

INTERNATIONAL CENTRE FOR THE STUDY OF THE PRESERVATION AND THE RESTORATION OF CULTURAL PROPERTY
CENTRE INTERNATIONAL D'ÉTUDES POUR LA CONSERVATION ET LA RESTAURATION DES BIENS CULTURELS



CONSERVATION OF METAL STATUARY AND ARCHITECTURAL DECORATION IN OPEN-AIR EXPOSURE

CONSERVATION DES OEUVRES D'ART ET DECORATIONS EN METAL EXPOSEES EN PLEIN AIR

Symposium
Paris, 6-8.X.1986

CONSERVATION OF METAL STATUARY
AND ARCHITECTURAL DECORATION
IN OPEN-AIR EXPOSURE

CONSERVATION DES OEVRES D'ART
ET DECORATIONS EN METAL
EXPOSEES EN PLEIN AIR

Symposium
Paris, 6-8.X.1986



ICCROM
rome 1987

36964

Authors are responsible for the choice and the presentation of the facts contained in their articles and for the opinions expressed therein, which are not necessarily those of ICCROM and do not commit the organization.

Les auteurs sont responsables du choix et de la présentation des faits figurant dans leurs articles, ainsi que des opinions qui y sont exprimées, lesquelles ne sont pas nécessairement celles de l'ICCROM et n'engagent pas l'organisation.

ISBN 92-9077-079-1

©1987 ICCROM
Via di San Michele 13
00153 Rome RM, Italy
Printed in Italy
Sintesi Grafica s.r.l.

CONTENTS/SOMMAIRE

FOREWORD/ AVANT-PROPOS	C. Erder	v
P.D. WEIL	Conservation of Metal Statuary and Architectural Decoration in Open-air Exposure: An Overview of Current Status with Suggestions Regarding Needs and Future Direction	1
E.B. CLIVER	The Statue of Liberty: A Monument of Metal	23
C. DI MATTEO	La restauration de la statue de la Liberté à Paris	45
C. BASSLER	Théorie et pratique de la conservation des monu- ments métalliques en atmosphère urbaine et industrielle	49
S. ANGELUCCI	La restauration de la fontaine des tortues à Rome	57
R. SMITH A. BEALE	An Evaluation of the Effectiveness of Various Plastic and Wax Coatings in Protecting Outdoor Bronze Sculpture Exposed to Acid Deposition: A Progress Report	99
J.-M. BETTEMBOURG A. BOYER	La conservation des grilles ornementales	125
P. COLAS	La restauration des grilles de Jean Lamour et des fontaines en plomb de Barthélémy Guibal de la Place Stanislas à Nancy en Lorraine	141
P.D. WEIL	Problems in the Conservation of Zinc Sculpture in Outdoor Exposure	157
G. DUVAL	La restauration du quadrigé en bronze de l'Arc de triomphe du Carrousel	169
	La restauration de la Vierge en plomb doré de la chapelle du chevet de la Cathédrale de Rouen	187

P.A. LABLAUDE	L'Archange de la flèche du Mont Saint Michel	199
M. MARABELLI	Characterization and Conservation Problems of Outdoor Metallic Monuments	209
A. NAYLOR	Naylor Conservation - Recent Work of a Specialist Conservation Service	235
E.M. NOSEK	Conservation of Outdoor Zinc Monuments	253
B. PICHLER	Bronze Monuments of the Ringstrasse in Vienna. A Project	267
O. YAKHONT	Exemple de restauration d'un ouvrage de l'art monumental	291

F O R E W O R D

The symposium on the Conservation of Metal Statuary and Architectural Decoration Exposed in the Open Air was organized in Paris, France, by ICCROM in collaboration with the Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques, Champs-sur-Marne, on 6-8 October 1986. The meeting was completed by inspection of field problems in Versailles, Fontainebleau and St. Rémy-les-Chevreuses (Fondation de Coubertin).

This symposium was the first meeting to provide an opportunity for an exchange of experience among professionals responsible for the conservation of historic metal objects exposed in the open air. It clearly proved that an impressive amount of work and research has been carried out on this subject during the last two decades and it also proved that similar activities should be encouraged. Since many different disciplines, i.e. architecture, engineering, history and fine arts are involved in this field, it was evident that this meeting was a timely one and that consideration should be given to the interrelation between theory, practice and ethics of conservation.

