapports de l'APAVE réalisés lors des essais sur la machine à vapeur PIGUET n°135.

L'ontologie de la figure 122 décrit l'usage du domaine de l'aspect *externaliste* de ***l'objet technique***. Précisions que, comme vu dans la partie 5.3.3.1, ***l'objet technique*** et les ***sources*** répondant aux critères de niveaux multi-temporel et multi-dimensionnel, la détermination du ***contexte*** de ***l'objet*** et donc la déduction des ***usages*** répond également à cette multi-temporalité. Par exemple : l'objet peut posséder plusieurs *vies* donc plusieurs **usages** temporels. De même, les activités se déroulent à multi-échelles sur toute la chaîne logistique de la ***typologie structurante*** de ***l'objet***. C'est pourquoi le diagramme de classes de l'usage générique de l'objet dans son caractère internaliste possèdent de nombreuses relations multi-temporelles et multi-dimensionnelles.

De plus, les ***sources*** pouvant aider la phase ***d'archéologie industrielle avancée*** à décrire l'aspect *internaliste* de ***l'objet***, un lien les unit avec la classe ***objet technique ancien***.

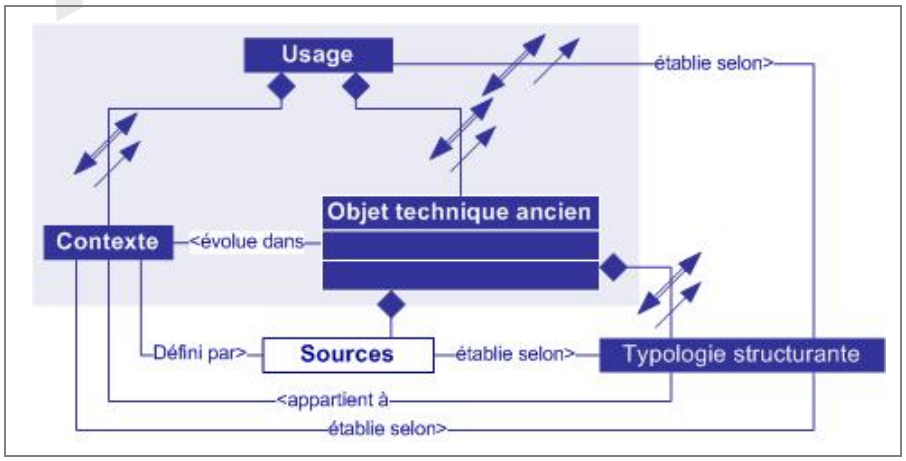


Figure 122 : MODELE D'USAGE GENERIQUE DE L'OBJET DANS SON CARACTERE EXTERNALISTE

Version Provisoire

Si l'espace des ***schèmes*** est décrit dans sa complétude suivant ses multi-dimensions et multi-temporalités, il garantit alors la globalité des conditions d'authenticité du ***patrimoine*** spécifiées par l'UNESCO [UNESCO 2005] :

- forme et conception,
- matériaux et substance,
- usage et fonction,
- traditions, techniques et systèmes de gestion,
- situation et cadre,
- langue et autres formes de patrimoine immatériel,
- esprit et impression,
- autres facteurs internes et externes.

Le ***schème*** peut donc structurer les ***connaissances*** associées à ***l'objet*** qui porte les *valeurs* de ce qu'il est entendu par ***patrimoine technique et industriel***.

5.4.5 LE DIGITAL HERITAGE REFERENCE MODEL

Une fois ***l'objectum*** admis, ce sont les ***traces*** qui viennent composer le ***schème*** : aussi bien les ***bribes*** des ***vestiges*** de ***l'objet technique ancien*** que les ***sources*** elles-mêmes. Le processus de patrimonialisation va alors pouvoir permettre de concevoir le nouvel état intermédiaire de ***l'objet technique ancien*** : le ***Dossier d'Oeuvre Patrimonial Technique***. Il pourra ensuite être discrétisé en différentes finalités sous la forme de ***Produits numériques***.

Ces deux étapes de transformations sont guidées par un méta-modèle conceptuel de données. Le système d'information utilisé pour gérer la sémantique des ***états*** et de ***l'objet technique ancien*** est appelé le ***Digital Heritage Reference Model*** ou ***DHRM***. Notons que l'appellation anglaise est plus signifiante que le français signifiant littéralement Modèle Numérique de Référence Patrimonial [LAROCHE & al 2006d]

> *Le schème est la description du schéma mental[357] d'un objet dans son Système Technique. Il est temporalisé et dimensionnalisé.*
> *Le DHRM permet la projection de la variation des états intermédiaires de l'objet technique ancien dans un espace multi-dimensionnel et multi-temporel du processus de patrimonialisation. Le DHRM est alors considéré comme atemporel et adimensionnel.*

Le méta-modèle ontologique du ***DHRM*** est décrit par la figure 130. Il intègre l'ensemble des concepts vus dans ce chapitre. De plus, notons que la relation temporelle établie entre la classe ***états*** et la classe ***schèmes*** stipule que ***l'objet*** peut avoir existé, avoir disparu ou ne posséder aucun état patrimonial quelconque… il s'agit simplement d'un ***schème*** de type souvenir.

[357] La systémique en GI définit les schémas mentaux comme la façon dont l'être humain pense, réfléchit et agit. Il s'agit de la structure du méta-modèle le guidant.

Version Provisoire

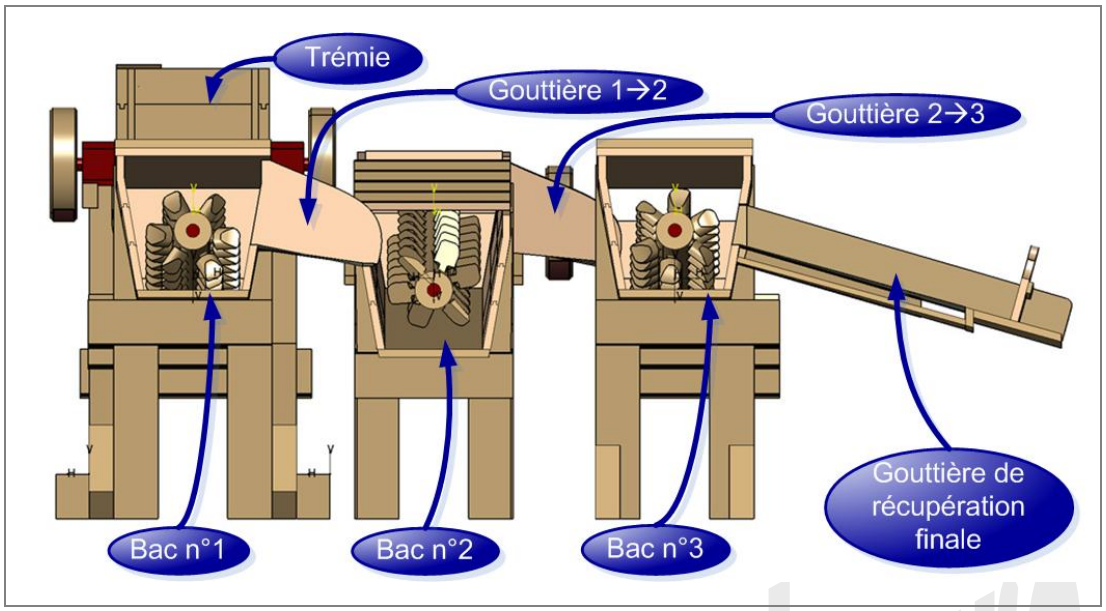


Figure 151 : MAQUETTE CAO, VUE ARRIERE EN COUPE DES 3 BACS

On remarquera sur la photographie de la figure 152 la présence d'un garde-fou fortement détérioré par le temps. Celui-ci permettait sûrement d'empêcher aux opérateurs de mettre les mains directement dans les bacs en fonctionnement. En effet, il devait souvent y avoir des problèmes de blocage des vis sans fin dus au fait que la solution traitée ne devait pas être complètement liquide mais visqueuse. Evitant ainsi de graves blessures et la projection de la solution en dehors des bacs, ce garde-fou est modélisé en transparence sur la maquette CAO de la figure 153.

