

## ***Original et copie à l'épreuve du regard scientifique***

**Jean-Louis Boutaine**, responsable honoraire du département recherche du Centre de recherche et de restauration des musées de France (C2RMF)

*Après avoir réfléchi à l'origine et au sens de mots voisins tels que copie, double, épreuve, fac-similé, maquette, modèle, on tentera de montrer comment s'instaure un aller-retour entre « original » et « fac-similé » et quelle peut être la contribution du « regard scientifique », soit pour mieux copier, soit inversement pour « mieux » créer. On rappellera quels problèmes les sciences et techniques peuvent contribuer à résoudre dans les domaines de la connaissance et de la conservation/restauration des œuvres du patrimoine. Afin de montrer que le patrimoine culturel n'est pas une « citadelle close » et que les problématiques auxquelles ses acteurs sont confrontés, sont assez universelles, on illustrera ces allers et retours par des exemples pris dans diverses disciplines : métallurgie, aéronautique, mécanique des fluides, mais aussi pigments préhistoriques, dessin, peinture, verre... On évoquera aussi la copie lors du passage d'une culture à une autre ainsi que la variance ou l'invariance dans l'héritage ou la transmission au sein d'un atelier. Tous ces exemples n'ont d'autre but que de favoriser le métissage et la transversalité.*

La question de la reproductibilité est sans aucun doute une notion qui tient une place importante dans nos sociétés industrielles modernes. Quoiqu'on puisse en penser, elle concerne aussi le domaine du patrimoine et ce n'est pas un hasard si les professionnels utilisent de façon courante la science et ses techniques pour traquer jusqu'au cœur de la matière des raisons objectives pour valider ou infirmer l'authenticité d'une œuvre d'art, et dans ce dernier cas lui attribuer l'épithète de faux, de copie, de réplique, etc.

Afin d'explorer quelles pouvaient être les interactions, les allers-retours, les éventuels conflits terminologiques entre « original » et « copie », il nous a semblé nécessaire de regarder ce que les lexicographes disent du sens, de l'origine, de la date d'apparition des termes tels que copie, fac-similé, maquette, modèle, réplique, reconstitution... On trouvera en annexe une synthèse faite à partir du Dictionnaire historique de la langue française et du Petit Robert. Voici ce qui concerne les mots principaux :

- copie (1219) : reproduction d'un écrit (voir : calque, double, imitation, épreuve, fac-similé, reproduction, plagiat) - (XVIII<sup>e</sup>) : copie conforme, reproduction d'une œuvre d'art originale

- fac-similé (1796) : reproduction exacte d'un écrit, d'un dessin (voir : copie, reproduction)

- maquette (1752) : ébauche, modèle en réduction d'une sculpture, esquisse d'ensemble d'un panneau décoratif, modèle réduit de décor de théâtre, d'un bâtiment, d'un ensemble architectural, reproduction à échelle réduite ou grandeur nature destinée aux études de prototypes

- modèle (1542) : ce qui sert ou doit servir d'objet d'imitation pour faire ou reproduire quelque chose (voir : archétype, canon, étalon, exemple) - (XIX<sup>e</sup>) : objet, type déterminé selon lequel des objets semblables peuvent être reproduits à de multiples exemplaires (voir : standard, type); (XX<sup>e</sup>) : modèle virtuel, modèle mathématique, modèle informatique

- réplique (1480) : reproduction – (1690) : répétition d'une note à l'octave - (1875) : simulacre, chose qui en répète une autre, œuvre semblable à un original
- reconstitution (1859) : action de reconstituer une chose disparue.

On se rend compte que ces termes, tous utilisés actuellement dans le domaine de la conservation du patrimoine culturel, sont apparus progressivement et ont concerné à l'origine des disciplines différentes (beaux-arts, imprimerie, théâtre, musique, architecture...) ou d'autres activités humaines, quitte ensuite à migrer vers d'autres significations.

Lorsqu'on examine le thème original/copie du point de vue des sciences, deux voies de réflexion s'offrent à nous :

- la voie « analogique », telle que celle pratiquée par Paul Robert et Alain Rey dans la conception de leur *Dictionnaire analogique de la langue française*.

- la voie « topographique » comme dans le méta-moteur de recherche *Kartoo*<sup>1</sup>.

Enfin, ce thème a fait surgir des images de notre mémoire : ainsi le radeau *Kon-Tiki*, ou encore le bombardier Avro *Vulcan* ainsi que le bronze des cloches.

## **Relativité de la notion de copie au travers de souvenirs personnels**

### **Le Kon-Tiki**

En 1947, un anthropologue navigateur norvégien, Thor Heyerdal<sup>2</sup> décide de démontrer ses théories sur le peuplement des îles de Polynésie par des migrations de populations venant de la côte Pacifique de l'Amérique du Sud.

