

Les outils de réalité virtuelle sont-ils applicables au patrimoine technique et industriel ?

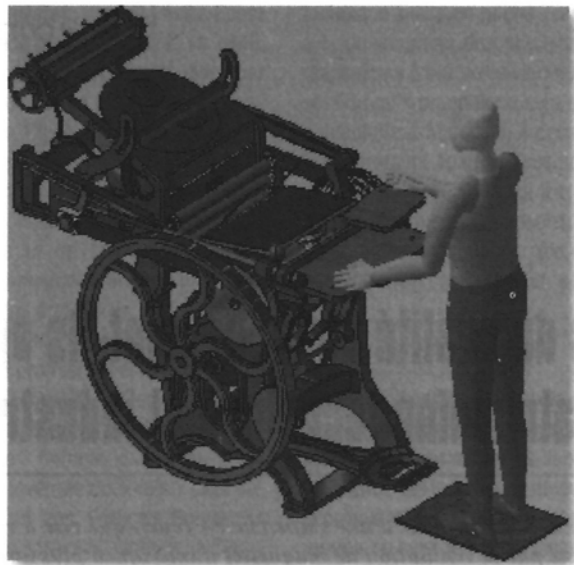
Le présent article essaie de dresser l'état d'une recherche en cours, qui vise à renouveler l'approche des objets techniques du passé par la réalisation de maquettes numériques, plus largement à s'interroger sur l'apport des techniques contemporaines de conception virtuelle dans la conservation et la transmission des connaissances. Cette recherche s'intéresse aux objets et aux machines anciennes, notamment à caractère mécanique et énergétique, mais pas exclusivement. Ceux-ci forment aujourd'hui un patrimoine technique et industriel complexe à appréhender, difficile à conserver, et souvent ingrat à mettre en valeur auprès des publics.

Ce patrimoine est par ailleurs soumis à un vieillissement rapide qui tend à le rendre désuet pour les uns et peu compréhensible pour les autres. Nous sommes dans une société paradoxale où l'hyper technicisation de la vie matérielle voisine avec le risque d'évanescence de toute culture technique, à commencer par sa dimension historique pourtant fondatrice de nos modes de vie matérielle présents. Plusieurs communautés de professionnels et d'amateurs sont, à notre avis, directement concernées : l'histoire des techniques et la question de la capitalisation des connaissances du passé, la muséographie et le patrimoine industriel, la pédagogie des techniques et la transmission d'une culture technique aux nouvelles générations, le lien passé – présent dans les processus d'innovation et de conception des objets, etc.

En retour, de multiples questions, des plus riches, se posent : la déontologie d'usage du numérique par rapport aux traditions des sciences historiques et à l'impératif de conservation du patrimoine réel ; le rôle de la variable « temps » dans l'histoire des objets et dans le fonctionnement des logiciels de visualisation ; la relation du réel matériel au virtuel et au conceptuel dans le présent, mais aussi dans le passé ; un retour critique sur la nature de la créativité technique et sur la compréhension de nos relations à nos environnements matériels ; l'interdisciplinarité entre les sciences pour l'ingénieur et les sciences humaines et sociales, etc.

Les techniques numériques de visualisation des objets

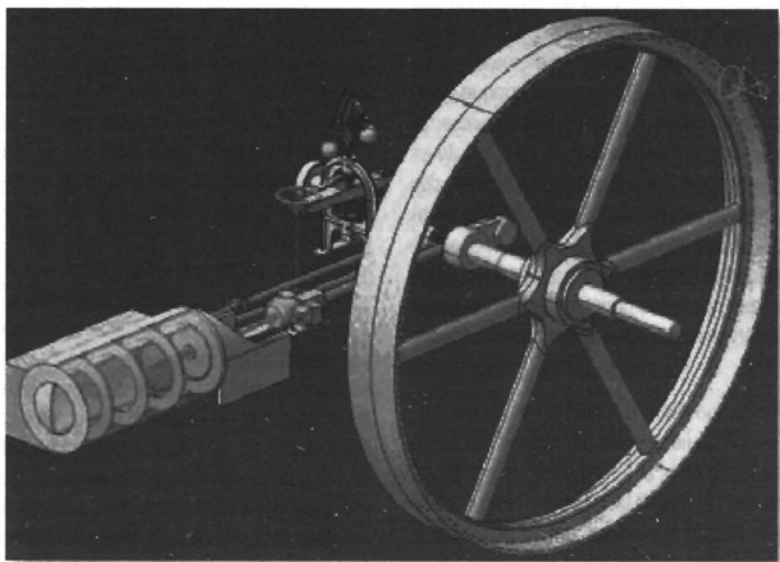
La question des maquettes virtuelles de patrimoine utilisant les techniques numériques de visualisation d'un espace matériel géométrique à trois dimensions (dit par la suite 3D) a une certaine ancienneté, ainsi qu'une légitimité et des utilisations pratiques aujourd'hui importantes et variées. Des logiciels graphiques permettent de mettre en perspective, au sens premier du terme, un monument, un site archéologique, un ensemble urbain, l'intérieur d'une pièce, etc., voire d'en recréer certaines parties altérées ou manquantes. Il est en outre possible d'installer la perception d'une visite, soit programmée par avance et qui se déroule comme une séquence filmée, ou encore de prévoir une interactivité entre le logiciel et un « visiteur », pour le coup rendu virtuellement mobile au sein du site. Celui-ci peut d'ailleurs décoller du sol pour survoler l'objet, comme un oiseau, et acquérir des visions en perspective peu simples à mettre en œuvre dans la réalité. Il peut alors chercher un meilleur point de vue, se rapprocher fortement de l'objet ou au contraire s'en éloigner pour une vision d'ensemble (fonction zoom). Il peut également y pénétrer, c'est-à-dire franchir l'épaisseur des murs, observer l'intérieur de la construction, normalement invisible, grâce aux possibilités de transparence des logiciels. Les fausses couleurs permettent de souligner



1- Presse d'imprimerie à pédale, début XX^e siècle

Machine existante et en état de fonctionnement, (Musée de l'imprimerie de Nantes)

Réalisation : IUT de mécanique de Nantes, IRCCyN Ecole centrale de Nantes, CFV-IHT Université de Nantes



2- Machine à vapeur Piguet, construite à Lyon (1890)

*Machine en pièces détachées dans les réserves de l'Ecomusée de la Communauté urbaine du Creusot
Montceau-les-Mines.*

Réalisation : UT Belfort - Montbéliard, CFV-IHT Université de Nantes

certaines composantes d'un édifice, d'identifier des sous-ensembles, des parties manquantes restituées, etc. Les logiciels permettent aussi de décomposer ou de recomposer à volonté l'édifice, par éléments, pour en comprendre la logique de construction, la structure interne, ses articulations ou ses différentes phases historiques.