Version Provisoire

Figure 152 : PHOTO, BRASSEUR A PALES

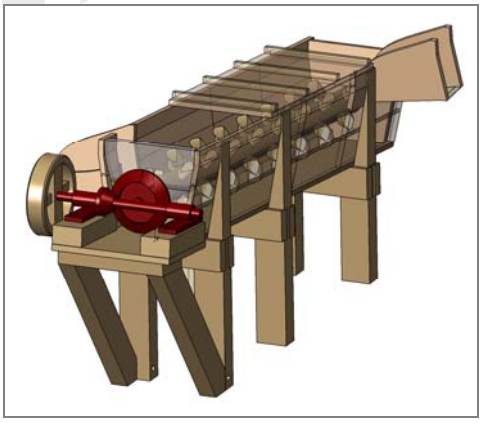


Figure 153 : MAQUETTE CAO, BAC A LAVER N°2

Chaque arbre est entraîné grâce à des pignons coniques eux-mêmes actionnés par une courroie reliée à l'arbre principal. La quantité de sel accumulée sur les éléments en métal ainsi que l'action du sel au cours du temps a fortement détérioré les engrenages (figure 154).

La société parisienne BURTON FILS propose dans son catalogue de 1893 ces mécanismes dits de roues d'angle. Il n'est donc pas improbable que les constructeurs de la

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES / COLLOQUES – THEME "CONCEPTION DE PRODUITS, INNOVATION ET PROTOTYPAGE RAPIDE"

Revues internationales avec comité de lecture

2008 F. LAROCHE, A. BERNARD, M. COTTE, **Advanced Industrial Archaeology: A new reverse-engineering process for contextualizing and digitizing ancient technical objects**, Revue de Reverse-Engineering, *article accepté*

2007 A. BERNARD, S. AMMAR-KHODJA, N. PERRY, F. LAROCHE, **Virtual engineering based on knowledge integration**, Revue Virtual and Physical Prototyping, Vol. 2, Special Issue n°3 - Advanced Manufacturing Technology for Product Development, Taylor & Francis, ISSN 1745-2767, pp.137-154

2007 A. BERNARD, F. LAROCHE, S. AMMAR-KHODJA, N. PERRY, **Impact of new 3D numerical devices and environments on redesign and valorisation of mechanical systems**, CIRP Annals, Vol. 56-1, ISSN 0007-8506, pp.143-148 - www.cirp.net

2006 F. LAROCHE, A. BERNARD, M. COTTE, **Between heritage and Industrial Engineering, a new life for old product: virtuality**, conference proceedings Virtual Concept, Cancun, Mexique – Publié dans la revue Research in Interactive Design, Vol.2, 7 p., Ed. Springer, ISBN 2-287-48363-2 - www.virtualconcept.estia.fr

2006 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, ISBN 978-2-7462-1679-2 - riin.revuesonline.com

Revue francophone avec comité de lecture

2005 Juin F. Laroche, C Coppens, M. Le Coq, **La connaissance au service de l'innovation**, Design Management Magazine, n°7, pp.7-9, ISSN 1638-6418 - www.cdra.asso.fr

Ouvrage de synthèse international

2007 F. Laroche, A. Bernard, M. Cotte, **Knowledge management for industrial heritage**, Ouvrage collectif *Methods and Tools for Effective Knowledge Life-Cycle-Management*, Editions Springer, pp.307-330, ISBN 978-3-540-78430-2, ouvrage publié avec le soutien du réseau d'excellence européen VRL-KCiP

Ouvrage spécialisé à diffusion nationale

2004 Sept. Mémoire de DEA, **Etude et évaluation d'un outil d'aide à l'innovation intégrant les données capitalisées**, Laboratoire CPI, ENSAM Paris, 62 p.

Conférences internationales avec publication des actes

2008 Avril F. Laroche, A. Bernard, M. Cotte, **Virtualization of ancient technical objects: a new design process and its inter-disciplinary team**, Conférence CIRP Design Seminar, Université de Twente, Pays-Bas, *article accepté* - www.cirp.net

2007 Oct. F. Laroche, A. Bernard, M. Cotte, **Une vision produit-process et sa méthodologie dédiée à la sauvegarde du patrimoine technique et industriel sous une forme virtuelle**, Conférence CPI 2007, Rabat, Maroc - www.supmeca.fr

2007 Juin F. Laroche, A. Bernard, M. Cotte, **Alphonse Duvergier: its life, its company and its famous Steam Engine**, Conférence IFToMM, Besancon, France, 8 p. - www.iftomm2007.com

2007 Mai F. Laroche, A. Bernard, M. Cotte, **Reverse engineering for industrial heritage: 3D digitalization**, Conférence ICMA, Singapour, 18 p. - www.icma07.org

2007 Mai A. Bernard, S. Ammar-Khodja, N. perry, F. Laroche, **Virtual engineering based on knowledge integration**, Conférence ICMA, Singapour, 28 p. - www.icma07.org

2007 Avril F. Laroche, A. Bernard, M. Cotte, **3D digitalization for patrimonial machines**, Conférence CIRP Design Seminar, Berlin, Allemagne, pp.397-408 – ISBN 978-3-540-69819-7 - www.cirp.net

2006 Juillet F. Laroche, A. Bernard, M. Cotte, S. Deniaud, **A new methodology for a new life of old technical machines**, Conférence CIRP Design Seminar, Alberta, Canada, 12 p. - www.cirp.net

2005 Nov. F. Laroche, A. Bernard, M. Cotte, **Méthode de construction de situations d'usages virtuelles de systèmes techniques anciens**, Conférence CPI 2005, Casa Blanca, Maroc, 19 p. - www.supmeca.fr

Conférences nationales avec publication des actes

2007 Mai 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, 9 p.

2007 Avril F. Laroche, A. Bernard, M. Cotte, **De l'objet a l'idée : entre reverse-engineering et archéologie industrielle ou comment refaire vivre le patrimoine industriel**, 10ème colloque national AIP Primeca, La Plagne, 12 p. – ISBN 978-2-86272-451-5 - www.aip-primeca.net

2007 Avril S. Le Loch, F. Laroche, **Maquettes numériques de machines patrimoniales pour l'enseignement de la CAO en projet tuteuré**, 10ème colloque national AIP Primeca, La Plagne, 11 p. – ISBN 978-2-86272-451-5 - www.aip-primeca.net

2004 Juillet F. Laroche, C. Coppens, M. Le Coq, **La connaissance au service de l'innovation**, Conférence CONFERE 2004, Nantes, 15 p.

Conférences nationales sans publication des actes

2007 Mars F. Laroche, **Etat des lieux de la thèse : Contribution à l'amélioration des modèles de situation dynamique d'usage. Application à la muséographie numérique du patrimoine technique et industriel**, Journées des GDR du CNRS, groupe MACS, GT IS3C, EIGSI, La Rochelle

2006 Mai F. Laroche, **Le patrimoine technique et industriel : Comment allier Histoire et Ingénierie ?**, 12ème Colloque de la Recherche de l'Intergroupe des Écoles Centrales, Ecole Centrale de Paris

2006 Mai F. Laroche, **Etat des lieux de la thèse : Contribution à l'amélioration des modèles de situation dynamique d'usage. Application à la muséographie numérique du patrimoine technique et industriel**, Journée de l'Ecole Doctorale Mécanique Thermique et Génie Civil, Ecole Polytechnique de l'Université de Nantes

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES / COLLOQUES – THEME "REALITE VIRTUELLE ET NTIC"

Conférences internationales avec publication des actes

2006 Avril F. Laroche, A. Bernard, M. Cotte, **A new approach for preserving the technical heritage**, Conférence scientifique VRIC, Salon Laval Virtual, Laval, France, 11 p. – ISBN 2-9515730-5-7 - www.laval-virtual.org

2005 Sept. O. Rochard, F. Laroche, **Development of a Virtual Reality Interface coupled to a Knowledge database: An interactive application aimed to museum's public**, Conférence ICHIM 2005, Paris, 15 p. - www.ichim.org

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES / COLLOQUES – THEME "PEDAGOGIE, INGENIERIE DIDACTIQUE"

Conférences nationales avec publication des actes

2007 Juin — F. Laroche, S. Le Loch, M. Cotte, J.-L. Kerouanton, A. Bernard, **L'histoire, un medium de didactique aux Nouvelles Technologies**, 3ème journées nationales inter-IUFM sur la Recherche et la Formation des enseignants en épistémologie et Histoire des Sciences et des Techniques (groupe de recherche ReForeHST), Caen, France, 6 p.