En l'absence de tout élément d'information historique, il réalise une reconstitution à l'échelle 1/1 d'un radeau construit sur le modèle des embarcations traditionnelles indiennes, constitué de troncs de bois de balsa, liés par des cordes végétales et équipé de voile, le *Kon-Tiki*. Avec cinq équipiers, il met sa théorie en pratique, se lance à l'aventure et réussit une traversée du Pacifique sud en 64 jours, de Callao (Pérou) à l'atoll de Raroia aux îles Tuamotu. Au cours de la traversée, ses occupants survécurent uniquement grâce à la pêche et à la récupération d'eau de pluie. Le but de cette expédition scientifique était de réfuter une objection courante à la théorie d'Heyerdahl selon laquelle les populations des îles du Pacifique étaient en partie originaires d'Amérique : la traversée sur une telle embarcation était souvent considérée comme impossible. Cette aventure a marqué les enfants de notre génération. C'est un exemple remarquable de l'utilisation de la reconstitution pour démontrer ce que pouvait être une création humaine dont on n'a conservé ni plan, ni dessin, ni descriptif écrit. On verra plus loin la validité de cette démarche dans le domaine du patrimoine culturel.

### **Le bombardier Vulcan**

En 1955, élève de 3<sup>e</sup>, passionné d'aviation, nous nous promenons avec notre correspondant anglais dans Londres et faisons l'acquisition d'une maquette en bois au 1/72, à construire, d'un bombardier Avro *Vulcan B2*, tel celui qui apparaissait dans le film de James Bond « Opération Tonnerre » (1965), l'un des 3 « *V-Bombers* »

---

<sup>1</sup> Baleyrier L., Association Promouvoir la Réalité Virtuelle (APRV) concepteur de Kartoo, <http://www.aprv.eu> (nov. 2010).

<sup>2</sup> Techno-science.net, Kon Tiki, <http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=14316> (nov. 2010) et Kon Tiki Museet - Oslo (Norvège), <http://www.kon-tiki.no> (nov. 2010).

commandés par la Royal Air Force, comme bombardier stratégique, avec le Handley-Page *Victor* et le Vickers *Valiant*<sup>3</sup>). De retour à la maison, nous construisons avec grand soin notre avion et essayons de le faire voler (ou plutôt planer). Mais, déception ! Ce bel objet est incapable de voler ou de planer !

Moralité : cette maquette, certes, apprend comment est conçue la structure d'un avion (forme, mode de construction, fuselage, ailes, dérive, liaison entre ailes et fuselage...), mais n'apprend pratiquement rien sur l'aérodynamique. Il faut attendre la terminale ou les classes préparatoires pour comprendre que des maquettes aérodynamiques (ou hydrauliques) ne se résument pas à une simple homothétie ou réduction dimensionnelle (1/10, 1/72...), mais doivent respecter l'invariance de nombres sans dimension (Froude, Karman, Mach, Pécelet, Poisson, Reynolds...). Et ce, pour ne pas introduire de biais lorsque l'on change d'échelle, afin d'être représentatif des phénomènes réels et d'en déduire des lois de comportement

### **Le bronze des cloches**

En 1961, en introduction à son cours de *Métallurgie physique* à l'École Centrale, André Rist<sup>4</sup>, excellent pédagogue, un peu provocateur, prend comme exemple de complexité le bronze des cloches. Cet alliage très particulier de cuivre et d'étain ne représente qu'un très petit domaine du diagramme de phase complexe de ces deux métaux. En boutade il met au défi les dix meilleurs élèves, avec un budget illimité, de réinventer en un an le bronze des cloches mis au point en Chine vers 2300 avant J.C.

Ceci pour faire prendre conscience de deux choses :

- la maîtrise technologique (pour ne pas dire « la civilisation ») n'a pas commencé avec la révolution industrielle des XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles en Europe occidentale, comme beaucoup le pensent et le disent !

- un examen scientifique pertinent peut permettre de comprendre un processus de création et de fabrication et d'aller plus vite et plus sûrement vers une reproduction vraisemblable.

Plus tard, fin 2000, la magnifique exposition au Musée de la musique « *La voix du Dragon* »<sup>5</sup>, dans ces lieux, illustrera superbement le bien-fondé de ces remarques.

Que retirer de ces fragments de mémoire ? L'interaction entre œuvre originale, connaissance de ses constituants et du processus de sa création d'une part, et pratique de la « copie/fac-similé/maquette/modèle/réplique » d'autre part, est certes féconde, mais peut être complexe ou en tout cas non évidente.

Un peu de science ou de technique peut favoriser l'aller-retour entre l'une et l'autre. C'est ce que nous allons tenter d'illustrer par des exemples pris dans le domaine du patrimoine culturel, mais aussi dans d'autres activités humaines.

### **Pourquoi des sciences et des techniques au service de la connaissance et de la conservation-restauration du patrimoine culturel ?**

Des techniques d'examen, de caractérisation et d'analyse sont mises en œuvre par les musées pour comprendre avec quels matériaux et selon quels procédés d'élaboration et/ou de fabrication un objet a été réalisé. Ceci présente un intérêt pour

---

<sup>3</sup> History of Royal Air Force V bombers, [http://en.wikipedia.org/wiki/V\\_bomber](http://en.wikipedia.org/wiki/V_bomber) (nov. 2010).

<sup>4</sup> Rist A., (1961).

<sup>5</sup> Rault L., (2000).

le patrimoine lui-même, l'histoire de l'art et l'histoire tout court, le public et plus loin pour l'économie de la nation, les générations futures.

Quelles sont les raisons pour un état ou une collectivité territoriale de financer une structure pour examiner, caractériser, analyser les œuvres du patrimoine culturel ? Dans quels buts ?