Tout de suite, la puissance documentaire de l'outil numérique de visualisation « 3D » saute aux yeux, tout comme ses limites techniques et déontologiques. Nous sommes bien dans une « réalité virtuelle », si l'expression n'est pas en soi pas une contradiction !

Les possibilités pédagogiques de telles maquettes numériques sont bien entendu importantes, et elles peuvent fournir une aide certaine à la compréhension architecturale et technique de sites bâtis, d'ensembles urbains conservés ou archéologiques. Les publics, jeunes ou moins jeunes, des écoles ou des musées, peuvent bénéficier là d'une aide précieuse à l'interprétation de lieux historiques et patrimoniaux ; ils peuvent étudier des sites éloignés où ils ne sont jamais allés. Il est possible de reconstruire des villes du passé, à une époque donnée, si la documentation le permet. De nombreuses productions vidéos utilisent déjà et assez largement de telles approches pédagogiques virtuelles. C'est bien connu et c'est une première étape.

Il importe toutefois, et c'est une évidence, d'avoir une garantie scientifique sur les restitutions proposées. Il n'est pas toujours aisé, surtout pour l'utilisateur peu ou pas spécialiste de ces questions, à la fois historiques et techniques, de distinguer entre la reproduction fidèle du réel et des hypothèses fondées, entre des interprétations légitimes et des approximations fantaisistes ou carrément fausses. Seules des équipes scientifiquement reconnues, dans le domaine historique concerné et ayant une bonne maîtrise des logiciels « 3D », sont susceptibles de donner une garantie sur les restitutions virtuelles proposées.

La situation est à considérer sérieusement, pour au moins deux raisons. La première est liée à l'usage de tels outils par des professions assez diversifiées, pour lesquelles la déontologie concernant les sources historiques et leur usage n'est pas forcément une vertu cardinale. Nous pensons à certains « illustreurs » ou « cabinets en communication » qui, dans leur zèle de promotion touristique ou commerciale, peuvent faire un peu n'importe quoi en termes d'authenticité historique, sans forcément penser à mal. La seconde raison est complémentaire, aggravante en quelque sorte de la première. Il existe en effet deux catégories principales de logiciels : ceux qui respectent les lois du monde physique et ses impossibilités, qu'utilisent normalement les architectes et les archéologues, et ceux qui s'affranchissent de ces

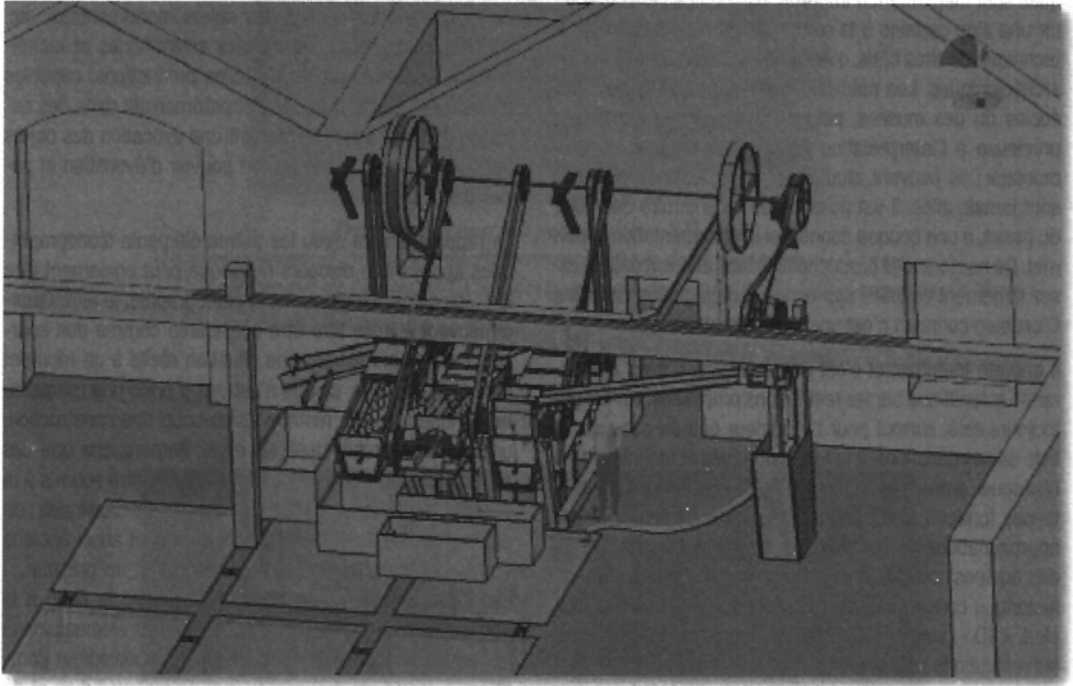
règles naturelles pour proposer les univers complètement virtuels des jeux vidéo ou des animations issues de l'imaginaire et non du réel matériel et historique.

Mais la situation est-elle si nouvelle que cela ? Et faut-il rejeter ces outils et leurs résultats sous le prétexte de leur complexité pouvant prêter à des présentations infondées ? La réponse est clairement non, car ces techniques, pour nouvelles et inédites qu'elles puissent paraître, ne font que continuer des traditions de présentation de résultats historiques fort anciennes qui, tout autant qu'elles, peuvent être sujettes au débat d'interprétation et d'inexactitude. Outre le récit historique, lui-même une restitution, il s'agit bien entendu de dessins pédagogiques et de schémas explicatifs, de maquettes matérielles des objets monumentaux, etc. Longtemps d'ailleurs, les musées scientifiques et techniques se sont enorgueillis de telles productions, capables d'illustrer la réalité historique et patrimoniale dans des espaces clos et limités, permettant une évocation des objets par des mises en scène au fort pouvoir d'évocation et accessibles au public².