2005 Juin — F. Laroche, S. Le Loch, **Culture technique et CAO par les machines anciennes**, Colloque CETSIS'2005, Nancy, 6 p. - www.clubeea.org

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES / COLLOQUES – THEME "EPISTEMOLOGIE ET HISTOIRE DES SCIENCES ET DES TECHNIQUES"

Ouvrage de synthèse national

2007 — M. Cotte, F. Laroche, **Le monumentalisme et la mise en scène des techniques à l'époque de Jules Verne**, Colloque "Jules Verne ou la science en drame", 2005, Museum d'histoires naturelles de Nantes, Revue Jules Verne n°25, 136 p. – ISBN 978-2-901811-34-3

Ouvrages spécialisés à diffusion nationale

2007 — M. Cotte, F. Laroche, A. Bernard, **Les outils de réalité virtuelle sont-ils applicables au patrimoine technique et industriel ?**, Revue des professeurs d'histoire géographie, *ouvrage à paraître*, 15 p.

2005 — M. Cotte, F. Laroche, A. Bernard, **Le patrimoine des machines anciennes et la Conception Assistée par Ordinateur**, 3ème rencontre de l'Association Patrimoine et Mémoires d'entreprise, Avril 2005, Musée des Arts-et-Métiers, Paris, *ouvrage à paraître* - www.patrimoine-et-memoire.com

1999-2000 — Participation à l'écriture et réalisation de la mise en page d'un dossier de candidature au patrimoine mondial de l'UNESCO en collaboration avec Michel Cotte (Professeur des Universités, Histoire des Techniques, expert de l'ICOMOS pour le patrimoine mondial de l'UNESCO) : "**Le Train Jaune dans les Pyrénées Orientales**"

Revue francophone avec comité de lecture

2008 — F. Laroche & al, **Les outils du virtuel : la mécanisation du lavage du sel à Batz-sur-Mer au XXème siècle**, Revue Archéologie Industrielle en France, n°51, édité par le CILAC, pp.46-51 - ISSN 0220-5521

Conférences nationales avec publication des actes

2007 Mai — F. Laroche, **Vers une muséologie numérique : méthodologie générale pour conserver et valoriser le patrimoine technique et industriel**, 4ème journée d'étude IHT, Nantes, ouvrage à paraître

2007 Avril — F. Laroche, M. Cotte, J.-L. Kerouanton, A. Bernard, **L'image virtuelle comme source de connaissance pour le patrimoine technique et industriel : Comment allier Histoire et Ingénierie ?**, 132ème Congrès national des sociétés historiques et scientifiques, Arles - www.cths.fr

2006 Avril — M. Cotte, J.-L. Kerouanton, F. Laroche, A. Bernard, **Objet, société, technologies de l'information et de la communication : l'apport du patrimoine et de l'histoire des techniques dans la capitalisation des connaissances, la valorisation et les approches méthodologiques de l'ingénieur**, 131ème Congrès national des sociétés historiques et scientifiques, Grenoble - www.cths.fr

2005 Sept. — F. Laroche, J.-L. Kerouanton, **Le patrimoine : quel domaine d'application pour quel champ d'application ?**, 3ème journée d'étude IHT, Nantes, ouvrage à paraître

2005 Sept. — S. Le Loch, F. Laroche, **Une démarche pédagogique pour l'apprentissage de la CAO par l'étude de machines anciennes : cas d'une presse à platine du Musée de l'imprimerie de Nantes**, 3ème journée d'étude IHT, Nantes, ouvrage à paraître

2005 Sept. — G. Buron, M. Simonnin, F. Laroche, **Un objet industriel patrimonial voué à disparaître sauvé par le numérique : exemple de la machine à laver le sel de Batz-sur-Mer**, 3ème journée d'étude IHT, Nantes, ouvrage à paraître

Conférences nationales sans publication des actes

2008 Mars — F. Laroche**, L'Archéologie Industrielle Avancée ou comment refaire vivre le patrimoine technique !**, Colloque annuel du Laboratoire Epistémé, Université de Bordeaux

2008 Janv. — F. Laroche, **Le lavage du sel en pays Guérandais du XXème siècle : entre un mode artisanal et une tentative d'industrialisation / Une étude patrimoniale complexe menée grâce à l'archéologie industrielle avancée**, Colloque annuel du Centre d'histoire des techniques François Viète, Université de Nantes

2007 Avril — M. Cotte, F. Laroche, A. Bernard, S. Deniaud, S. Le Loch, **Les maquettes numériques de patrimoine technique et industriel, exemples et enjeux muséographiques**, Festival National d'Archéologie, Privas, France

2006 Oct. — F. Laroche, **Les maquettes virtuelles dynamiques de machines anciennes : état de l'art et état des lieux des recherches menées**, Workshop, Musée des Arts-et-Métiers, Paris

2005 Nov. — F. Laroche, **Comment pérenniser la connaissance des objets du passé ?**, Séminaire mensuel du Centre d'histoire des techniques François Viète, Université de Nantes

2005 Juin — F. Laroche, **Etat des lieux de la thèse : Contribution à l'amélioration des modèles de situation dynamique d'usage. Application à la muséographie numérique du patrimoine technique et industriel**, Colloque annuel du Centre d'histoire des techniques François Viète, Université de Nantes

2005 Fév. — M. Cotte, F. Laroche, **Une approche du patrimoine technique et industriel**, Journée de l'Ecole Doctorale CLC, Nantes

MISSIONS DE VULGARISATION SCIENTIFIQUE

Presse télévisuelle

2007 Oct. — France 3, Journal Télévisé du 22 octobre 2007, Edition régionale, 19/20h, reportage de 3 minutes sur le projet du Canot à vapeur de DCNS - jt.france3.fr/1920

2005 Juin — Nantes 7, Journal Télévisé du 13 juin 2005, 19/20h, reportage de 1.30 minutes sur le projet de la laverie de sel de Batz-sur-Mer - www.nantes7.com

Manifestations tout public

2007 Sept. — Nuit européenne des chercheurs, Vulgarisation de machines anciennes - www.nuitdeschercheurs-france.eu

2005 Oct. — Fête de la science, exposition muséographique et démonstration en Réalité Virtuelle de machines anciennes - www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fete/2005

Rapport de soutenance de thèse ayant pour titre :

« Contribution à la sauvegarde des objets techniques anciens par l'archéologie industrielle avancée »

par
Monsieur Florent Laroche

Thèse soumise le 7 décembre 2007 à la séance tenue de 10h00 à 13h40 à l'amphithéâtre de l'IRCCyN de l'École Centrale de Nantes en présence des membres du jury suivants :

Président :
Philippe Dubé, Professeur titulaire, Département d'histoire, Université Laval, Québec, Canada

Rapporteurs :
Amézianne Aoussat, Professeur des Universités, ENSAM, Paris
André Guillerme, Professeur titulaire de la chaire d'histoire des techniques, CNAM, Paris

Examinateurs :
Patrick Serrafero, Professeur des Universités associé, École Centrale de Lyon
Bruno Jacomy, Conservateur en chef HDR, Musée des Confluences de Lyon
Samuel Gomes, Maître de conférences, Université de technologie de Belfort-Montbelliard
Alain Bernard, Professeur des Université, École Centrale de Nantes
Michel Cotte, Professeur des Universités émérite, Université de Nantes

Directeur de thèse : Alain Bernard
Laboratoire : IRCCyN
Co-encadrant : Michel Cotte
Laboratoire : Centre François Viète

En tout premier lieu, le jury souhaite signaler qu'il a grandement apprécié la qualité de la présentation offerte par le candidat qui a fait preuve à cette séance d'une aisance orale remarquable et d'une organisation de pensée qui honore sa démarche doctorale. Par sa prestation, il a convaincu le jury de sa grande capacité de synthèse qui, du coup, témoigne d'une compétence pédagogique évidente et laisse préfigurer un profil d'enseignant dans l'horizon professionnel du doctorant.