Les problématiques peuvent être d'un ou de plusieurs types :

- déterminer la nature des matériaux constitutifs,
- dater, estimer l'âge le plus vraisemblable d'une œuvre,
- connaître le mode d'élaboration du matériau et/ou réalisation de l'œuvre,
- comprendre les processus d'altération subie par l'œuvre depuis sa création et en estimer l'importance,
- diagnostiquer les éventuelles restaurations antérieures (autrement dit mesurer son degré d'authenticité),
- aider à la restauration,
- prévoir et optimiser le devenir à court et long terme, dans les conditions de conservation actuelles et proposer des stratégies (conservation préventive),
- lutter contre les faussaires et les trafiquants.

Pour ce faire, on dispose d'une large palette de techniques d'examen, de caractérisation et d'analyse<sup>6</sup>, souvent utilisées de façon complémentaire ou contradictoire.

Dans le cadre du projet de recherche européen LabS TECH<sup>7</sup>, on a recensé 114 techniques mises en œuvre par 151 institutions :

- photographie, microscopie (optique et électronique) radiographie X...
- diffraction X, neutrons, rayonnement synchrotron...
- analyse par fluorescence X, activation neutronique, spectrométrie infrarouge, Raman, ablation laser, chromatographie...

### **Quelques exemples d'interaction ou d'aller-retour entre original et copie.**

Comment réinventer un matériau ancien dont on a perdu le « cahier de procédé » ? Quelles sont les conditions préalables à toute copie ? Identifier les matériaux constitutifs, mettre en œuvre quelques moyens d'analyse au service du patrimoine.

### **Métaux et alliages**

L'archéo-métallurgie du cuivre :

On s'est intéressé à comprendre un des premiers procédés d'élaboration du cuivre par métallurgie dans les Cévennes, du chalcolithique à la fin de l'âge du bronze. On a récréé des fours avec les matériaux minéraux locaux, utilisé les combustibles et les minerais sulfurés locaux, retrouvé les conditions thermodynamiques et métallurgiques nécessaires et réalisé des coulées de lingots. Les analyses faites valident la conformité des hypothèses, à savoir qu'on est capable de reproduire le même type de métal que nos ancêtres du chalcolithique (D. Bourgarit<sup>8</sup>).

Un autre exemple est la mise au point de protocoles spécifiques d'analyse ou d'examen non-destructifs, adaptés à des matériaux anciens qui ne sont plus élaborés aujourd'hui.

<sup>6</sup> Janssens, K., Van Grieken, R., (2006).

<sup>7</sup> Projet européen LabS TECH, <http://www.chm.unipg.it/chimgen/LabS-TECH.html> (nov. 2010).

<sup>8</sup> E. Burger, D. Bourgarit et al., (2010) 713–724.

Cas du bronze :

- analyse ICP-AES (spectrométrie d'émission atomique par torche à plasma) des bronzes archéologiques avec « impuretés » (D. Bourgarit, B. Mille<sup>9</sup>),
- caractérisation métallurgique par diffraction neutronique pour différencier le métal coulé, forgé, martelé (D. Visser, W. Kockelmann<sup>10</sup>),
- analyse par activation neutronique pour différencier des monnaies grecques anciennes en bronze à l'arsenic frappées à Rhodes, de copies moulées produites en Crète (J.N. Barrandon<sup>11</sup>),
- examen par tomodensimétrie (examen tomographique à l'aide de rayonnement ionisant, permettant d'obtenir des coupes révélant la structure interne d'un objet) à 30 MeV (utilisée pour le contrôle des propulseurs solides d'Ariane), pour comprendre la structure interne d'un « poids » de la civilisation de Shahi Tump (fin du IV<sup>e</sup> millénaire – début du III<sup>e</sup> millénaire av. J.C.) : fonte cire perdue, bronze, plomb, coquillages<sup>12</sup>.

### Pigments

La détermination de la composition chimique des pigments utilisés dans la fabrication de peintures est un outil très important dans la connaissance des œuvres d'art.

Ainsi en est-il du rouge des peintures pariétales des grottes pyrénéennes du Magdalénien (15000 BC). Comprendre et valider expérimentalement un procédé de transformation d'un pigment jaune naturel localement disponible (goethite) en un pigment rouge stable (hématite) non disponible (M.P. Pomies<sup>13</sup>) montre comment les populations du Magdalénien ont su subvenir à leur besoin de différentes couleurs.

Après la préhistoire pyrénéenne, transportons-nous dans l'Égypte pharaonique afin de comprendre la fabrication de deux pigments : bleu égyptien, vert égyptien.

Il existe deux pigments proches, datant de la période pharaonique : un bleu, à la forte notoriété, dit « bleu égyptien » et un vert, moins connu. Ils sont synthétiques et d'origine minérale. Jusqu'à une date récente, on pensait que le vert était un sous-produit du bleu, soit obtenu à travers une recette imparfaite, soit résultant d'une altération du bleu.

Le bleu égyptien est certainement le premier pigment synthétique fabriqué par l'homme.

L'une de ses premières utilisations est contemporaine des Pyramides de Gizeh (IV<sup>e</sup> dynastie, 2613-2494 avant J.-C.). On l'a ensuite retrouvé dans tout le bassin méditerranéen jusqu'au VII<sup>e</sup> siècle de notre ère. Sa dénomination égyptienne « khesbedjiry » signifie « lapis-lazuli fabriqué ».

Les deux pigments sont obtenus par cuisson dans des fours de potier de mélanges de silice, de produits calcaires, de cuivre ou de ses composés et d'un fondant, le natron.