ICCROM is grateful to the staff of the Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques, Champs-sur-Marne, and especially to Mr J.M. Bettembourg, who coordinated the programme.

A V A N T - P R O P O S

Le symposium sur la conservation de la statuaire et des décorations architecturales en métal exposées en plein air a été organisé à Paris (France) par l'ICCROM en collaboration avec le Laboratoire de recherche des monuments historiques de Champs-sur-Marne, du 6 au 8 octobre 1986. Cette réunion a été complétée par l'examen de problèmes pratiques à Versailles, Fontainebleau et St. Rémy-les-Chevreuses (Fondation de Coubertin).

Pour les spécialistes de la conservation d'objets historiques en métal exposés en plein air, ce symposium fut la première occasion d'échanger leurs expériences. Il a aussi permis de constater le nombre impressionnant de recherches et travaux menés dans ce domaine depuis 20 ans et a démontré la nécessité d'encourager de telles activités. L'interdisciplinarité du sujet (architecture, génie, histoire et beaux-arts) justifie l'opportunité d'une telle réunion et met en évidence l'importance de considérer les interrelations entre théorie, pratique et éthique de la conservation.

L'ICCROM exprime sa gratitude au personnel du Laboratoire de recherche des monuments historiques de Champs-sur-Marne, et particulièrement à M. Bettembourg, coordinateur du programme.

CONSERVATION OF METAL STATUARY AND ARCHITECTURAL DECORATION
IN OPEN-AIR EXPOSURE: AN OVERVIEW OF CURRENT STATUS WITH
SUGGESTIONS REGARDING NEEDS AND FUTURE DIRECTION

dedicated to Albert France-Lanord
and the late R.J. Gettens

Phoebe Dent Weil*

SUMMARY

This meeting marks the first instance when professionals actively involved in the conservation of outdoor metal statuary and architectural decoration have gathered to share common concerns and expertise. The rapid growth of the field over the past decade is the result of a number of factors, perhaps foremost among which is the awakening to the devastating effects of atmospheric pollution beginning in the late 1960's. An impressive amount of research and treatments has been accomplished since the early 1970's.

The field overlaps most naturally with areas of architectural conservation and engineering, but also with fine art in the case of sculpture. The range of metals, combinations of metals, fabrication and finishing techniques and coatings is considerable.

Development in the field should be encouraged and based on an interplay of theory and practice soundly and thoughtfully considered. Methodology should be viewed as a means toward carefully articulated objectives and not as an end in itself. Continuing research into all aspects of the field and the training of future specialists is greatly needed worldwide.

*Chief Conservator, Washington University Technology Associates (WUTA),
St. Louis, Missouri, USA

September 1986
revised March 1987

DEDICATION

This paper is dedicated to Albert France-Lanord and to the late Rutherford John Gettens, men of keen wit, informed intelligence and boundless generosity towards their colleagues. By the breadth of their vision and clear sense of the precepts, ethics and goals of professional practice they have laid sturdy foundations for those of us who follow in the conservation of metallic works of art and ornamentation in an outdoor environment.

INTRODUCTION

Background, leading to modern concern

In 1960, George Stout presented a thirty-year review of the development of the modern conservation profession from 1930 to 1960. (Stout, 1964) In it he referred to "undeveloped plots and corners" of the field "that might usefully be brought into the portion already somewhat cultivated." (Stout, 1964, p. 127) The area of outdoor metal sculpture and architectural ornament, in 1960, not only would have been considered undeveloped, it would also have been unlabeled. Even when serious needs were beginning to be recognized during the late 1960's along with an awakening to the devastating effects of atmospheric pollution, there was, even then, some uncertainty about whether or not such large, complex outdoor structures could be comfortably contained within the ethics and precepts of the conservation profession. Any questions in this regard can now be put to rest, for with this meeting are gathered for the first time a group of professionals now actively involved in the field in various parts of the world. It is a small group, perhaps, but with an impressive list of accomplishments in an exceptionally short span of about fifteen years, and with every indication of continued growth, vitality and fruitful contribution to the conservation field as a whole.