Le jury tient à signaler la très grande originalité des travaux de Florent Laroche alors qu'il a fait preuve d'une maîtrise certaine de plusieurs champs disciplinaires. Par ses recherches concluantes, il a su recouper à la fois le vaste domaine des sciences historiques (histoire, archéologie, ethnologie, archivistique, muséologie, notamment) et celui du génie (systèmes : mécanique, thermodynamique, cinématique, imagerie virtuelle). On doit souligner ici la qualité exceptionnelle de sa démarche d'ensemble qui se fonde sur un vecteur d'innovation technologique tout en sachant gérer avec compétence un capital d'informations à travers un système de modélisation complexe.

Le caractère progressiste, qui est au cœur de sa proposition, vient vitaliser le champ de l'architecture programmatique par un modèle d'encapsulation original qui crée un véritable pôle de ressources applicables tant au domaine du patrimoine (données historiques, archéologiques, ethnologiques reliées aux diverses couches sémantiques et temporelles) qu'à celui des systèmes mécaniques notamment par son système de rétro-conception patrimoniale.

Il s'agit donc d'une thèse qui aura un impact significatif sur le champ des connaissances ; une sorte de double enrichissement qui pourrait éventuellement (à moyen terme) trouver des débouchés industriels nommément avec la contribution originale de son *Digital Heritage Reference Model* (DHRM). Les travaux de Florent Laroche ouvrent sur des perspectives stimulantes où, encore une fois, deux domaines rarement croisés feront de part et d'autre des gains notables.

Le jury a de plus remarqué la capacité du candidat à répondre sans détour aux questions posées et de surcroît à pouvoir prendre du recul par rapport à sa propre démarche. Sa posture critique à l'égard du champ d'expertise qu'il a su développer avec grand talent témoigne de sa maturité scientifique rare pour une carrière en recherche encore jeune, mais combien prometteuse. Il s'agit en fait d'un individu doté d'une large culture et d'une intelligence fine lui permettant de se mouvoir à son aise dans, comme nous l'avons souligné, des domaines variés au carrefour d'une interdisciplinarité totalement intégrée et parfaitement bien assumée.

C'est donc à l'unanimité que le jury se déclare pleinement satisfait de la démarche doctorale de Florent Laroche en soumettant une thèse rigoureuse et stimulante et lui décerne le grade de docteur avec une mention très honorable.

P.S. Par les provenances scientifiques diverses, nous souhaitons signaler la richesse de la variété du jury composé de façon équilibrée de huit (8) membres dont quatre (4) en génie et quatre (4) en histoire pour ainsi répondre au double spectre disciplinaire que couvre la thèse de Florent Laroche. À cause justement de la nature bipolaire de l'horizon scientifique adopté ici, nous joignons en annexe le commentaire de chacun des huit (8) membres qui composent ce jury :

(1) Intervention de André Guillerme, Professeur titulaire de la chaire d'histoire des techniques, CNAM, Paris

Le Président donne la parole à André Guillerme, professeur d'histoire des techniques au Conservatoire national des arts et métiers, pré-rapporteur. Qui revient sur le mémoire après avoir félicité le candidat pour sa brillante présentation orale. Cet épais travail de plus de six cents pages compose deux volumes : un premier de huit chapitres parsemés de deux cents illustrations et figures. La bibliographie thématisée comprend plus de quatre cents ouvrages. La recherche est délicate et ambitieuse ; elle se veut fondamentale et à l'interface des sciences académiques, celles du génie, des matériaux et celles de l'histoire, des « immatériaux » ; une bijection.
Dans les préliminaires, sorte d'introduction générale, Florent Laroche définit sa posture épistémique qui le conduit à cadrer ses méthodes d'approche en fonction de ses origines heuristiques, le génie industriel — avec sa modélisation et ses méthodes de recherche opérationnelle — et l'histoire des sciences — avec son approche critique, réflexive et érudite. Un second chapitre brosse l'état du patrimoine public à l'aide de définitions fonctionnelle, internationale, académique et usuelle ; il cherche la trace des contours administratifs, législatifs internationaux et nationaux, associatifs et muséaux. Il fait en somme la genèse d'une culture du mobilier industriel français. Le troisième chapitre entre dans le vif du sujet : l'archéologie industrielle avancée et la conservation des objets industriels. Florent Laroche y met en valeur les outils et les méthodes des sciences pour ingénieur pour sauvegarder et valoriser le patrimoine technologique. Un bilan des sources nécessaires à l'étude d'un patrimoine industriel est clairement présenté : iconographie, archivistique, description dynamique, topographie technique. Le doctorant y adjoint la cartographie des compétences et l'excellence des tâches. Puis on aborde la conservation des objets par « virtualisation » par maquette numérique. On présente l'état de l'art de la numérisation en décrivant les dernières technologies – laser, imagerie médicale, 3D et CAO 3D. La muséologie devient grâce aux logiciels, à la numérisation des sens, au copier-coller 3D, grâce à la réalité virtuelle, à l'immersion de l'usager, plus accessible, sans dégradation ni usure du chef d'œuvre exposé.
Deux cas sont particulièrement décortiqués et analysés avec perspicacité : la machine à vapeur Piguet n°135 et la machine à laver le sel de Balz-sur-Mer. La première a servi à l'alimentation électrique de l'exposition universelle de Paris en 1900. La reconstitution de son cheminement technologique, sa « path dependence » commence avec l'ingénieur des Arts et Métiers Duvergier dont Florent Laroche trace la brillante carrière mécanicienne puis continue avec celle de Piguet avec la mise au point et la productio

de cette machine monocylindre horizontal, à tiroir plan, haute pression, couplée à un alternateur à courant triphasé. La machine est décrite avec force détails, comme les modes d'éclairage électrique dont l'exposition universelle de 1900 fut le grand témoin. Le moteur 135 est d'abord utilisé en 1898 à Monaco pour servir à cet usage avant d'alimenter, en 1917, une scierie à Moulins et y fonctionner tant bien que mal jusque dans les années 1950. La machine est rachetée en 1977 par l'Ecomusée du Creusot. Florent Laroche décrit avec minutie sa modélisation 3D et les difficultés d'élaboration pour lesquelles il définit le parcours du meuble dans le milieu, un protocole de « traçabilité » (p. 211) : le « dossier d'œuvre patrimonial technique ».
Le cinquième chapitre, tabloïde, revient sur les hypothèses et cherche en conséquence à formaliser la compilation des données tangibles, sensorielles et environnementales, des spéciations — traces de patrimonialisation, empreintes, vestiges — et des temporalités avec la plus grande exhaustivité possible obtenue grâce à l'informatique. Un produit totalement numérique ; méta-modèle que le candidat désigne par DHRM. Il l'applique à la mécanisation des marais salants de Batz. Là, en pays de Guérande, à la fin du XIXe siècle, pour faire face à la concurrence et à la demande sociale de sels raffinés, les paludiers ont mécanisé la production du sel marin et appliqué en grand la lixiviation chimique, Florent Laroche revient sur la longue histoire européenne du sel, collecte, fabrication, stockage, commercialisation. Il visite le site paludéen de l'entreprise Bertrand pour formaliser l'ambiance technique puis modélise la machine : engrenages, pales, trémie, courroies sont scannés et re-présentés. Fort de ces résultats, un dernier chapitre insiste sur l'utilité des maquettes numériques dans la pédagogie muséale, notamment pour les machines de très grandes dimensions — presse à cylindre, canot à vapeur, etc. La conclusion insiste sur le caractère méthodique de cette maquette numérique de référence, une modélisation complète pour l'archéologie industrielle « avancée » : une réalité virtuelle pleine d'avenir. Voici donc pour André Guillerme, une application complète et enthousiaste d'une science à une autre pour le plus grand bonheur de la technologie, de la muséologie et de la reconnaissance du patrimoine industriel. Il revient en interrogation sur cette grande innovation que fut l'injecteur de Giffard et sur le rôle de cet inventeur. Florent Laroque répond avec pertinence et érudition.