Le rapprochement avec les autres éléments iconographiques appuyant le discours historique peut également être fait : les plans, les gravures, la photographie, le film. Ceux-ci peuvent à juste titre être considérés comme des sources, car ils enregistrent une situation réelle à un moment donné de l'histoire, ce que n'est pas *a priori* une maquette numérique qui, elle, restitue après-coup une construction, un ensemble architecturé, un objet. Remarquons que ces sources de nature iconographique doivent être soumises à la critique, tout comme les autres sources plus classiques ; en d'autres termes : les « effets spéciaux » sont aussi anciens que la photographie et le cinématographe ou presque... Les présentations numériques prêtent donc le flanc à la critique, mais ni plus ni moins que les autres éléments de la narration historique. En effet, elles sont à considérer comme une possibilité, parmi d'autres, de reconstitution et de présentation organisée des faits de l'histoire. À ce titre, elles prennent place à côté des restitutions écrites de l'historien, qu'elles sont amenées à compléter, à étayer ou à approfondir, comme à côté des présentations muséographiques classiques. Il est aujourd'hui nécessaire de les envisager comme telles, comme une augmentation de la réalité déjà existante : les objets, les scénarios de situation, les récits, l'iconographie, les cartes, etc. Les techniciens parlent volontiers de « réalité augmentée », un terme ici pleinement justifié.

Revenons un instant sur la double nature des logiciels graphiques et sur leurs relations au réel. Il existe aujourd'hui de nombreux logiciels qui peuvent s'affranchir des lois du

² Un exemple remarquable : la maquette animée d'un atelier de la Société Schneider à l'Ecomusée de la Communauté urbaine du Creusot - Montceau-les-Mines.



3- Machine à laver le sel de Batz-sur-Mer (début XXe)

*Machine semi artisanale complexe (400 pièces) à l'état de ruine irréparable, Musée du sel et des marais salants de Batz.
Réalisation : CFV-IHT, Université de Nantes, UT Belfort Montbéliard, IRCCyN, Ecole centrale de Nantes.*

monde physique : la pesanteur, les lois de l'équilibre, plus largement des lois de la nature. Ce sont par exemple les logiciens purement virtuels associés tant aux stations de jeux électroniques qu'à certains espaces de navigation Internet. Mais, là encore, ce n'est pas aussi nouveau qu'il peut nous paraître, car l'Homme a toujours su s'environner d'espaces virtuels puissants, nécessaires à son imaginaire mais parfois envahissants, et que les sciences humaines et sociales nomment volontiers des univers de représentations. Le réel a toujours côtoyé la fiction et l'imaginaire, et l'Homme a toujours su faire la part des choses, du moins dans le cadre des sociétés modernes et contemporaines faisant référence à la raison et à l'esprit critique. Ne confondons donc pas ces espaces de fictions avec la « réalité virtuelle », qui du coup prend du sens, pas plus que nos grands-parents n'ont confondu, au XIXe siècle, la naissance du dessin technique codifié et les gravures romantiques !

Le professeur sait spontanément discerner le roman de l'interprétation historique, l'imaginaire du réel. Il serait peut-être bon qu'il s'intéresse à ces nouvelles méthodes graphiques, qu'il y exerce son esprit critique en compagnie de ses élèves, pour ne pas passer à côté d'un outil aux possibilités remarquables et en pleine expansion. Il existe bien une « réalité virtuelle » utilisable par l'historien, l'archéologue et le muséographe, à côté de l'imaginaire pur des jeux et du cyberspace qui alimente la culture des jeunes générations. Il ne faut pas manquer cette nouvelle donnée permettant aussi de faire de l'histoire ; de l'histoire architecturale, technique et industrielle notamment.

Le rapport de la technique au temps : une question pour le passé comme pour le présent

La question des temporalités a marqué notre recherche, par sa double consonance fondamentale, tant dans le domaine de l'histoire et du patrimoine que dans celui de la technique et de la pratique industrielle. Il faut tout d'abord bien les distinguer. Il y a par exemple la temporalité propre de l'objet, à ne pas confondre avec celle de l'observateur. Quand par exemple nous évoquions, au point précédent, une visite « virtuelle » d'un site archéologique ou d'un ensemble bâti ancien, celui-ci est immobile et c'est l'observateur et lui seul qui se déplace en son sein. L'objet est figé, dans un espace géométrique donné ; il est éternel en quelque sorte, alors que c'est la temporalité du visiteur qui est fonctionnelle. C'est pourquoi nous parlons simplement de « 3D », malgré l'effet de visite qui n'est qu'une navigation dans un espace géométrique fixe.

Toutefois, les objets techniques ont une temporalité propre, plusieurs successives ou imbriquées en fait. Ils ont une

histoire qui commence par leur conception et leur mise au point, puis leur fabrication mécanisée dans l'industrie, leur présentation et leur vente au client, ensuite les usages que celui-ci en fait, à son rythme, enfin une fin de vie généralement comme déchet, recyclé ou non, et parfois comme... objet de patrimoine destiné à être conservé et présenté comme témoin d'une époque à un public !

La temporalité propre des objets les distingue entre eux. Une construction architecturale est par nature statique. C'est un bien immobilier, c'est-à-dire destinée à durer, à défier le temps, ce qui ne se fait pas, au passage, sans entretien ni interventions diverses de « modernisation » et parfois de « restauration ». Là encore il faudrait nous arrêter sur ces temporalités de nature différente, mais le bâti est stable, *a priori* durable, notamment dans sa dimension patrimoniale. Tout au contraire, une machine, un mécanisme, ont dans leur fonctionnement et leur usage quotidien une temporalité propre : la roue du moulin effectue trois tours en une minute, le mécanisme de l'horloge bat la seconde, le quartz de l'ordinateur a une fréquence de 1,8 Mégahertz, etc. Une des caractéristiques de ces mouvements mécaniques ou électriques est leur reproductibilité ; leur temporalité est de type cyclique ; ils se retrouvent dans le même état au bout d'une durée bien précise. Les notions physiques de période et de fréquence en découlent très directement. Cette temporalité cyclique est à la base du processus technique. Elle distingue les éléments dynamique de la mécanique (mouvement des pièces, cinématique) et de l'électricité (mouvement des charges, variation du champ électromagnétique) de la statique architecturale. Ces temps périodiques de base sont généralement de courte durée : minute, seconde, fractions de seconde. L'électricité puis l'électronique leurs ont fait franchir des bons impressionnants vers l'extrêmement bref, à la source justement des techniques numériques et de traitement de l'information complexe.