The origins of our field may be found in a number of studies that were initiated during the 1860's in Berlin where striking changes were being observed in the appearance of outdoor metals, particularly on bronze sculptures. (Weil, 1980; Weil, 1983; Riederer, 1985) These changes were directly tied, by means of newly-developed analytical chemistry techniques to the effluent of newly-developed industrial activity, itself, ironically, made possible by those same scientific advances. The momentum to study mechanisms of deterioration and to devise techniques and materials for protection was largely lost during the two World Wars. Important scientific corrosion studies were undertaken by, for example, W.H.J. Vernon and his associates in Great Britain beginning in the early 1920's (Vernon, 1923-24; 1927; 1929; 1930; 1931; 1932; 1934), but serious conservation investigations did not appear until a few preliminary studies on outdoor metal conservation problems were initiated beginning around 1964-65. (Weil, 1980; 1983) It is really only in the last decade that the field has emerged as a burgeoning new area of conservation and has acquired a certain degree of self-awareness and public recognition.

Since 1975 numerous well-documented treatments on metal sculpture have been undertaken, including such art-historical landmarks as the Venice Horses, the Turtle Fountain and the Marcus Aurelius in Rome, the ancient bronze Pigna in the Vatican, the Statue of Liberty in New York, Ghiberti's Doors of Paradise and Donatello's Judith and Holofernes in Florence, the Lion of Braunschweig, the two Baroque equestrian bronzes by Francesco Mochi in Piacenza, and the aluminum and bronze Eros Fountain in Piccadilly Circus in London.

Considerable recent work on metals in historic structures coinciding with the rapid recent development of the field of architectural conservation has resulted in at least one major publication on the topic. (Gayle, Look, and Waite, 1980)

As outdoor sculpture collections, museum sculpture gardens and public sculpture have increased in an extraordinary way over the past decade the conservation problems have not been far behind, and new public sculpture has served to focus renewed attention on the older monuments, many of which are now sadly and irreparably deteriorated after decades of neglect. In the United States, for example, between 1972 and 1984 about three-hundred outdoor metal sculptures, mostly bronze, were treated where previously treatments were both rare and even more rarely involved a conservator. (Naudé, 1985, 88-109) The large numbers of painted steel and "weathering steel" (Corten) civic sculptures placed outside in the United States during the 1970's are nearly all requiring major attention only ten years later, enough work for an army of conservators.

The development of modern concern

Perhaps most fundamental to the emergence of concern for outdoor metal cultural material was the development of certain attitudes that became clearly enunciated after the founding of the IIC (originally called the International Institute for the Conservation of Museum Objects) in 1950 and in the founding of ICCROM in 1959-60. The first director of ICCROM, Harold Plenderleith, who began his career as a museum conservator, was quick to recognize the necessity of looking at the world's cultural property as a whole, stating that "one cannot erect an artificial boundary between the conservation of works of art located indoors and those that are exposed to the elements", and further, that "at ICCROM the two separate worlds of preservation and conservation came to be seen as one. There is only one world...the Rome Centre does not recognize a difference between preservation and conservation." (Plenderleith, 1976) Once these three basic assumptions had been articulated--global embrace, concern for outdoor as well as indoor cultural material, and obliteration of falsely constructed barriers between conservation and preservation--subsequent progress could then occur within an established framework of principles and ethics embracing the conservation of all cultural property.

Thus, in quite recent times we have seen the emergence of new specialists: the architectural conservator, the conservation engineer, conservators of industrial and technical heritage, conservators of stone and other porous building materials, and conservators of outdoor metal sculpture and architectural ornament, all working in the "museum without walls" in many parts of the world. The emergence is so recent, in fact, that scarcely any of us presently engaged in these activities were trained to pursue these professional specialties. Most of us now working in these areas have in common a certain amount of experience

with "bootstrapping", of having to undertake projects where virtually no precedent exists, where bibliography is sparse at best and more often non-existent, where colleagues are few and widely scattered, and where the problems are so complex that established precepts and ethics of conservation often appear naïve and inadequate to serve as a guide for the problems we actually face. Thus we have had to proceed pragmatically, seeking models from the more well-established areas of conservation, retaining what fits and rejecting or rather seeking rational adjustments for what does not.