(2) Intervention de Améziane AOUSSAT,
Professeur des Universités,
Directeur du laboratoire CPI.
ENSAM
151, bld de l'Hôpital
75013 PARIS
Tel. : 33 1 01.44.24.64.20
Fax : 33 1 01.44.24.63.59
ameziane.aoussat@paris.ensam.fr

Le travail de Monsieur Florent LAROCHE s'inscrit dans la spécialité Génie Mécanique, dans le cadre de l'école doctorale « Mécanique, Thermique et Génie Civil », de l'ECN. Ce

travail se situe à l'intersection entre deux domaines scientifiques : les sciences pour l'ingénieur et les sciences humaines.
Il concerne la modélisation de l'activité de sauvegarde du patrimoine industriel, en faisant appel à des outils de numérisation d'objets et de management des connaissances.
La contribution des travaux présentés comprend plusieurs niveaux :

- au niveau méthodologique, la méthode dite d' « archéologie industrielle avancée » identifie les définitions, les outils et compétences nécessaires à la sauvegarde du patrimoine industriel
- au niveau technique, les études de cas permettant une sauvegarde réelle des objets, par la mise à jour d'éléments techniques, sociologiques et économiques.

Le document de 393 pages est construit en six chapitres, précédés et terminés par un chapitre d'introduction et un chapitre de conclusion générale. Il est complété par une annexe et une bibliographie.

Chapitre 1 – préliminaires
Ce chapitre tient lieu d'introduction générale. Il retrace l'historique de la naissance du sujet de thèse, et décrit la démarche de recherche suivie tout au long des travaux.
Ce chapitre a le mérite de bien présenter la structure générale du document, de saisir l'enchaînement logique des différentes parties (expérimentation, modélisation). Cependant, la description de la genèse du sujet aurait pu être ramenée aux seuls éléments pertinents pour la compréhension de la démarche de recherche.
Chapitre 2 – la situation du patrimoine d'aujourd'hui
Dans ce chapitre sont présentées les différentes définitions qui environnent le travail de recherche effectué. Florent Laroche fournit une description détaillée et référencée des éléments fondamentaux du sujet (patrimoine naturel, culturel, industriel, immatériel), qui permet par la suite une meilleure compréhension des enjeux et objectifs de cette recherche.
Ce chapitre est clair et permet au non-spécialiste de comprendre les tenants et aboutissants du sujet. L'auteur décrit bien la nature des objets sauvegardés, et les conditions de cette sauvegarde.

Chapitre 3 – l'archéologie industrielle avancée : état de l'art et premières hypothèses
L'auteur consacre ce chapitre à la présentation des difficultés liées à la sauvegarde du patrimoine technique et industriel, puis à la description détaillée des outils de capitalisation des connaissances, concernant le *Knowledge Management*, la numérisation des objets ou la virtualisation des musées.
Ce chapitre conséquent présente dans le détail les différents outils de KM, ainsi que les techniques de numérisation et de réalité virtuelle. L'auteur fait montre d'une culture approfondie de ces outils et nous avons apprécié la précision des explications.
Ces explications servent de support à la formulation des hypothèses, qui à notre sens auraient mérité d'être un peu plus mises en valeur.

Chapitre 4 –un objet contextualisé et temporalisé : cas d'étude de la machine à vapeur piquet n°135

Ce chapitre décrit une première étude de cas concernant la sauvegarde d'une machine à vapeur. Cette étude, faisant appel à la fois aux connaissances issues de l'Histoire des Techniques et du Génie Industriel, est découpée en quatre phases : étude historique, étude technique, modélisation et valorisation. Encore une fois, ce chapitre montre l'approfondissement culturel mené par Florent Laroche et sa capacité à reporter dans le détail les résultats de ce travail.

Ce chapitre est en grande partie descriptif et présente de nombreuses informations sur le travail effectué. Cependant, il est à noter que la dernière partie, concernant la valorisation des connaissances, soulève des questions relatives à l'exploitation de ces dernières. Cette valorisation devrait comprendre l'apport qualitatif et quantitatif pour les utilisateurs potentiels de cette connaissance (ingénieurs, grand public, internautes...). On peut regretter qu'elle ne soit pas abordée, ainsi qu'une discussion sur le retour apporté par ces utilisateurs sur les résultats de l'étude.

Chapitre 5 – Vers un processus formalisé et un système d'informations global

Ce chapitre est consacré à la formalisation du processus de sauvegarde de patrimoine. Le formalisme UML est utilisé pour décrire les concepts, classes, relations entre les éléments de ce processus, ainsi que ses différentes phases. Il est aussi utilisé pour mettre en évidence les représentations intermédiaires utilisées au long de ce processus (dossier d'œuvre patrimonial technique, produit numérique). A partir des différents éléments de ce processus, l'auteur élabore un modèle global de numérisation du patrimoine.

L'auteur montre ici sa capacité d'abstraction par la formalisation de son modèle. La description progressive permet de mettre en évidence la cohérence interne de la construction formelle. On aurait apprécié qu'une discussion soit engagée autour de l'adaptation du formalisme UML à la problématique, des contraintes posées par celui-ci sur la modélisation du processus, et des difficultés rencontrées.

Chapitre 6 – Application et validation du DHRM : cas d'étude de la machine à laver le sel de Batz-sur-Mer

Dans ce chapitre, le modèle proposé en chapitre 5 est mis en œuvre au travers d'une étude de cas. Comme au chapitre 4, l'étude fait l'objet d'une description approfondie en termes techniques, économiques et humains. Cette étude est menée de la phase d'étude historique à la phase de modélisation, la phase de valorisation n'ayant pas encore été traitée. De cette étude, l'auteur fait ressortir le caractère inter-disciplinaire de son modèle.

En appliquant le modèle proposé à la réalité d'une étude terrain, l'auteur investigue la problématique du choix des outils, grâce à un arbre de décision. Nous avons apprécié que cette question soit soulevée. Cet élément est pertinent, et vient, à notre sens, compléter le modèle proposé.

Nous comprenons que la durée d'une thèse est relativement limitée, et que la phase de valorisation n'ait pu être investiguée. Nous suggérons de compléter le modèle DHRM par une évaluation qualitative et quantitative qui permettrait d'ajouter une dimension prescriptive à ce travail.

Chapitre 7 – Enrichissement du DHRM et intérêt des maquettes numériques de patrimoine : cas d'études
Ce dernier chapitre introduit, grâce à une étude de cas et une formalisation supplémentaire, des détails supplémentaires au modèle, notamment concernant la dimension humaine. La notion d'interdisciplinarité du DHRM est investiguée pour proposer un nouveau processus coopératif d'ingénierie. Ce chapitre propose une synthèse sur les compétences engagées dans le processus de sauvegarde du patrimoine.

Chapitre 8 – Conclusion générale
Le document se termine par un chapitre de conclusion générale reprenant les principaux résultats du travail effectué et des perspectives ouvrant sur la continuité de ses travaux.
L'originalité de ce travail se situe dans l'utilisation d'un formalisme rigoureux et dans un processus d'abstraction relatif à une activité complexe. Ce travail met en avant de nombreuses définitions, concepts, descriptions des activités et compétences qui entrent en jeu dans un modèle global de sauvegarde du patrimoine.
Le travail effectué est conséquent, et propose des résultats appréciables à l'intersection entre les deux domaines du Génie Industriel et de l'Histoire des Techniques. Le travail est bien documenté et s'appuie sur une bibliographie conséquente dans les deux domaines cités, ce qui montre bien la maîtrise du thème de recherche investigué.