Un travail expérimental (S. Pages–Camagna<sup>14</sup>) a permis de comprendre et de reproduire les mécanismes d'élaboration de l'un et de l'autre. Il a consisté à tester et contrôler les proportions des mélanges et les paramètres de cuisson : atmosphère du four, température, durée du traitement thermique et vitesse de refroidissement.

---

<sup>9</sup> Mille B., Bourgarit D., (2000).

<sup>10</sup> Visser D., Kockelmann W., (12 Jan. 2005).

<sup>11</sup> Barrandon J.N., Bresson A., (1997).

<sup>12</sup> Mille B., Besenval R., Bourgarit D., (2004).

<sup>13</sup> Pomies M.P., (1997).

<sup>14</sup> S. Pages–Camagna, (1999).

Ceci a permis de démontrer que les pigments vert et bleu étaient réellement distincts : bien que préparés dans des conditions proches, chacun a une couleur caractéristique stable et reproductible due aux proportions précises du mélange et aux domaines thermiques dans lesquels la cuisson a eu lieu.

### **Papier**

Le premier filigrane a été identifié sur un papier fabriqué à Fabriano (Italie) en 1282, les papiers provenant d'Orient ou du monde arabe n'en possédant pas. Depuis, il est possible d'identifier et de dater des papiers filigranés par la mise en évidence des filigranes aux armes ou à la marque des maîtres papetiers.

Ceci est obtenu par bêtagraphie avec des sources, plaques émettrices de particules  $\nu$  (carbone 14)<sup>15</sup> [20] à [23]. La marque évolue au cours du temps, par l'emploi de la forme, ou par modification volontaire (de père en fils, privilèges accordés, etc...).

Ceci permet aux historiens du papier ou des textes, ou des arts graphiques, de dater le papier et donc le document.

### **Et la peinture ?**

Que ce soit dans la peinture de chevalet, la céramique, les arts graphiques, la sculpture..., la copie a été pratiquée par les élèves des écoles de beaux-arts, les faussaires, mais aussi par les artistes eux-mêmes et/ou leurs ateliers. [24] à [26]

Ceci peut être illustré par deux exemples extraits de travaux du Centre de recherche et de restauration des musées de France.

### **Le Tricheur de Georges de la Tour**

Il existe deux versions du *Tricheur*, celle dite *le Tricheur à l'as de carreau* (Musée du Louvre) présente des coloris plus froids ; l'autre, nommée *le Tricheur à l'as de trèfle* (Kimbell Art Museum – Fort Worth) présente des coloris plus chauds et une mise en place différente. Ceci laisse croire que les deux tableaux n'ont pas été exécutés l'un à la suite de l'autre. À l'occasion de l'exposition consacrée à Georges de La Tour (octobre 1997 à Janvier 1998) aux Galeries nationales du Grand Palais, la connaissance de l'œuvre du peintre a progressé, en grande partie grâce aux apports des méthodes scientifiques : analyse des pigments, caractérisation des toiles utilisées, stratigraphie... (E. Martin<sup>16</sup>)

### **Le portrait du Docteur Gachet de Vincent Van Gogh.**

À l'occasion de l'exposition *Le docteur Gachet, un ami de Cézanne et Van Gogh* (Paris - 1999) [29], le Centre de recherche et de restauration des musées de France a pu examiner une trentaine de tableaux de Paul Cézanne et de Vincent Van Gogh et aussi des copies réalisées par le Docteur Gachet et son fils Paul Louis. Sur le portrait du Docteur Gachet, celui-ci tient un bouquet de digitales qui devraient être de couleur pourpre. Van Gogh a utilisé pour la première fois une nouvelle couleur à base d'éosine, colorant rouge organique de synthèse récemment introduit sur le marché, mélangé à une couleur bleue classique à base d'un pigment minéral stable. En un siècle, l'éosine, par photo-dégradation s'est décolorée, et les digitales nous apparaissent bleues. Peu après la mort de Van Gogh, Blanche Derousse, élève du

---

<sup>15</sup> Briquet C.M., (1977) ; Boutaine J. L., Irigoien J., Lemonnier A., (sept 1972) ; La Chapelle A. de, Le Prat A., (1996) et base de données « filigranes » des Archives municipales de Toulouse, [http://www.archives.mairie-toulouse.fr/index.php?id=109&no\\_cache=1](http://www.archives.mairie-toulouse.fr/index.php?id=109&no_cache=1) (nov. 2010).

<sup>16</sup> Martin E., (nov.-déc. 1997) 6-8 et Martin E., Duval A., Laveissière S., (1998).

Docteur Gachet, réalise une aquarelle, copie de ce portrait, avec des couleurs classiques. Un siècle après, le pourpre de l'aquarelle est toujours là ! Ainsi, les couleurs de la copie de l'amateur nous renseignent sur la palette au temps  $t_0$  de l'œuvre originale.

En marge des études scientifiques qui se consacrent à l'étude du patrimoine, il nous semble également intéressant d'évoquer un aspect particulier du sujet où la copie enfreint l'obligation d'identité du matériau.

### **Bois, instruments de musique**

Certaines pratiques mettent en lumière l'importance qui s'attache à la forme comme garante de l'identité d'un objet. Un bon exemple est celui du milieu des instrumentistes, notamment de la musique dite classique, lesquels n'admettent qu'avec difficulté qu'on change tout ou partie de leurs instruments.