The Gettens ICOM report, 1967

With the expansion of conservation concerns beyond museum walls and in assuming global embrace, the stage was set in the early 1960's for newly focused attention on outdoor metal cultural material. At the seventh session of the ICOM Committee for Scientific Museum Laboratories meeting in Leningrad in September 1963, a rapporteur was appointed to initiate a world-wide study of the problem of outdoor metal sculpture. The person appointed was Murray Pease of the Metropolitan Museum in New York. Pease's work was cut short by his death the following year, and at the ICOM committee for museum laboratories meeting in 1965, John Gettens, somewhat reluctantly, accepted the job of rapporteur for outdoor metals. ICCROM assisted Gettens in his task, and in the following year Paul Phillipot of ICCROM sent out some fifty-four questionnaires from the Rome Centre aimed primarily at seeking out persons who could supply information. Twenty-six replies were received, and the information was compiled and presented to the Joint Meeting of the ICOM Committee for Museum Laboratories and the Sub-Committee for the Treatment of Paintings held in Brussels in 1967. Gettens' paper, recorded in an ephemeral, deterioration-prone photo-copy has, nonetheless, served as an exceptionally sturdy cornerstone for our field. (Gettens, 1967)

Gettens, a well-known museum chemist specializing in the study of archaeological bronzes, had undertaken a study in 1933 to determine the composition of the corrosion crust on an outdoor bronze in Hartford, Connecticut, dating from about 1895. His analysis determined that the crust was primarily composed of copper sulfate rather than copper carbonate as then commonly supposed (Gettens, 1933), findings that agreed with studies by Vernon on copper roofs in England during the late 1920's and early 1930's. (Vernon, 1929; 1930; 1932) Gettens was unaware of the late nineteenth century German studies and thus, writing in 1967, had only one relatively recent published source that described both condition of outdoor metal sculpture and efforts toward treatment and protection: J.F.S. Jack's article published in Museums Journal in 1951 describing his work with the Ancient Monuments Branch of the Ministry of Works in London. (Jack 1951) Unlike Vernon who ascribed only desirable qualities to copper corrosion products, Gettens alludes to the fact that the changes on outdoor metals may not always be desirable, that they may be either "attractive" or "quite ugly", and that atmospheric pollution plays some role in these changes. Gettens, however, was apparently not aware of the corrosion damage that had occurred or of the severity of ongoing metallic loss typical for urban bronzes. While the nineteenth century German literature reported displeasing discolorations on bronzes due to industrial sulfur in the atmosphere, Jack described serious, progressive attack: "Nevertheless, despite the relatively good corrosion-resisting properties of bronze, the heavily polluted atmospheres of industrial cities contain substances capable of causing corrosion...In some cases [observed on London

statues] the corrosion is progressive, and continued exposure [may lead to] perforation." (Jack, 1951) Since Vernon's assurance that outdoor copper roofs formed patinas that were described as "natural, protective, and having aesthetic value" (Vernon, 1929; 1930) the conservation world was lulled into ignoring Jack's observations on London's bronze sculptures. While the important early investigations of the gilded bronze Horses from the façade of S. Marco in Venice had been presented at a conference that Gettens attended in Spoleto in 1964, he does not mention the Venice Horses in the text of his talk, though the first article describing newly documented progressive corrosion on the Horses (Rotondi, 1965) is included in Gettens' bibliography. Also included in Gettens' bibliography but not specifically mentioned in the text is a series of three articles also published in 1965 in Studies in Conservation concerning the technical examination and structural treatment of the Great Buddha at Kamakura. (Sekino, 1965; Toishi, 1965; Takakazu and Oshima, 1965) These two studies, preliminary examination of the Venice Horses and of the Kamakura Buddha, are significant for us because they, so far as I can tell, are the first instances where an impressive array of modern technical examination methods were applied to outdoor metal sculpture. Unlike the Venetian cavalli, the state of preservation of the Buddha, which had survived outdoors since 1252 A.D., was pronounced "excellent" except for some structural cracks in the neck and insecurities in the foundations that required reinforcing. The scientific tools for documenting materials, fabrication techniques, condition, and deterioration mechanisms were here being applied for the first time to large-scale outdoor metal objects. In most instances, the adaptation of these techniques to the considerable size and given location of the objects demanded a high degree of ingenuity, for example in devising a sampling technique for metallographic analysis or in working out large-scale radiographic techniques, ultra-sonic thickness measurements and the use of photogrammetry to document surfaces and to calculate weight.