D'autres temporalités viennent ensuite se superposer à ces temps répétitifs propres aux mécanismes. Si, par exemple, la machine est un outil industriel, son rythme de base est directement associée à d'autres : celui des hommes qui font fonctionner les machines, la production de l'atelier, etc. Ce sont les temporalités de la relation homme – machine, puis de son contexte socioéconomique ; elles sont au cœur même de la pratique technique et industrielle, lui donnant véritablement tout son sens. On peut même dire que leur maîtrise est une obsession du monde industriel, aux formes et noms différents : vitesse, productivité, organisation scientifique du travail, etc. Cette obsession est étroitement liée à l'idée de rationalisation d'un côté, à laquelle les sciences pour l'ingénieur sont particulièrement attachées, et de coût de production de l'autre. Ce dernier point est en rapport direct avec la notion de marché économique et de capitalisme. On sait fort bien, et depuis longtemps notamment dans l'histoire industrielle américaine, qu'il y a deux options industrielles

fondamentales, à la fois antagonistes et complémentaires, en relations étroite avec le temps et l'argent : la mécanisation et l'intensification de la production de masse d'un côté (les investissements), les industries de main d'œuvre et le savoir-faire de l'autre (la valeur du travail humain). La machine, le processus technique de production, le geste ouvrier, l'organisation du travail dans l'atelier reviennent alors en force, au centre même des valeurs techniques et industrielles. Ceux-ci devraient donc être logiquement placés au cœur des préoccupations patrimoniales et muséographiques.

Il faut toutefois noter que l'effort en direction du patrimoine industriel a longtemps privilégié les enveloppes architecturales, certes plus robustes dans le long terme que les machines. Ces dernières sont plus rapidement vendues ou ferrailées que les friches d'usines ne sont reconverties dans beaucoup de régions de déprise industrielle intense³. Il faudrait s'interroger plus longuement sur cette dérive architecturale, notamment en France pays prédisposé culturellement à ce type de patrimoine, tant privé que public. Par ailleurs, un site industriel est forcément appelé à se renouveler rapidement, en termes d'architecture, pour coller aux besoins d'évolution des processus eux-mêmes et des niveaux de production. Ses fonctions d'enveloppe protectrice et d'organisation de la logistique du site ne cessent d'évoluer au cours du temps, et un lieu industriel qui ne changerait pas sur la durée serait sans doute peu actif et marginal. L'usine même est une structure évolutive et sa « patrimonialisation », en quelque sorte, l'arrête dans le temps, ce qui n'est pas sans poser problème pour sa signification historique. R. Belot et P. Lamard ne disent-ils pas que le site de Sochaux, la plus grande usine française du XX^e siècle, est un chantier permanent depuis son ouverture en 1917⁴ ?

Une action de patrimoine industriel qui ne prendrait en compte que la dimension architecturale, soit par choix esthétique soit parce qu'il n'est plus possible de faire autrement sur un site vidé de ses contenus techniques et humains ou totalement reconverti, est une action forcément tronquée et pauvre. Tout d'abord, en référence à ce que nous venons d'écrire sur la temporalité spécifique du bâti industriel, ce n'est que l'examen de la dernière strate d'un ensemble qui a certainement évolué dans son histoire, à plusieurs reprises. Cette démarche est peut-être même épistémologiquement fautive, puisqu'elle tend à « artialiser⁵ » et donc à figer l'objet dans le temps, à le dépouiller définitivement de sa structure temporelle essentielle. Disons plus pratiquement qu'il faut sérieusement s'in-

terroger sur le sens de ce qui reste au regard d'une histoire globale d'un site industriel⁶.

Faut-il insister pour dire que, la plupart du temps, les machines présentées dans les musées sont en situation statique, c'est-à-dire arrêtées ? Que les processus d'atelier sont au mieux évoqués, mais généralement à l'arrêt ? C'est qu'il est simplement difficile de faire autrement, et le plus souvent impossible. Si une machine ou un processus technique fonctionne encore, dans un musée ou sur un site de patrimoine, c'est en règle générale une attraction recherchée. Nous savons les difficultés et les coûts associés à de telles performances : une machine maintenue en état de fonctionnement, les ouvriers possédant encore le savoir-faire d'usage, les techniciens capables d'effectuer l'entretien et la maintenance, etc. Il s'agit souvent de situations difficiles à pérenniser et qui s'arrêtent par décès du dernier ouvrier compétent ou l'impossibilité de réparer la machine, ou encore son incompatibilité avec les règles de sécurité actuelles, notamment d'accueil des publics. On prend la mesure du savoir et du savoir faire associés à l'état dynamique de fonctionnement d'une machine. Elle a d'ailleurs été faite pour cela, pour fonctionner, pour être en situation d'usage, et non pour une immobilité dangereuse à sa survie.

Alors, évidemment, une machine au fond d'un musée, dans une réserve, c'est bien ; c'est infiniment mieux que pas de machine du tout. Mais combien de temps garde-t-elle vivante les connaissances et les dynamiques sociales de son usage ? Combien de temps faut-il pour qu'elle meure une seconde fois ? Nous savons bien entendu redonner vie et sens aux machines, aux ateliers, aux usines par l'étude historique, quand des sources sont disponibles, par le témoignage des photos et des films si l'époque historique le permet. Nous ne négligeons pas, bien entendu, les efforts passés et présents de la présentation des éléments techniques et humains du patrimoine, notamment le regain d'intérêt pour l'iconographie des techniques dans d'excellents ouvrages récents⁷.

La question de la capitalisation des connaissances techniques et de sa transmission

Arrêtons nous un instant sur le concept de vieillissement puis d'obsolescence d'une machine. Nous avons toujours

³ C'est évidemment très différents dans les grands ensembles urbains comme en région parisienne, où la valeur immobilières des friches industrielles est élevée.