Le bois qui sert traditionnellement à fabriquer certains instruments de musique comme les clarinettes ou les hautbois est un matériau hygrosopique. Ceci signifie qu'il se dilate ou se contracte en fonction du taux hygrométrique de son environnement immédiat. Ces variations dimensionnelles imposées par chaque période de jeu (humidité apportée par le souffle du musicien) entraînent à la longue une dégradation de la qualité sonore et de la justesse de l'instrument. À la demande du facteur d'instruments à vent Selmer, le laboratoire ARC-Nucléart du CEA Grenoble<sup>17</sup> a élaboré un matériau synthétique, bois densifié en partant d'essences communes (bouleau, peuplier, érable...) imprégné sous vide par une résine et polymérisé sous rayonnement ionisant (photons  $\gamma$  du cobalt 60). L'objectif était de fournir un produit de substitution à l'ébène ( $\rho = 1.10 \text{ g cm}^{-3}$ ), matériau classique des clarinettes de concert, qui parfois, à la suite de chocs thermiques et/ou hydriques se fend. Des éprouvettes ont été réalisées, puis caractérisées (masse volumique, dureté, module élastique, fréquences propres de vibration...). Elles étaient très proches de l'ébène.

Les matériaux sélectionnés ont été fournis aux ateliers Selmer pour la fabrication à l'identique de clarinettes (mêmes compagnons avec les mêmes machines outils), y compris avec la laque noire habituelle.

Des solistes ont joué les instruments « nouveaux » et ont comparé leur son avec celui de leur instrument habituel. Et là, nous avons eu la surprise d'avoir des appréciations divergentes du genre : « adapté ou non pour jouer Mozart ou Weber », « curieux, mais à garder pour jouer Berg ou Bartók ».

Faire une copie, mettre en œuvre des moyens technologiques et scientifiques de pointe, tout en s'appuyant sur des maîtres de la facture instrumentale, ne conduit pas forcément à une copie « absolue ».

### **Copies d'une culture à l'autre**

De tous temps, les savoir-faire ont migré d'une contrée à une autre, d'un pays, voire d'un continent à l'autre. Les exemples qui suivent montrent leur diversité et leur importance à tel point qu'on doit se demander si la pratique de la copie n'est pas à l'origine même des progrès du savoir humain.

- *Horloges* : copie par les Chinois des horloges italiennes introduites à la cour de l'Empereur de Chine par le jésuite Matteo Ricci (1578), puis production dans les ateliers impériaux (D. Boorstin<sup>18</sup>).

<sup>17</sup> P. Descalle, R. Ramière, Q.C. Tran (1985).

<sup>18</sup> D. Boorstin, (1986).

- *Statues, marbres grecs* : copies romaines en marbre ou en bronze, puis copies italiennes ou françaises de la Renaissance

- *Éléments de la culture chinoise* « pillés » par les envahisseurs japonais : bonsaïs, idéogrammes, chrysanthèmes...

Les bonsaïs (*penjing* (littéralement racines en pot) ou *punsai* (littéralement « arbre » (*pen*) « coupe » (*sa*), donc « arbre poussant dans une coupe ») ont été « inventés » en Chine au tout début de la Dynastie Han. Ton Gen Ming (364-427), poète et haut fonctionnaire écrivit le premier traité connu de culture de tels arbres miniatures. Ils furent introduits au Japon entre le XII<sup>e</sup> et le XIII<sup>e</sup> siècle par les bouddhistes et étaient offerts en cadeaux par les ambassadeurs chinois à l'Empereur du Japon

### **Modèles pour démontrer et/ou instruire**

La valeur pédagogique de la copie n'est plus à démontrer, même si pour l'heure on la nomme maquette ou modèle ou encore d'autres noms.

Le musée Galilée, à Florence, présente ainsi des modèles de « travaux pratiques » de mécanique<sup>19</sup>.

Une courbe *brachistochrone* est une courbe sur laquelle doit glisser sans frottement et sans vitesse initiale, un point matériel pesant, de telle sorte que le temps de parcours soit minimal, parmi toutes les courbes pouvant joindre deux points A et B déterminés. Galilée (1564-1642) a démontré qu'un arc de cycloïde permet un temps inférieur au segment de droite AB et que c'est la seule solution au problème.

Dans le domaine du patrimoine industriel, on croise également de nombreux exemples de reconstitution, non seulement des objets eux-mêmes mais aussi des prestations qu'ils ont permis de produire. Louis Blériot (1872-1936) ingénieur, aviateur, constructeur aéronautique a effectué la première traversée de la Manche, aux commandes de son Blériot XI, le 25 juillet 1909. L'appareil est conservé aujourd'hui au Musée des Arts et Métiers (Paris).

Lorsque le Musée a décidé de l'exposer, s'est posée la question : dans quel état le présente-t-on ? Tel qu'il a décollé de France, ou tel qu'il a mal atterri en Angleterre ?

Un dialogue intéressant s'est établi entre conservateur, restaurateur, historien des techniques et ingénieur et technicien de la restauration. Pour compliquer les choses, les archives de l'entreprise Blériot sont perdues et on ne dispose pas des plans de l'original. Le Centre de recherche et de restauration des musées de France a contribué à cette réflexion en réalisant un examen radiographique X assez complet de l'appareil.