Par conséquent, à la vue de la quantité et de la qualité du travail fourni, j'émets un avis favorable à la soutenance de ce mémoire en vue de l'attribution de titre de docteur de l'Ecole Centrale de Nantes.

(3) Intervention de Bruno Jacomy
Directeur du Centre de conservation et d'étude des collections
Adjoint au directeur du Musée des Confluences
Département du Rhône
13A rue Bancel
69007 LYON (France)
Tel 04 37 65 42 00
Fax 04 72 72 93 98
bruno.jacomy@rhone.fr
www.museum-lyon.org

M. Jacomy tient en introduction à mettre en avant les difficultés nombreuses qui guettent toute personne s'engageant sur la voie de l'interdisciplinarité et la manière tout

à fait remarquable avec laquelle M. Laroche maîtrise, d'une part, les deux champs disciplinaires dans lesquels il a inscrit son travail de thèse, d'autre part les différents outils d'analyse dont il s'est doté. Dans le domaine du patrimoine et des musées, cette approche transversale se révèle indispensable pour rendre compte de la complexité du monde, et les traces matérielles des activités des hommes sont autant de matériaux souvent indéchiffrables pour le commun des mortels ou le « grand public » ; le modèle proposé par M. Laroche constitue dans cette optique un outil méthodologique et pratique tout à fait original. À cet égard, M. Jacomy fait remarquer que les deux acceptions proposées par l'étudiant ne recouvrent pas exactement la même réalité. Si le terme anglais, le DHRM, *Digital Heritage Reference Model*, fait penser à un modèle, à la fois intellectuel et pratique, de représentation d'un ensemble ou élément patrimonial disparu ou en voie de dégradation, le terme français de « dossier d'œuvre patrimonial technique » fait davantage référence au dossier documentaire, dans ce cas surtout virtuel, attaché à une œuvre. En passant, M. Jacomy fait remarquer que le terme d'œuvre peut avantageusement être utilisé à la place d'« artefact », le même sens de création humaine étant attaché aux deux mots.
Ces réserves terminologiques étant faites, M. Jacomy, lui-même issu d'un double profil d'ingénieur et de conservateur, souligne la pertinence du modèle et de la méthodologie proposées par M. Laroche. Des outils tels que l'arbre de décision pour le choix d'un outil de numérisation 3D peuvent se révéler très utiles pour le monde du patrimoine. Dans la chaîne proposée par M. Laroche, qui va de la documentation de base indispensable pour la connaissance d'un objet technique jusqu'à la valorisation dans le cadre d'une institution patrimoniale, les différentes phases sont traitées avec maîtrise, justesse et précision, ce qui fait remarquer par M. Jacomy que, du coup, on s'attendrait à trouver, sur le plan du rendu dans le cadre d'un musée, le même traitement original et inventif. Mais ceci aurait fait déborder l'étudiant du cadre strict qu'il s'est fixé.
Enfin, M. Jacomy suggère quelques références bibliographiques complémentaires qui pourraient être utiles à de futurs utilisateurs de la démarche de reconstitution-restitution de M. Laroche, telles que la *Publication industrielle des machines, outils et appareils*, par Armengaud, mine de renseignements techniques sur les machines industrielles du XIXe siècle.
En guise de conclusion, M. Jacomy espère que la voie novatrice et très actuelle proposée par M. Laroche pourra être poursuivie pour donner vie à ces objets et aider conservateurs et publics dans la connaissance du monde des techniques et de leur place dans la culture occidentale.

(4) Intervention de Samuel GOMES, PhD
Maître de Conférences en mécanique
Département EDIM
Laboratoire SeT - équipe ERCOS
Université de Technologie de Belfort-Montbéliard
rue du Château, 90010 Belfort Cedex
Tél : (33) 3 84 58 30 06

M. Samuel Gomes tient tout d'abord à s'associer aux premiers membres du jury pour saluer la qualité de la soutenance de la thèse de M. Florent Laroche, mettant en évidence les qualités pédagogiques du candidat. En effet, celui-ci amis en œuvre de manière judicieuse pour appuyer sa démonstration, et ceci tout au long de sa présentation, différentes illustrations 3D dynamiques, de systèmes mécaniques anciens, réalisées à partir des outils de Conception Assistée par Ordinateur. Néanmoins quelques imprécisions ont été soulevées à l'issue de la présentation et ont fait l'objet d'une série de questions soumises au candidat. Il s'agit, dans un premier temps de la légère confusion instaurée au cours de la démonstration par la légère évolution du modèle utilisé pour définir le concept de DHRM (Digital Heritage Reference Model). En effet, le modèle UML proposé, évolue du système Home-Objet-Environnement, vers le système Homme-Objet-Contexte, puis vers le système Homme-Objet-Outils. L'autre commentaire formulé par Samuel Gomes, dans le domaine du management des connaissances d'ingénierie, concerne la typologie des connaissances KnoVA-Sigma, qui représente une évolution de la démarche CYGMA-CONSUL citée par le candidat dans le manuscrit. La particularité de cette nouvelle typologie est d'introduire deux nouvelles catégories à savoir, le contexte métier et l'évolution métier venant compléter les autres types de connaissances (processus métier, vocabulaire métier, expertise métier et expérience métier). Les réponses apportées par Florent Laroche mettent en évidence que ces deux catégories, utilisées en ingénierie à base des connaissances, lors du processus de capitalisation et de réutilisation, peuvent constituer des premières briques pour l'élaboration à plus long terme d'un « dossier d'œuvre patrimonial technique » (DHRM). Enfin, en guise de perspectives de recherche, Samuel Gomes souligne que la démarche proposée peut aussi être étudiée en tant que nouvelle contribution à la démarche d'innovation en conception de systèmes mécaniques, qui à l'image de la méthode TRIZ, exploite la généalogie des produits pour mieux en appréhender l'évolution.

(5) Intervention de Patrick SERRAFERO (PSO)
PDG Consultant KAD/KAM International Mob1: +33 677 710 997
Prof. Associé
ECOLE CENTRALE de LYON
17 chemin du Petit Bois
F-69130 LYON-ECULLY, France

Le candidat doctorant nous a présenté - dans le temps imparti et avec beaucoup de synthèse et pédagogie - son travail centré sur "la sauvegarde des objets techniques anciens par l'archéologie industrielle avancée". Il a parfaitement su retracer la dynamique explicative et claire déjà présente dans son manuscrit, alternant avec rigueur et pertinence les études de cas illustratives et les phases de conceptualisation et de modélisation théorique. Sa capacité à utiliser, sur support multimédia animé, les moyens modernes de communication visuelle confirme également ses aptitudes parfaitement opérationnelles de retransmission didactique des connaissances acquises et des

conclusions résultant de son travail. Par ailleurs, la qualité du fond présenté respecte le contenu du mémoire et reflète la rigueur tant scientifique que technologique du candidat sur le sujet étudié. L'articulation rigoureuse du raisonnement et l'utilisation appropriée d'une profonde culture inter-disciplinaire sur le problème posé témoignent d'une excellente maturité scientifique et d'une aptitude avérée pour la recherche. L'impact des travaux présentés pour la communauté des concepteurs mécaniciens, notamment dans les processus d'innovation, a été discuté de manière pertinente lors des interactions avec le jury. Enfin, les réponses apportées aux commentaires et interrogations des examinateurs ont été concises, précises et pertinentes tout en sachant rester ouvertes ou prudentes quand le candidat savait être en limite de compétence. Je souhaite donc exprimer ici ma grande satisfaction à avoir pu participer au jury très dense de ce travail de grande qualité. L'enrichissement scientifique de notre communauté ainsi que la qualité des échanges formels puis informels avec le candidat, justifie pleinement les félicitations collectives et unanimes que le Président du Jury a souhaité transmettre, en notre nom, au candidat.