⁴ Robert BELOT et Pierre LAMARD, *Peugeot à Sochaux, des hommes, une usine, un territoire*, Panazol, La Vauzelle 2007.

⁵ Le terme est de Jocelyn de NOBLET, au sens de transformer en art ce qui n'était pas initialement destiné à cet effet, tout particulièrement les objets et installations industrielles.

⁶ Nous renvoyons à l'ouvrage exemplaire de Robert BELOT et Pierre LAMARD, *op. cit.*

⁷ Louis BERGERON, *Le patrimoine industriel américain*, Paris, Hoëbeke, 2000 ; Denis WORONOFF, *La France industrielle*, Paris, Editions du Chêne, 2003 ; Robert BELOT et Pierre LAMARD, *op. cit.*

été frappé par la rapide dégénérescence des connaissances associées à une machine qui s'arrête, fut-elle protégée dans un musée. La perte d'information est d'une nature double, technique et humaine. Son arrêt signifie généralement la dispersion des compétences associées à son fonctionnement. Les hommes font autre chose ; ils passent à de nouveaux modèles ; mais parfois ils changent totalement d'activité, parce que l'usine s'arrête ou se reconvertit à de nouvelles technologies. Tant que la machine est dans une filière technique active, ce n'est pas encore une véritable difficulté. La connaissance des hommes évolue mais elle demeure, un peu différente ; on saurait faire remarquer l'ancienne machine si nécessaire ; il est encore possible de trouver des pièces détachées, pour certaines des ateliers capables d'en refaire. Nous sommes dans l'évolution du système technique, pas encore dans une rupture. Par exemple, arrêter une machine à vapeur tant qu'il y a d'autres machines à vapeur en fonctionnement à proximité, ce n'est pas un problème trop grave. Mais quand le système technique de la vapeur est supplanté par d'autres énergies, en quelques années entre 1950 et 1970, cela devient plus délicat. Dans ce cas, et fort heureusement, des niches de savoir-faire ont demeuré, avec les amateurs du patrimoine des locomotives à vapeur encore en activité, et qu'il faut saluer⁸ ; mais c'est plutôt une exception !

Il est toutefois possible de retrouver la connaissance technique des machines anciennes ou abandonnées, mais c'est rapidement difficile et nous pensons que plus le temps passe et plus cela est délicat. Il y a même sans doute des points de non retour, au-delà desquels les dommages de connaissances sont irréversibles. C'est une question de compréhension profonde d'un système technique à un moment donné. Et il nous semble évident que nous sommes en train de sortir à toute allure, si ce n'est déjà fait, d'un système de types mécanique et électrique (ou électromécanique) pour entre dans un nouveau dominé par les régulations électroniques et la gestion informatique des systèmes (ou mécatronique).

Il existe bien entendu de la documentation technique, de l'information écrite, des plans, des descriptions. Mais qui parmi nous ne s'est jamais plaint de leur côté rébarbatif et parfois totalement hermétique ? Il faut souligner l'excellente qualité de la documentation technique en langue française, du début du XIX^e siècle jusqu'à la Seconde guerre mondiale, notamment par les revues professionnelles et les ouvrages techniques. Mais plus le temps passe et plus il devient difficile de bien l'assimiler, d'être sûr de la comprendre dans son contexte d'utilisation, surtout dans une perspective d'interprétation technique d'une machine ou d'un processus

complexe. Des pans entiers de machines et de mécanismes tombent alors dans l'oubli, sauvés quelquefois par des musées techniques ou par des collectionneurs privés pour des objets pas trop encombrants. Les difficultés sont bien là : taille des machines, diversification extraordinaire des modèles et ouverture d'innombrables domaines techniques nouveaux, évolution vers le gigantisme ou la miniaturisation des solutions. Avec l'électronique et les microprocesseurs, les objets sont devenus de véritables « boîtes noires » dont les contenus réels sont maîtrisés par les seuls spécialistes du domaine, dont les compétences évoluent d'ailleurs très rapidement... Les objets de la consommation de masse sont faits pour être achetés, pour être utilisés, pour être renouvelés, mais pas pour être compris ! Les *Merveilles de l'industrie*⁹ sont aujourd'hui devenus des mystères, et elles appartiennent à une autre époque...

Dans l'esprit de notre approche du patrimoine technique, les dessins techniques et les plans ont un intérêt archivistique primordial. Ce sont malheureusement les documents qui disparaissent le plus rapidement, par leurs dimensions et leur côté encombrant ! Le dessin technique a lui-même suivi un important processus d'évolution, vers une rationalisation codifiée en particulier. La perspective n'était-elle pas un formidable moyen nouveau de représenter l'espace géométrique à trois dimensions sur une feuille de papier plane, en d'autres termes de faire de la « 3D » sur un support « 2D » ? Il est inévitable pour une description technique d'associer le dessin au texte, l'image à la description par le langage. La photographie puis le film documentaire ont également apporté des éléments documentaires des plus précieux. Le cinéma ajouta pour la première fois un témoignage visuel de la temporalité des processus techniques et industriels : le geste du travail, le rythme de la machine. Notre proposition d'utilisation du numérique se situe dans la continuité directe de ces étapes déjà anciennes. Elle les renouvelle et les approfondit.

Il faut également se souvenir que les collections d'objets et de machines sont des pratiques relativement anciennes. On les trouve par exemple en bonne place dans certains cabinets de curiosités du XVIII^e siècle, où les instruments et matériels scientifiques, les automates se remarquent. Lors de la création du Conservatoire des arts et métiers, en 1794, l'une de ses fonctions principales était de conserver et d'entretenir des collections de machines et d'objets à caractère technique, des maquettes fonctionnelles également. Le but initial de cette conservation était la formation technique par la démonstration et l'apprentissage de la pratique de ces matériels. Les premiers pédagogues du Conservatoire furent des « démonstrateurs », les profes-

⁸ Ils sont fort nombreux en Angleterre ; en France et, parmi d'autres, signalons le chemin de fer à vapeur du Vivarais, celui du Creusot.