Cent ans jour pour jour après Louis Blériot, Edmond Salis a réédité l'exploit de l'aviateur français, à bord d'un Blériot XI de 1934, analogue à l'original, effectuant le vol en 45 minutes de Blériot-Plage à Douvres. D'autres pilotes ont effectué le même vol à bord de répliques construites pour cette occasion.

### **L'effet d'échelle dans les maquettes**

Une maquette peut être réalisée à l'échelle 1, et dans ce cas elle peut se nommer copie, ou à toute autre échelle selon les besoins du problème à traiter :

- modèle hydraulique du Canal du Midi dans le parc du château de Bonrepos-Riquet, par Pierre-Paul Riquet (1680), pour valider ses hypothèses et emporter l'adhésion du premier ministre, Colbert (échelle 1).

---

<sup>19</sup> Museo Galileo – Florence, <http://diglib.museogalileo.it/rd/bd?lng=en> (nov. 2010).

- simulateur de réaction de fusion thermonucléaire ( ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n} + \text{Q}$ )

En France : Laser Mégajoule (LMJ) - CEA-CESTA - Le Barp<sup>20</sup>, ou comment simuler le soleil ou une explosion thermonucléaire en provoquant la réaction de fusion, dite « fusion par confinement inertiel », dans une microbille d'hydrogène solide (Ø 50 μm) à l'aide d'une décharge intense d'un rayonnement laser : 176 faisceaux de 7500 J (soit 1,32 MJ) en 15 ps (ordre de grandeur de l'échelle :  $3 \cdot 10^{-10}$ ).

### **La modélisation au service de la conservation et de la restauration.**

Il est probable que ce que l'on nomme aujourd'hui *modélisation informatique* est un des outils de reproduction assurant un haut degré de fidélité, notamment dimensionnelle d'un objet quelconque.

Cas d'un modèle informatique 3D - ICR (Istituto Centrale per il Restauro - Rome)

Une statue de bronze dite « *Satiro danzante* », fut trouvée par des pêcheurs dans le Canal de Sicile en 1998, par un fond de 500 m. Elle représente une figure mythologique, un démon, faisant partie de l'escorte de Dionysos. L'œuvre, haute de 2.50 m, pourrait être un original de la période Hellénistique (IV<sup>e</sup> – III<sup>e</sup> siècle av. J.C), ou une réplique plus récente de la fin du I<sup>er</sup> siècle de notre ère. La statue est désormais conservée au Museo del Satiro, à Mazara del Vallo. L'ICR a effectué un relevé photogrammétrique 3D par faisceau laser, avant tout nettoyage ou restauration, puis après nettoyage avant restauration. Le fichier de données obtenu est compatible avec une machine à commande numérique pour usiner des répliques.

De même, des modèles virtuels 3D peuvent nous fournir une représentation d'œuvres disparues ou dégradées. Ainsi en est-il du projet Gunzo, concernant l'Abbaye de Cluny, mené par l'ENSAM.

Gunzo est le nom du moine concepteur légendaire de la grande église abbatiale de Cluny sous l'abbé Hugues de Semur (XI<sup>e</sup> siècle). L'abbé Hugues et l'architecte Hézelon transformèrent le songe de Gunzo en réalité : la *Maior Ecclesia*, construite à partir de 1088, devint la plus vaste église de la chrétienté. Elle fut presque entièrement détruite après la révolution.

Le projet *Gunzo*, commun à l'ENSAM et au Centre des Monuments Nationaux, vise, en mettant en œuvre des techniques de l'ingénierie numérique utilisées en aéronautique, à permettre la reconstruction virtuelle et l'interprétation de l'abbaye de Cluny.

Citons enfin la reconstitution en CAO de l'évolution millénaire des temples de Karnak et de Louqsor en Égypte réalisée par le Laboratoire Electra d'EDF.

---

<sup>20</sup> Laser MégaJoule, <http://www-lmj.cea.fr> (nov. 2010).

### **En forme de conclusion**

Ces exemples ont démontré que l'apport des sciences et techniques dans l'échange original / « copie, fac-similé, maquette, modèle, réplique » peut fournir des informations validées par l'expérience, pour appréhender des compositions, des origines géologiques et/ou géographiques, des dates, des processus d'élaboration et alimenter l'histoire, l'histoire de l'art ou l'histoire des techniques.

Que pour différencier une copie de l'original, il est possible de mettre en évidence des césures historiques dans le domaine du patrimoine culturel comme l'apparition des minerais de plomb américains en Europe (après 1492), le bleu de Prusse dans les couleurs après sa synthèse (H. Diesbach - 1706), les fibres de bois dans le papier après l'invention de la pâte mécanique (F.G. Keller - 1844)

Que les outils scientifiques peuvent donner des preuves formelles de copie (ou de faux), mais qu'inversement, ils ne peuvent en aucun cas donner des quasi-certitudes pour affirmer qu'un objet est authentique !