(6) Intervention de Michel Cotte,
professeur émérite d'histoire des techniques,
Centre François Viète, Université de Nantes

J'ai eu l'occasion de rencontrer M. Laroche alors qu'il était élève ingénieur à l'Université de technologie de Belfort – Montbéliard, et d'apprécier tant ses qualités personnelles que son goût pour l'histoire des objets techniques. À côté de sa formation principale en génie mécanique, il a alors suivi un mineur de formation en sciences humaines et sociales en lien étroit avec l'histoire des techniques. Il a contribué alors à l'avancement de plusieurs projets importants du laboratoire de recherche RECITS de l'UTBM.
À la suite de son DEA de conception mécanique à l'ENSAM, il a accepté de se lancer dans une thèse transdisciplinaire dont l'idée de départ reposait sur l'analyse et la traduction des informations contenues dans les objets techniques du passé à l'aide des outils des sciences de l'ingénieur du présent. Les premiers contacts pris au sujet de cette thématiques de recherche avec l'équipe du professeur Alain Bernard, au moment de mon arrivée à l'Université de Nantes, ont par ailleurs rendu possible ce sujet de recherche appartenant à deux champs bien distincts des compétences académiques. Je tiens donc tout particulièrement à remercier Alain Bernard d'avoir accepter d'accueillir Florent Laroche et d'avoir pleinement intégré cette question à ses propres préoccupations de recherche. Sans l'appui sans faille qu'il a apporté au sujet, celui-ci n'aurait pu être convenablement développé, en particulier par un usage rigoureux des outils et des méthodes des sciences pour l'ingénieur. Je tiens aussi à remercier très sincèrement Florent Laroche d'avoir accepté un tel sujet, aussi novateur et finalement aussi risqué, dans un environnement académique dont la réceptivité à la transdisciplinarité n'est pas toujours la principale vertu.
Après l'avoir écouté, ma conviction sur le caractère novateur et prometteur de cette manière d'approcher la question du patrimoine technique et industriel est encore

renforcée. Il me semble important de poursuivre ces recherches qui doivent donner des applications notables dans un avenir proche, non seulement pour ce type de patrimoine, mais aussi pour la gestion des connaissances et l'enrichissement de la culture technique des ingénieurs en charge de concevoir les objets de demain.
Je voudrais simplement évoquer quelques enjeux et quelques motivations intellectuelles qui ont étayé le déroulement de la recherche que Florent Laroche vient de nous présenter. L'une des idées de départ, comme il nous l'a parfaitement indiquée, est de sauvegarder l'information technique contenue dans les machines et les objets du passé, d'être capable de les traiter avec les outils d'aujourd'hui. En effet, nous changeons radicalement de système technique et le formidable capital accumulé pendant les années les plus créatrices de la « révolution industrielle » risque de totalement disparaître si nous n'y prenons garde. Dès aujourd'hui, les collections de machines inertes, au fond des musées, ont perdu une très grande partie de leur signification, non seulement pour le public mais aussi pour les spécialistes. L'écart ne cesse de grandir et ces machines anciennes risquent de bientôt apparaître comme des ruines plus ou moins romantiques d'un monde révolu.
Le problème de capitalisation des connaissances d'aujourd'hui peut-il être étendu aux connaissances du passé ? Pouvons-nous envisager d'utiliser les outils des sciences pour l'ingénieur pour traiter de ces domaines anciens et leur donner une lisibilité contemporaine ? Cette extraordinaire créativité technique n'est-elle pas un capital précieux pour alimenter la créativité d'aujourd'hui ? En d'autres termes n'est-il pas fondamental pour les futurs ingénieurs et chercheurs de les inviter à augmenter leurs compétences scientifiques et technologiques par une véritable culture technique ? Florent Laroche emprunte résolument et de manière pionnière cette voie : il doit en être récompensé.
Les vertus pédagogiques de la recherche documentaire en vue de l'établissement de maquettes numériques de vieilles machines et, au-delà, l'ambition scientifique du « DHRM » ont été pour moi les révélations les plus fortes de ce travail. Il faut notamment souligner le parti qu'en a tiré Florent Laroche par l'animation de recherches qu'il a su conduire au cours de sa thèse, en partenariat avec de nombreux élèves et étudiants issus de formations diverses (élèves ingénieurs, licence pro, master pro) et des partenaires diversifiés (musées de Batz-sur-mer et de l'imprimerie de Nantes, écomusée du Creusot, industriel DCNS Indret). Son travail est d'ambition théorique forte, mais il est aussi pleinement intégré dans des partenariats et de la formation par la pratique. Ce n'est pas le moindre de ses mérites.
Une autre dimension de l'importance de cette recherche est de bien situer les enjeux d'une numérisation, appuyée simultanément sur des outils scientifiques contemporains et sur la rigueur de l'approche de l'historien. Le travail sur la critique des sources, à propos d'une machine à vapeur Piguet des années 1880, dont Florent Laroche n'a malheureusement pas eu le temps de beaucoup parler, est allée fort loin dans ce domaine. Il nous apporte une vision remarquablement riche de l'objet technique, depuis sa conception industrielle, sa fabrication, son optimisation, jusqu'au suivi technique de ses multiples vies. Une dynamisation de l'histoire des techniques est bien en vue à travers ce type d'études. Au-delà, dans la société du tout numérique d'aujourd'hui, il est

nécessaire d'apporter un discours solide sur la réalité du système technique du passé. Les outils virtuels actuels sont en effet capables de créer de véritables univers romantiques et complètement fictifs, à l'image des jeux vidéo, ayant toutes les apparences de la réalité. Il faut garantir aux publics l'emploi d'outils et de méthodes scientifiques dans les restitutions numériques du passé. Il y a là une véritable garantie d'authenticité, que seule une collaboration SPI – SHS au niveau de l'université peut apporter.
Je crois aussi que l'approche d'archéologie avancée que nous propose Florent est pleinement justifiée. Moi qui ai la chance d'exercer, aujourd'hui, d'importantes responsabilités dans le domaine du patrimoine en général, je perçois de plus en plus combien l'histoire des techniques et de l'industrie s'apparente à une question bien plus générale de compréhension du passé à travers des vestiges matériels, dont le point commun est la grande fragilité et la vulnérabilité au temps. Le basculement simultané de l'information matérielle, technique et scientifique dans une base de données et les maquettes numériques corrélées (DHRM) est, comme nous le suggère Florent Laroche, une méthode nouvelle de transmission des connaissances aux générations futures. Il faut s'en donner les moyens, comme il nous le propose, et envisager des outils pour le faire : non seulement l'archéologie industrielle avancée, mais aussi une archivistique numérique avancée.
Enfin, le travail de Florent Laroche aborde, dans des termes assez novateurs, des aspects conceptuels notables comme, par exemple, une réflexion sur les différentes temporalités du monde de la technique ou encore sur le rapport entre un réel matériel et une réalité sociotechnique qui rafraîchit le vieux débat sur les rapports entre l'internalisme et l'externalisme en histoire des sciences et des techniques.
À nouveau, je tiens à le remercier très sincèrement du travail de défrichement intellectuel et de l'investissement personnel qu'il a réalisé dans sa thèse.

(7) Intervention de Alain Bernard, professeur et responsable du Projet : IVGI (Ingénierie Virtuelle pour le Génie Industriel), Institut de recherche en communication et cybernétique de Nantes - IRCCyN UMR 6597 du CNRS - Centrale Nantes - Université de Nantes - Ecole des Mines de Nantes

Le Professeur Alain BERNARD, Directeur de thèse, apporte ensuite son éclairage sur le déroulement du travail et sur les résultats obtenus. Il tient tout d'abord à souligner une phrase prononcée par un des membres du jury sur la manière dont ce travail permet de revisiter le passé avec les outils d'aujourd'hui. Il met en exergue l'intérêt de l'analyse scientifique basée sur une approche d'expérimentation-validation de type essai-erreur avec les outils d'investigation actuels. Il rappelle les apports significatifs du travail et plus particulièrement du DHRM au travers d'une représentation conceptuelle permettant d'enrichir les éléments manipulables, techniques et historiques pour aboutir à un système d'information pour la valorisation des résultats du patrimoine technique ancien. Il s'agit également d'un apport au niveau méthodologique, par la proposition d'une méthode de choix de moyens « outils/méthodes » permettant de peupler le modèle

d'information afin d'aboutir à une capitalisation de connaissances relative aux systèmes techniques anciens, démarche utilisant des supports et formats de telle sorte de profiter du même souci et du même processus de pérennisation des modèles numériques, tels qu'on les produit pour les systèmes techniques actuels (validation des systèmes complexes comme les avions ou les bateaux à partir de la maquette numérique et non plus à partir d'un prototype physique.