⁹ Clin d'œil bien entendu aux séries d'ouvrages de Louis FIGUIER, dans la seconde moitié du XIX^e siècle : *Les merveilles de la science et Les merveilles de l'industrie*.

seurs ne sont venus qu'ensuite, et le rôle muséographique de présentation des collections au public encore après. L'exemple français n'est pas isolé, d'autres grandes institutions scientifiques ou techniques ont joué un rôle similaire de conservation de collections de machine, comme le Science Museum à Londres, un peu plus tard les musées techniques de Vienne et de Munich, d'autres encore à des échelles nationales ou provinciales. Nous sommes-là aux origines des musées techniques. Toutefois, ces institutions se sont confrontées à des difficultés considérables dans la recherche de l'exhaustivité avec la prolifération des techniques et des modèles, notamment à partir de l'Entre-deux-guerres. Des collections par filières techniques ont tenté de prendre le relais, mais d'une manière très inégale. S'il y a une quantité de musées de l'automobile ou évoquant le papier à la cuve, bien peu sont consacrés à d'autres branches comme le génie chimique ou la machine-outil. Les présentations sont très inégales par ailleurs et les démonstrations, quand elles existent, touchent souvent plus à l'artisanat qu'à la pratique industrielle. Le mouvement des écomusées et du patrimoine industriel sont plus tardif encore, le premier s'étant centré sur la dimension sociale et territoriale des activités matérielles, le second a longtemps focalisé son militantisme sur l'architecture industrielle et il ne s'est préoccupé que récemment de la dimension globale et dynamique des processus à l'œuvre dans la technique et l'industrie.

Bref, les machines du passé sont aujourd'hui des vestiges plus ou moins bien conservés et plus ou moins bien documentés ; elles sont rarement en état de marche et tendent à devenir rapidement des machines inertes en grande partie vidées de leur sens. Même pour les plus grandes institutions, la question de la conservation des connaissances du passé et de sa transmission aux générations à venir est un véritable challenge ; un challenge de nature quantitative et sur les moyens pour y parvenir.

Le détour du patrimoine technique par les sciences pour l'ingénieur, la CAO

Lorsqu'on se pose des problèmes comme ceux que nous venons d'examiner rapidement, il est au fond assez naturel de se tourner vers le monde des techniciens et les ingénieurs, héritier direct et continuateur des dynamiques industrielles dans le temps présent. Il y a évidemment des sensibilités diverses à ce type de question venue de l'extérieur, si c'est par exemple un historien qui la pose. Il faut toutefois souligner l'excellent accueil fait par plusieurs chercheurs en mécanique et en conception. Un peu surprenant au premier abord, il repose sur une proximité de questionnement en

des termes certes différents et pour des finalités propres, ce qui est légitime. Il s'agit par exemple de la question de la capitalisation des connaissances, des comportements à l'œuvre dans l'acte de la conception innovante, des logiques de développement d'un produit et de ses variantes dans le temps long de son histoire, du rôle joué par les systèmes sociotechniques, du rapport réel – virtuel dans le développement de la pensée technique (le pensable et le possible), etc. Outre l'intérêt intrinsèque de tels échanges, une collaboration peut s'esquisser assez rapidement autour d'un projet de patrimoine commun, qu'il est parfois possible de partager avec un musée ou une entreprise d'aujourd'hui. La question se précise donc : comment rendre compte, avec les outils techniques d'aujourd'hui, du patrimoine d'hier ?

Évidemment, en termes techniques, les notions de cinématique (évolution géométrique du mouvement) et de dynamique (aspects volumiques et lois physiques du mouvement) d'une machine sont des références de base ; et les outils contemporains pour les traiter aussi. Il s'agit de la CAO (conception assistée par ordinateur) et du DAO (dessin assisté par ordinateur). Nous rentrons-là, et frontalement, dans le domaine des techniques de visualisation numérique que l'on peut effectivement qualifier de « réalité virtuelle », les mots trouvant leur sens. Tout de suite, ces logiciels se distinguent de ceux évoqués dans notre premier point par leur rapport au temps et au monde physique. La CAO en particulier intègre non seulement l'aspect géométrique statique propre aux images 3D de l'architecture et du dessin, mais aussi la fameuse variable temps, par la restitution de la temporalité de fonctionnement de la machine. C'est pour cela que la 3D dynamique de la CAO est appelée « 3D + t ». C'est un apport essentiel, comme l'a été en son temps le cinéma par rapport à la photographie, qui ne devrait pas laisser indifférent l'historien, lui aussi un spécialiste du temps...

Soulignons tout d'abord la continuité, en même temps que le renouvellement profond des pratiques, entre l'héritage du dessin industriel et l'outil de la CAO d'aujourd'hui. Il s'agit d'un progrès conceptuel remarquable qui fait que nous vivons (les mécaniciens pour le moins), un changement peut-être comparable à l'introduction de la perspective à la Renaissance. Elle avait ajouté par un artifice génial de géométrie la troisième dimension au dessin plan ; la CAO rajoute depuis une dizaine d'années la quatrième dimension, celle du temps. L'une des conséquences est bien entendu une évolution radicale de la formation pédagogique à la visualisation de l'objet technique, par une marginalisation aujourd'hui quasiment achevée du dessin technique sur la table à dessin, au profit des outils de visualisation numérique. C'est précisément un exemple de rupture au sein du système sociotechnique que nous évoquions précédemment ! Un procédé aux moyens techniques totalement différents a remplacé le précédent.

L'idée simple que nous avons alors essayée de réaliser ensemble a été de proposer à des étudiants en formation technologique de réaliser, sous le contrôle d'un duo historien – sciences pour l'ingénieur, une maquette numérique d'une machine ou d'un objet technique du passé. Nous en avons réalisé à ce jour une bonne dizaine¹⁰, avec différents partenaires d'accompagnement dépositaires des machines ou intéressés dans leur visualisation numérique.