Enfin, tentons une classification des « mots clefs » utilisés :

- Copie pour copier : le plaisir (l'amateur) ou l'argent (l'atelier de l'artiste ou le faussaire).
- Copie pour apprendre le processus de création (l'ingénieur en sciences de la conservation) ou pour apprendre la manière (l'élève d'une école des beaux-arts).
- Fac-similé pour réinventer le processus de création, ou pour valider expérimentalement des hypothèses sur de la fonction de l'objet.
- Fac-similé pour exposer et/ou utiliser les instruments de musique, les instruments scientifiques, les outils, les objets technologiques (machines, voitures, avions, bateaux, locomotives...). Il peut dans ce cas apparaître des conflits entre éthique des conservateurs et bon vouloir des ingénieurs, techniciens, ouvriers, artisans...
- Maquette : solution économique pour valider des concepts et/ou intégrer des résultats d'essais, avant de passer au prototype à l'échelle 1.
- Prototype : résultant de concepts théoriques (physique, chimie, mécanique, acoustique, aérodynamique...) et du savoir faire des constructeurs.
- Modèle : résultant de concepts théoriques (physique, chimie, mécanique, acoustique, aérodynamique...) et d'outils mathématiques et informatiques simulant un problème à l'aide de solutions analytiques formelles ou avec des approximations.

## Annexe

Les mots : copie, fac-similé, maquette, modèle, réplique... À partir d'extraits du *Dictionnaire historique de la langue française* et du dictionnaire *Petit Robert*.

- à la façon de (1580) : comme,
- à la manière de (1580) : comme,
- contre-épreuve (1676) : épreuve inverse en vue de vérifier si les résultats d'une épreuve sont exacts,
- contrefaçon (XIII<sup>e</sup>) : action de contrefaire une œuvre littéraire, artistique, industrielle au préjudice de son inventeur, son auteur ; par extension, résultat de cette action,
- copie (1219) : reproduction d'un écrit ; (1636) : reproduction d'une œuvre d'art originale,
- doublage (1441) : action de mettre en double, remplacement d'un acteur, remplacement de la bande sonore originale d'un film par une bande enregistrée en une langue différente,
- double (1406) : chose semblable à une autre, autre exemplaire d'un objet,
- doublure (1808) : acteur, actrice qui remplace en cas de besoin celui, celle qui devait faire,
- épreuve (XVI<sup>e</sup>) : résultat d'un essai, texte imprimé d'un manuscrit tel qu'il sort de la composition ; (1864) : image photographique, tirage,
- exemplaire (1580) : chacun des objets reproduisant un type commun, livre, par extension : médaille, gravure, photographie,
- fac-similé (1796) : reproduction exacte d'un écrit, d'un dessin,
- faux (1675) : contrefaçon ou falsification d'un écrit, pièce artistique qui est fautive par copie ou contrefaçon frauduleuse d'un original, soit par fabrication dans le style d'une œuvre authentique,
- identification (1847) : processus par lequel l'enfant apprend et se construit par une succession de copies de l'autre ; celui qui prend l'identité de l'autre,
- imitation (XIII<sup>e</sup>) : action de reproduire volontairement ou de chercher à reproduire ; par extension résultat de cette action,
- improvisation (1807) : action, art de composer sur le champ et sans préparation,
- maquette (1752) : ébauche, modèle en réduction d'une sculpture, esquisse d'ensemble d'un panneau décoratif, modèle réduit de décor de théâtre, d'un bâtiment, d'un ensemble architectural, reproduction à échelle réduite ou grandeur nature destinée aux études de prototypes,
- modèle (1542) : ce qui sert ou doit servir d'objet d'imitation pour faire ou reproduire quelque chose ; (XIX<sup>e</sup>) : objet, type déterminé selon lequel des objets semblables peuvent être reproduits à de multiples exemplaires ; (XX<sup>e</sup>) : modèle virtuel, modèle mathématique, modèle informatique,
- multiple (début XIX<sup>e</sup>) : qui existe en plusieurs exemplaires - œuvre réalisée par un artiste au tirage limité ou illimité, numérotée et signée,
- pastiche (1677) : œuvre littéraire ou artistique dans laquelle l'auteur a imité la manière ou le style d'un maître,
- plagiat (1697) : acte de celui qui pille ou démarque les ouvrages,
- réplique (1480) : reproduction ; (1690) : répétition d'une note à l'octave ; (1875) : simulacre, chose qui en répète une autre, œuvre semblable à un original
- reproduction (1762) : action de reproduire par imitation, par répétition, en agronomie et en manufacture ; (1839) : ce qui est ainsi reproduit, duplicata en imprimerie,

- simulation (1398) : action de faire, de disposer comme ; (XX<sup>e</sup>) : action permettant de simuler à l'aide d'ordinateur et de logiciel, un processus physique, chimique, météorologique ou même économique,
- variation (1314) : état de ce qui varie au cours d'une durée ; suite des changements qui affectent ce qui varie ; (1703) : modification d'un thème par un procédé quelconque (transposition modale, changement de rythme, modifications mélodiques) ; (XVIII<sup>e</sup>) : évolution de la valeur d'une fonction mathématique en fonction d'une variable ; ex. : variation de la fréquence de résonance en fonction de la tension appliquée à une corde vibrante ; variation du gonflement d'un élément de bois en fonction de l'humidité relative à l'équilibre.