Le Professeur Alain BERNARD tient également a souligné la rigueur de l'approche de modélisation, sur les propositions à la fois sémantiques et syntaxiques validées par l'un des spécialistes d'UML, Jean-Pierre BOURREY.

Il tient à souligner la cohérence avec les objectifs scientifiques de l'équipe qu'il dirige au travers de modèles et de méthodes pour la capitalisation des connaissances au service de la performance des processus d'entreprise. L'apport de ce travail permet de compléter la partie liée au retour d'expérience, en complément du travail de Yves KERARON sur les aspects liés au document dans le cycle de vie. Ces approches s'enrichissent mutuellement et ceci fait l'objet d'une proposition de publication.

Dans le même temps, ceci permet d'élargir les points de vues pris en compte par le modèle d'information développé dans l'équipe afin de le rendre encore plus opérationnel au-delà des domaines d'applications.

Enfin, le Professeur Alain BERNARD tient à souligner la difficulté surmontée d'un sujet effectué en synergie entre deux communautés scientifiques et il se félicite de l'excellente collaboration avec Michel COTTE, co-Directeur de Thèse. Il se félicite également de la proposition de Post-Doctorat de la part du LAMIC, qui permettrait d'approfondir la valorisation du DHRM.
Il tient également à féliciter le Doctorant pour sa capacité de travail et pour la qualité de la valorisation de ses travaux, publiés dans des conférences et journaux de grande qualité dans chacune des communautés.

(8) Intervention de Philippe Dubé, professeur titulaire et directeur du LAMIC, Département d'histoire, Pavillon Charles-De Koninck, Université Laval, Québec, Canada , G1K 7P4 Téléphone ..... (418)656-2131 poste 3296 ou 3822Télécopieur ... (418)656-3603 Courriel ..... Philippe.Dube@hst.ulaval.ca

Florent Laroche, par sa thèse, *«Contribution à la sauvegarde des objets techniques anciens par l'archéologie industrielle avancée»* (décembre 2007), nous instruit grandement sur la question de la méta-numérisation de systèmes mécaniques anciens (maquettes numériques de référence) et du processus de rétro-conception patrimoniale appliqué à des objets artisanaux et/ou proto-industriels. Par quatre cas d'étude, il porte une analyse historique fort éclairante, soit à travers une étude historique fort éclairante, soit à travers une étude historique linéaire traditionnelle (machine à vapeur Piguet); une étude socio-écono-technique (machine à laver le sel); une étude ayant un cadre

didactique (presses d'imprimerie); et enfin une étude interdisciplinaire par le rétro-processus de conception (canot à vapeur). Toutes quatre participent à l'enrichissement et au développement d'un système d'information DHRM_ Digital Heritage Reference Model_ qui permet de nous approcher d'une conception nouvelle de **présentation** (exposition), de **cognition** (épistémologie) et d'**appropriation** (transmission) des objets techniques anciens.

Ses efforts de recherche ont été centrés sur une meilleure compréhension du processus de numérisation en vue d'une patrimonialisation axé sur la conservation et la valorisation d'objets techniques et/ou industriels. Nous reconnaissons avec lui que la tâche est énorme et qu'habituellement la seule prise en compte de ce patrimoine à travers la sauvegarde de ses vestiges résume le processus muséal appliqué au domaine (par exemple le CNAM en témoigne parfaitement tant par son mode de collectionnement que celui de la mise en exposition et ce, à peu de chose près). Bien entendu, il y a d'autres exemples en muséologie contemporaine notamment avec l'écomuséologie et même, jusqu'à un certain l'économuséologie, ont pu contribuer à la sauvegarde et la mise en valeur du patrimoine industriel ou artisanal. Spontanément, on pense à des exemples comme en France, le site du **Le Creusot** http://ECOMUSEE-CREUSOT-MONTCEAU.FR/FIA/MAQUETTELANGE/ (voir maquettes notamment) en Bourgogne avec son actuel Musée de l'homme et de l'industrie. Créé à la fin de 1973, l'Écomusée du Creusot-Montceau-les-mines a pour mission de recenser, étudier, valoriser le patrimoine du territoire de la Communauté Le Creusot Montceau marqué depuis la fin du 18e siècle par le développement d'activités industrielles majeures : sidérurgie, industrie minière, céramique, verrerie, transports. Son siège social est maintenant installé au Creusot, au Château de la Verrerie, ancienne habitation de la famille Schneider (maîtres des forges).

Je citerai par ailleurs comme exemples québécois :

- Les Forges du Saint-Maurice, un parc historique qui offre un concept d'interprétation in situ présent sur le site par l'évocation de volumes expressifs de cette ancienne industrie métallurgique [www.pc.gc.ca].

- L'Écomusée de la Haute-Beauce fondé en 1978 (centré essentiellement sur l'action communautaire) [à partir d'une carrière d'exploitation du GRANIT] Musée-Territoire avec ses 3 principes fondateurs « la participation d'une population à un territoire d'appartenance. »

- Économusée : www.économusées.com [Musée-Entreprise] mise en valeur du travail artisanal en ATELIER.

Ce que ces exemples évoquent se résument essentiellement dans la difficulté pour le musée de traiter convenablement du patrimoine industriel qui est certes moins mobile, moins portable qu'un objet / qu'un artefact. On note que le musée jusqu'à maintenant à tenter non seulement de le consigner matériellement en le transférant en ses murs (sur le mode du IN VITRO) mais il l'a aussi englobé par une approche le respectant dans

la totalité de son contexte (sur le mode, cette fois, du IN SITU). Ces manières muséales ont jusqu'à un certain point échoué parce qu'elles n'arrivent pas à rendre compte **en toute intégrité** des contenants et des contenus du patrimoine technique et industriel. À chaque fois, le musée semble en effet échouer à faire vivre à ses visiteurs une expérience signifiante à l'égard de ce type de patrimoine. C'est pourquoi nous croyons que la contribution de Florent Laroche est une approche de type **IN VIVO** où le visiteur serait amené éventuellement à vivre une expérience en direct par le biais de la virtualité et de la simulation, plus spécifiquement. En tentant de croiser le génie mécanique et l'épistémologie des Sciences et Techniques, il a voulu conjuguer la matière et l'immatière, le savoir et le faire et c'est par un grand savoir-faire qu'il a réussi à les rapprocher à tout le moins. Je reviendrais sur son dernier schéma # 218 où il situe parfaitement bien le chemin qu'il a parcouru dans le cadre de cette thèse.

On peut dire que la phase A d'**Archéologie industrielle avancée** nous amène à la complétion du Dossier d'œuvre patrimoniale technique (démarche qui s'apparente aux dossiers montés pour la restauration d'œuvre patrimoniale) et de là commence une nouvelle phase (A2) que vous appelez Valorisation muséologique. Pourrions-nous envisager de nommer votre approche de **techomuséologie**, car elle concerne d'abord et avant tout l'univers des techniques et des sciences. La muséologie rappelle qu'il y a un public avec un horizon d'attentes de niveau élevé et que le musée devra tôt ou tard trouver des stratégies particulières pour l'atteindre? Est-ce que le terme **technomuséologie** satisfait le candidat, pourrait-on dire, comme un concept porteur de sa démarche épistémique dans son ensemble?

PS. Si je peux me permettre une dernière intervention: le LAMIC dans le contexte de votre dépôt officiel de thèse serait très intéressé de pouvoir vous accueillir éventuellement pour un stage post-doctoral.

H. BERNARD P. SERRAFERO J. GONEI M. COTTE A. GUILLERME

B. JACONY A. ARMAT Philippe Jubé