La réaction première de l'historien ou du spécialiste du patrimoine est un esprit critique devant ce qu'il ressent comme un basculement dans le virtuel, à l'état pur, parfois comme un substitut dangereux à ce qui est à ses yeux essentiel : l'objet réel, témoin irréfutable du passé, fut-il une ruine incomprise ou une machine en train de rouiller. Le virtuel serait l'alibi parfait pour se débarrasser des vestiges encombrants du passé ! Il y a dans de telles inquiétudes une part de phantasme, que nous relient au combat militant pleinement légitime et souvent difficile pour conserver les objets du patrimoine industriel passé, notamment ses grandes installations monumentales ; peut-être aussi une part d'inquiétude devant de nouvelles technologies peu familières au profane, surtout un peu âgé ou loin du monde technologique d'aujourd'hui... Disons-le nettement, nous n'avons jamais constaté de désintérêt pour l'objet matériel reconstruit en CAO, mais, au contraire, une forme d'enthousiasme à constater sa renaissance et sa dynamique retrouvée dans l'espace virtuel, à commencer par ses dépositaires et par les derniers témoins de son fonctionnement quand ils existent. Cet objet réel mais mort, pour le moins en péril, leur a donné le sentiment de revivre, de retrouver sa fonction technique première.

Si l'historien hésite devant une machine virtuelle, il n'en va pas de même du technicien ou de l'ingénieur. Elle est pour lui un détour incontournable et extrêmement utile, y compris pour une action de sauvegarde du patrimoine. Il a besoin de passer par une telle étape, par exemple pour une restauration visant à une remise en état. La maquette CAO est en fait le résultat d'une étude approfondie de la machine, dans sa dimension technique, qui en fait un objet intermédiaire de capitalisation des connaissances que comporte la machine étudiée. Pour la réaliser, il a dû accomplir des tâches de saisie de données géométriques, puis de compréhension détaillée du rôle de chaque pièce, de leur corrélation dans un ensemble. Il est obligé de réaliser une véritable reconception de l'objet, de comprendre en profondeur par où sont passés ses devanciers, ceux qui ont conçu et construit la machine réelle. La maquette CAO permet aussi une évaluation des plus intéressantes de la

machine ancienne, car cet outil a précisément été créé pour anticiper le comportement réel d'un dispositif au cours de ses usages, et dans les différentes temporalités techniques que nous avons précédemment évoquées : usure, déformations, points faibles structurels, optimisation de fonctionnement, etc. Rappelons que c'est par de tels outils, bien entendu extrêmement professionnels, que sont aujourd'hui conçus les automobiles, les avions, etc¹¹...

Nous touchons ici à un rapport essentiel entre le virtuel, expression de la pensée technique à l'œuvre, et la réalité matérielle des objets à venir ; une dualité qui a toujours existé mais dont la richesse profonde a souvent échappé aux historiens. Ils en sont cependant très proches, car ce sont eux, avec les anthropologues et les sociologues, qui ont insisté sur la notion de représentation et sur son importance dans la compréhension des comportements humains et des sociétés du passé. Il s'agit donc là d'une représentation, que l'on peut qualifier d'objective via l'outil CAO, puisque celui-ci respecte par définition même les lois physiques du monde naturel. Plus largement, il s'agit d'un exemple de modélisation du réel, un rôle classiquement joué par les sciences depuis l'époque moderne en Europe, et qu'étend aujourd'hui largement le traitement informatique des données numériques.

Esquisse d'une méthodologie de la documentation numérique

Terminons ce tour d'horizon par quelques indications sur les orientations méthodologiques de l'usage des techniques numériques dans nos approches du patrimoine industriel. Le point de départ est exactement celui auquel se confrontent l'archéologue et l'historien : les sources fournies par le terrain et les archives. Nous avons évoqué les premières par ce que nous lègue l'héritage industriel : les machines non vendues ou non ferrallées, le dernier état du foncier et du bâti. Redisons un mot de la richesse potentielle des archives, mais leurs lacunes aussi : les textes imprimés et manuscrits bien entendu, mais aussi les plans, les photos, les films qui témoignent de la dynamique des procédés et des gestes du travail, la mémoire orale, etc. Joint à la technicité de beaucoup de données, souvent rebutantes pour l'historien, cela donne souvent un fond de difficulté à l'exploitation des sources historiques des techniques et de l'industrie. Rappelons notre opinion sur le fait que l'historien ne doit pas travailler seul sur ce type de documentation, et que des équipes mixtes doivent être constituées, par exem-

¹⁰ Par les équipes citées à la note 1) et les étudiants de l'IUT de mécanique de Nantes sous la responsabilité de Sébastien Le Loch.

¹¹ On peut par exemple citer parmi les plus évolués du marché les logiciels de la firme Dassault System, dans les séries CATIA et DELMIA, mais il en existe de moins complexes.

ple pour des projets et des stages d'étudiants, comme cela se fait depuis longtemps aux États-Unis. Nous ne dérogeons pas à la méthode historique, nous cherchons simplement des alliés et un dialogue en mesure de nous aider à comprendre, notamment la dimension internaliste de l'objet technique.

La compréhension des fonctions et des mécanismes de la machine constitue une étape importante du travail sur l'objet lui-même, ou sur ce qui en reste, et sur la documentation technique associée, notamment les plans quand ils existent. C'est une analyse technique de l'objet, en fait une méthode de travail de base appelée analyse fonctionnelle en mécanique. Le résultat vient se joindre à la recollection classique de la documentation historique et archéologique. Le résultat de l'analyse fonctionnelle se présente sous forme de tableaux logiques puis de schémas de fonctionnement indiquant le rôle de chaque composant ; c'est une forme de synthèse des connaissances techniques acquises sur l'objet. Dans la démarche du technicien, cette étape précède généralement le passage à la table à dessin, qui consiste à préciser les dimensions, les volumes et la place respective de chaque composant, ses conditions de fonctionnement dans l'ensemble.

La constitution de la maquette numérique reprend ces fondamentaux, mais dans le cadre d'un outil logiciel. Épistémologiquement, il n'y a pas de rupture : le détour de la pensée technique par un support dessiné précède largement l'apparition de cet outil contemporain, et il fait partie de manière consubstantielle de l'objet technique, notamment dans sa phase de conception. Ce qui est nouveau, en fait, c'est la démarche de l'historien qui, grâce au logiciel informatique de CAO, opère un retour sur le passé, alors que l'usage normal pour la conception des objets est une projection dans un avenir proche : celui d'une réalité matérielle en train de se préparer... En termes mécaniques, notre projet propose une reconception à la place d'une conception, et l'ensemble virtuel produit a le même statut que le jeu de plans et les notices techniques autrefois associés à une machine par son constructeur. Leur réalisation fait simplement suite à l'établissement de l'objet et ne la précède pas. Mais les exemples de dessins après-coup de machines ou d'objets techniques ne sont pas rares. La nouveauté est donc très relative !