## Références bibliographiques

**A. Rey**, *Dictionnaire historique de la langue française*, Paris, Le Robert (2010)

**P. Robert, A. Rey**, *Le petit Robert*, Paris, Le Robert (1973)

**Barrandon J.N., Bresson A.**, *Imitations crétoises et monnaies rhodiennes: analyse physique*, *Revue Numismatique*, 152 (1997) 137-155

**Boorstin D.**, *Les découvreurs*, Paris, Seghers (1986)

**Boutaine J.L.**, *The modern museum*, 1-39, in *Physical techniques in the study of art, archaeology and cultural heritage*, D. Bradley, D. Creagh (Ed.), Amsterdam, Elsevier, (2006)

**Bouquillon A., Castaing J., Gaborit J.R., Zucchiatti A.**, *Elemental analysis of a group of glazed terracotta angels from the Italian renaissance, as a tool for the reconstruction of a complex conservation history*, *Archaeometry*, 45, 3 (Aug.2003) 391-404

**Boutaine J. L., Irigoien J., Lemonnier A.**, *La radiophotographie dans l'étude des manuscrits*. Proc. Colloque International du CNRS N°458 - Les Techniques de Laboratoire dans l'Étude des Manuscrits, Paris, CNRS (sept 1972) 159-176

**Briquet C.M.**, *Les Filigranes. Dictionnaire historique des marques du papier dès leur apparition vers 1282 jusqu'en 1600*, 2<sup>nde</sup> Ed., Hildesheim, Georg Olms Verlag (1977)

**Burger E., Bourgarit D. et al.**, *The reconstruction of the first copper-smelting processes in Europe during the 4<sup>th</sup> and the 3<sup>rd</sup> millennium BC: where does the oxygen come from?*, *Appl Phys A*, 100 (2010) 713-724

**Descalle P., Ramière R., Tran Q.C.**, *Essais de réalisation de bois densifié pour la facture instrumentale*, Note interne CEA-SAR-Nucléart (1985)

**Distel A.**, *Le docteur Gachet, un ami de Cézanne et Van Gogh*, Catalogue de l'exposition Galeries nationales du Grand Palais, Paris, RMN (1999)

Janssens K., Van Grieken R., *Non-destructive micro analysis of cultural heritage materials*, Amsterdam, Elsevier (2004)

**La Chapelle A. de, Le Prat A.**, *Les relevés de filigranes*, Paris, La Documentation française (1996)

**Le Chanu P.**, C.R. Colloque « *De main de maître : l'artiste et le faux* », Paris (avril 2004) Musée du Louvre

**Le Chanu P.**, *La peinture ancienne et ses procédés, copies, répliques, pastiches*, Louvain, Peeters (2003)

**Martin E.**, *L'apport des méthodes scientifiques à la connaissance de l'œuvre de Georges de La Tour*, *Culture et recherche*, 63 (nov.-déc. 1997) 6-8 Mille B., Bourgarit E. Martin, A. Duval, S. Laveissière, *La matière comme indice chronologique Georges de La Tour Le Tricheur à l'as de carreau*, Techné, 7 (1998)

**Mille B., Bourgarit D.**, *L'analyse des alliages anciens à base de cuivre : état des connaissances et développement d'un protocole d'analyse par ICP-AES*, *Revue d'archéométrie*, 24 (2000) 13-26

**Mille B., Besenval R., Bourgarit D.**, *Early lost-wax casting in Balochistan (Pakistan): the "Leopards Weight" from Shahi-Tump*. in *Parsiens antike Pracht, Bergbau-Handwerk-Archäologie*, T. Stöllner et al. (Ed.), 274-280, Bochum, Deutsches Bergbau Museum (2004)

**Pages-Camagna S.**, *Propriétés physico-chimiques d'un pigment vert synthétique égyptien. Couleur, structure. Recherche des techniques d'élaboration*, thèse, Université de Marne la Vallée (1999)

**Pomies M.P.**, *Pigments rouges préhistoriques : goethite chauffée ou hématite nanocristalline naturelle?*, thèse, Université Paris VI (1997)

**Rault L.**, *La voix du dragon - Trésors archéologiques et art campanaire de la Chine ancienne*, catalogue de l'exposition, Paris, Cité de la Musique (2000)

**Rist A.**, *Cours de Métallurgie physique*, Paris, Ecole Centrale des Arts et Manufactures (1961)

**Visser D., Kockelmann W.**, *Applications of neutrons in cultural heritage research*, Proc. Non destructive analysis of cultural heritage artefacts, EU-ARTECH – COST G8, Amsterdam (12 Jan. 2005)

## Sites internet

Techno-science.net, Kon Tiki,

<http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=14316> (nov. 2010)

Baleyrier L., Association Promouvoir la Réalité Virtuelle (APRV) concepteur de Kartoo, <http://www.aprv.eu> (nov. 2010)

Kon Tiki Museet - Oslo (Norvège), <http://www.kon-tiki.no> (nov. 2010)

History of Royal Air Force V bombers, [http://en.wikipedia.org/wiki/V\\_bomber](http://en.wikipedia.org/wiki/V_bomber) (nov. 2010)

[11] Projet européen LabS TECH, <http://www.chm.unipg.it/chimgen/LabS-TECH.html> (nov. 2010)

Base de données « filigranes » des Archives municipales de Toulouse, [http://www.archives.mairie-toulouse.fr/index.php?id=109&no\\_cache=1](http://www.archives.mairie-toulouse.fr/index.php?id=109&no_cache=1) (nov. 2010)

Museo Galileo – Florence, <http://diglib.museogalileo.it/rd/bd?lng=en> (nov. 2010)

Laser MégaJoule, <http://www-lmj.cea.fr> (nov. 2010)