Gettens mentioned one innovation, the then relatively recent development of a coating intended to provide long-term protection for bright, unpatinated architectural copper. This coating, an acrylic resin containing a corrosion inhibitor developed under the sponsorship of the International Copper Research Association (INCRA), was first marketed commercially under the trade-name Inclarac in 1964. Among its earliest applications was the maintenance of a bright finish on the copper roof of the Olympic Sports Palace in Mexico City in 1970, and it has since found wide use in the protection of copper and copper alloys in outdoor exposure. (Weil, 1983)

Gettens, as a reluctant rapporteur, nonetheless established a framework that we have endeavored to flesh out in the ensuing twenty years. In posing important questions, in attempting the broadest focus possible, in raising problems such as quantification, environmental influences, weathering and corrosion questions, in compiling a bibliography of some twenty entries, in reviewing available technical examination techniques and treatment methodology including cleaning and structural repair, the artificial patination of metals, in reviewing available protective coatings, a considerable foundation was laid for those of us presently working in the field.

Oddly, only his conclusions and recommendations are shortsighted and conditioned by a basic skepticism regarding the inclusion of outdoor works of engineering proportions within the conservation fold. With the ensuing development of extra-museum conservation these shortcomings now appear obvious. He urged the compilation of case histories of practical methods by

"someone with engineering training" in order to produce a monograph on the care and preservation of outdoor metal sculpture "directed especially to park maintenance personnel, historic sites superintendents, and to architects" and "museum conservators who are often asked to advise on such problems." Such an approach would be as disastrous for outdoor metal sculpture as it would be to think that the problems of painting conservation could be met by a compendium of recipes culled by a scientist from practitioners of widely varying backgrounds. Our field is so new that ethical and responsible practice is still in the early stages of definition. Then, commercial metal cleaning firms or foundries were charged with undertaking such work when it was done at all. Further, the undertaking of such a study by someone with training limited to engineering, technical or scientific study would fault the study from the start, for unless conservation is based on both scientific and humanistic considerations its premise is misguided. Conservation treatments can not be established by opinion polls any more than, given a step-by-step technical solution, can parks maintenance personnel, historic sites superintendents, architects or even museum conservators with no experience in the treatment of outdoor metals be expected to provide adequate recommendations, much less themselves intelligently apply those techniques. What Gettens did not then imagine has now begun to occur: the emergence of the outdoor metals conservator working as skilled practitioner, educated in both the sciences and humanities and sensitive to both in the execution of his task, bridging gaps between scientific demands and technical studies and the demands of aesthetics and historic value, working with engineers, architects, chemists, curators and art historians, but serving the unique professional role where the final treatment decision must be put together from the evidence compiled and treatment is responsibly carried out and adequately documented.

Modern concern

Modern concern for outdoor metals received its major impetus from the alarm sounded by the Venice Horses in 1965. As their plight became more widely publicized, as air pollution was targeted as the prime destructive culprit, and with the jolting realization that such world treasures would have to be brought indoors, a major shift in attitude occurred. Such a shift can be compared to the paradigm shifts described by Thomas Kuhn when revolutionary scientific discoveries are made resulting in "a major change in the perception and evaluation of familiar data." (Kuhn, 1970) Where J.F.S. Jack's observations had fallen on deaf ears, the shock of the deterioration of the two thousand year old Venetian cavalli caught the attention of the conservation community and of the general public around the world.

The ICOM Conservation Committee meetings in Madrid in 1972 served to provide great impetus to efforts undertaken in several parts of the world, most of which had been inspired by the findings on the Venice Horses. At the sessions of the Working Group on Metals there were three papers on the corrosion damage to outdoor bronze sculpture with descriptions of technical analyses, engineering studies, new approaches to treatments and initiation of research on protective coatings. J. Riederer of West Germany (Riederer, 1972) and J. Lehmann of Poland (Lehmann, 1972) described observations of serious corrosive attack from air pollution observed on outdoor bronzes. At that same meeting a report was presented on a treatment of four colossal gilded bronzes in Washington, D.C., where the National Bureau of Standards had participated

in providing expertise in technical examination and structural repair for the National Capitol Parks personnel that executed the treatment. (Ogburn-Passaglia-Burnett-Kruger-Picklesimer, 1972)

Since the 1972 meetings there have been reports on activity relating to conservation of outdoor metals at the 1975 meetings (Weil, 1975), 1978 meetings (Nosek, 1978; Weil, 1978), and 1984 meetings (Erhardt, et. al., 1984; Riederer, 1984).