Le débat sur la méthode concerne l'authenticité de la reconception effectuée, son degré de précision, les hypothèses faites sur d'éventuelles parties incomplètes ou difficiles à interpréter. Ce n'est pas très différent d'un travail de restauration, et cela peut être une étape possible de remise en état fonctionnel de l'objet. Nous touchons-là aux limites de notre connaissance, en lien direct avec la déperdition de l'information précédemment évoquée. C'est également là qu'intervient une pratique déontologique de la restitution de l'objet. Mais cela est-il fondamentalement différent des choix

de l'historien et de l'éthique de son récit ? Probablement pas. Toutefois, n'ignorons pas les artifices possibles permis par les logiciels d'imagerie pure et les perversions extrêmement commodes auxquelles ils peuvent ouvrir la porte.

Dans le travail que nous effectuons, l'étape des dimensions et des volumes occupe une place cruciale. Il s'agit d'extraire des données chiffrées des sources, c'est-à-dire de la machine vestige et de ses plans, parfois seulement de l'un des deux. Si la machine existe seule, c'est une reconception qui restitue les plans par la CAO. Si l'on dispose seulement des plans, la démarche s'apparente alors à la reconstruction d'un objet disparu. Il est bien entendu possible d'agir manuellement, comme dans nos premières études, mais c'est un travail long. Signalons qu'il existe aujourd'hui des techniques de saisie automatique et de numérisation des coordonnées géométriques des surfaces des objets existants : photogrammétrie, théodolite ou scanner à balayage laser. Ces outils sont typiques de l'acquisition rapide de données spatiales, à partir des objets réels. Le résultat est un nuage de points numériques qui s'enregistre dans une base de données informatique. Ils représentent les données géométriques de la machine à l'arrêt, que l'on traite ensuite en combinaison avec les résultats de l'analyse fonctionnelle et des premières esquisses cinématiques dans la réalisation de la maquette numérique¹².

Une fois le travail abouti, la maquette numérique donne donc une synthèse dynamique achevée de l'objet technique. À propos de sa qualité, nous pouvons parler de finesse de réalisation ou même de grain, comme pour une photographie. Cela dépend d'une part du degré de précision autorisé par les sources ainsi que de l'importance du travail d'investigation réalisé, de sa qualité, d'autre part des limites propres du logiciel impliquant notamment son excès de perfection dans certains cas. Rappelons que les logiciels de CAO respectent les lois géométriques et physiques présentes dans la nature, et qu'un objet de réalité virtuelle mal reconçu ou incorrect ne fonctionnerait pas. Le degré d'authenticité déjà évoqué dans la démarche se retrouve bien entendu dans le résultat final de la maquette, dans l'appréciation des écarts ou des lacunes à l'objet réel en fonctionnement, si tant est qu'on puisse les repérer et les évaluer.

Citons un exemple : dans la restitution de la machine à laver le sel de Batz-sur-Mer (44), la transmission de l'énergie se faisait par un arbre mécanique, des poulies et des courroies de transmission ; une solution autrefois extrêmement fréquente. D'une part les courroies en fonctionnement, objet déformable par excellence, ont été difficiles à modéliser ; d'autre part, le modèle numérique réalisé est « parfait », c'est-à-dire qu'il ne sait les représenter que tendues ! Or,

¹² Michel COTTE et Samuel DENIAUD, « Conception assistée par ordinateur et patrimoine, perspectives innovantes », *L'archéologie industrielle en France*, 46, juin 2005, p. 32-38.

tout le monde sait, du moins dans la génération des seniors (ici les professeurs et les conservateurs du musée) qu'une courroie doit avoir du ballant, c'est-à-dire être un minimum détendue pour fonctionner convenablement, notamment au démarrage du système de transmission sous peine de casser la courroie ou de la déjanter. Le fait que le doctorant et l'ingénieur stagiaire en charge de la réalisation de la maquette n'aient absolument pas situé le problème est intéressant, non pas comme une lacune de leur part car ils ont fait ce travail d'une manière à la fois brillante et passionnée, mais comme signe du changement de système technique en cours. Ils n'avaient tout simplement jamais vu fonctionner de tels systèmes dans la réalité, et le modèle n'intégrait pas un tel savoir, plus proche d'un savoir faire que d'une connaissance scientifiquement codifiée. C'est d'autre part un excellent exemple du décalage d'authenticité entre la maquette numérique réalisée et l'objet de patrimoine réel, qui existe pour partie dans la culture même des individus, pour le moins dans une mémoire d'observation.

La documentation initiale à propos de l'objet et l'acquisition des données géométriques et physiques constitue l'étape A de notre projet. L'idée est aujourd'hui de proposer une étape B, d'ordre complètement numérique. Elle permettra la constitution d'un dossier d'œuvre numérique qui associe la maquette dynamique et une base de données formée par la compilation ordonnée du travail documen-

taire. Elle apportera simultanément le résultat dynamique global restituant le fonctionnement matériel de l'objet et un accès accéléré à la documentation existante numérisée. Elle formera une synthèse intelligible de l'ensemble des connaissances disponibles associées à cet objet : son fonctionnement et les conditions de ce fonctionnement, son environnement matériel et humain, son contexte de création et d'utilisation. De nombreuses questions de recherches émergent-là : lien avec les autres machines, place dans un processus industriel d'ensemble, relation homme machine et ergonomie d'usage, flux amont et aval, énergie, lumière et ambiances, lien avec les données sociales et économiques de l'entreprise, etc. Cette démarche devrait, à notre avis, dans les années à venir, compléter heureusement les pratiques existantes de documentation du patrimoine. C'est sans doute une dimension originale du patrimoine technique et industriel de pouvoir bien se prêter à une telle synthèse numérique. L'utilisation que l'on pourra ensuite faire du dossier d'œuvre numérique que nous proposons est une autre étape, C, fonction des demandes de valorisation que feront les partenaires suivant leurs objectifs propres. À eux de définir un cahier des charges et un scénario d'usage en fonction de leurs besoins : pédagogie et transmission des connaissances, muséographie et animation de sites de patrimoine, histoire des techniques, nouvelle méthode d'archivage pour le futur, etc.