Notable publications have resulted from a series of symposia, most importantly the symposium on Corrosion and Metal Artifacts at the National Bureau of Standards in Washington, D.C., in March 1976 (NBS, 1977); a symposium on Bronze and Masonry in the Park Environment sponsored by the Central Park Conservancy in New York in 1983 (CPC, 1983); and a symposium entitled Sculptural Monuments in an Outdoor Environment held at the Pennsylvania Academy of the Fine Arts in 1983 (Naudé, 1985). Publications issued in connection with the treatment of the Venice Horses and the preliminary studies and workshop exhibition for the Marcus Aurelius have served as admirable models for anyone undertaking work in the treatment of outdoor metal sculpture. (Procuratori di S. Marco, 1977; Alunno-Rossetti-Marabelli, 1976; ICR, 1984). The publication of a book on architectural metal ornament, Metals in America's Historic Buildings, by Gayle, Loox and Waite, that appeared in 1980 has been mentioned above. (Gayle, et al., 1980)

TOWARDS A DEFINITION OF THE FIELD

Range of basic characteristics

Material, outdoor setting, size, ownership, function, aesthetic range and related disciplines are aspects of our field that define its unique character within the broader conservation framework.

Perhaps foremost among the reasons that our field has been so slow to be encompassed into the larger conservation framework is that it requires hard, outdoor physical labor which places us in something of a different sphere of experience from the museum laboratory conservator, and occasionally this can cause communication problems. Here there are many resonances with the paragone literature written during the Italian Renaissance. Sculpture was considered inferior to painting, less worthy an endeavor and less intellectual because the sculptor, as Leonardo da Vinci described him, is "little more than a laborer who works by the strength of his arm." Michelangelo successfully proved otherwise, thus demonstrating that sculpture could be considered on an equal artistic and intellectual plane as painting. In the same way, recent demonstration of the intellectual footing of our endeavors has enabled us to assume a position pari passu with the other conservation disciplines, yet the resonances of the paragone will doubtless continue in conservation as they will in art itself.

The conservation problems in our area of endeavor usually fall into two basic categories which can be termed either "skin problems" or "bone problems": that is problems of surface deterioration or problems of structural deterioration.

Range of materials, structure, finishes, fabrication techniques

The range of metals used for sculpture and architectural ornament is considerable as is the range of structure, finishes and fabrication. A list of the principal types of metals would include:

1. copper and copper alloys (particularly bronze and brass) in cast form, in rolled sheet that may be hammered or stamped, or electrotype
2. ferrous metals, including wrought and cast iron, steel, stainless steel and weathering steel(Corten)
3. zinc
4. aluminum
5. lead
6. tin
7. nickel and nickel alloys
8. plated or galvanized metals, metals coated with other metals such as lead-coated copper, mercury gilded metals, anodized metals

Finishes can range almost infinitely from unfinished, painted, mordant gilding, chemical patination, lacquering, and combinations of materials such as the addition of sand to white paint applied to zinc sculpture to imitate marble.

Implications of outdoor setting

Outdoor setting presents problems and implications that greatly complicate our task. Such implications are often difficult for museum laboratory conservators to imagine. They are also difficult for most artists to imagine.

Typically, there is a strong symbiosis between sculpture and architectural ornament and their specific setting. Treatment of sculptural monuments should respond sensitively to location and environment.

In the case of architectural ornament, treatment considerations must be in harmony with the rest of the structure. "Museumification" is to be resisted as location normally contributes as much to the meaning of the object as the object to its location. One could give many examples of how the meaning of a sculptural work can be dramatically altered by a change in location. As an example of how an ambient can be changed when a monument is removed, one has only to enter Michelangelo's piazza on the Capitoline now missing its sculptural centerpiece.

An outdoor setting typically enhances the perception of sculpture with changing quality and direction of light and in varying color and texture in background. However, the advantage usually stops there. Outdoor works usually require treatment in situ where working conditions are far less controllable than inside the laboratory. An outdoor location demands treat-

ments that will withstand wind, weather, traffic vibrations and atmospheric pollution. Most of the objects we treat are accessible to public touch and vandalism. Public accessibility may even contribute an aspect of "life" or meaning to a work either intended or not by the sculptor. An example of intentional touch with constant wear being necessarily acceptable is the large bronze group of Alice in Wonderland by de Creeft in Central Park in New York designed as a sculpture to be climbed upon by children. The Pasquino in Rome and the large sculpture by Richard Serra in downtown St. Louis are good examples of works whose meaning, unintended by the sculptor, has been augmented by public accessibility in the form of application of written messages, inspired graffiti, ingenious pranks and public controversy.

Damage from public touch can not compare with the severity of loss typically resulting from atmospheric pollution. There is no question that by far the greatest damage to outdoor metals overall has been done by sulfur-polluted air. Those of us who have spent any time examining bronze sculpture in urban areas can literally read the pollution history of a given region in the corrosive attack on its monuments.

It is interesting that the older bronzes seem to have fared somewhat better than the more modern ones dating from the late nineteenth century. This seems to speak to the fact, pointed out in the corrosion literature and by France-Lanord (France-Lanord, 1976), that original conditions of exposure play a major role in establishing a protective and resistant corrosion layer for bronze. Yet the severe metallic loss on the surfaces of late nineteenth-early twentieth century bronzes in urban areas in the United States and elsewhere should be taken as a warning that these works can no longer be considered permanently durable, but are in fact highly vulnerable and ephemeral in the face of the now global menace of atmospheric pollution.

Pollution has, in fact to a major extent, put conservators of outdoor metals in business, and the damage that has already occurred is dismaying to see. Gettens stated in his 1967 report: "We are hearing these days more about the high sulfur content of polluted urban atmospheres. The situation will probably get worse before it gets better." The prophetic nature of these words has been quickly realized. Now, twenty years later, the devastation, continuing for metals and stone directly attributable to atmospheric pollution can be more clearly assessed as catastrophic, and the tide shows no sign of turning back. Where ideally we would like to be occupied primarily with preserving and protecting works in relatively good condition, we most often face the problems of highly damaged objects. Outdoor setting, therefore, today means a tag of urgency for valued cultural material, and hence the urgency for us to meet conservation needs that are truly vast.

Implications of size

Implications of size are often daunting as they were to Gettens, and collaboration with engineers and architects is often required. Treatments are frequently a large-scale operation involving extensive scaffolding, industrial equipment and the training and organization of personnel at a variety of skill levels. Adequate business management support, insurance, legal support and other organizational problems are requirements for projects of exceptional size. The conservator may be required to assume the role of

manager and coordinator bringing together the necessary expertise from wide-ranging disciplines to bear on a project, training technicians and supervising and maintaining quality performance, constantly monitoring and documenting the progressive phases of work. The conservator's role should ensure that the work appropriately meets the basic principles and ethics of professional practice.

Implications of ownership

Ownership presents problems that museum laboratory conservators rarely have to face. The percentage of outdoor metal sculpture and architectural ornament owned or under the control of museums is quite small. The conservator of outdoor metals most typically works not only for museums but for a wide range of clients that may include city, state or national governments or government agencies, private collectors, architects, corporations, universities, religious congregations, funding agencies, local interest groups, art dealers or any number of other kinds of groups or individuals. Occasionally responsibility is multi-layered and difficult to ascertain, or perhaps even debated. Politics frequently enters in with one or more interest groups claiming a voice in deciding what should be done and by whom. In any case, most of us must work without the museum advantage of collaboration with a curator.

In order to insure that the treatments that we prescribe meet the conservation requirements of both sound technical information and the demands of historic and aesthetic content, we have a considerable burden of responsibility to seek proper and adequate art historical collaboration. The situation has not been sufficiently addressed by the historians themselves, many of whom are ironically not interested in the issues concerning the survival of the very works they study. Most conservators who are forced to deal with these problems find themselves having to deal with historic and aesthetic considerations on their own (though some simply ignore them) but few would agree that their position in this regard is ideal.

Non-museum ownership presents many other problems as well such as insuring that maintenance is regularly carried out and properly executed. All of us have the burden to consider maintenance problems and planning in the initial phases of treatment planning. Enlightened owners are now seeking endowments for maintenance for both old and new sculpture as well as documentation from living artists regarding fabrication, materials and maintenance. Training of personnel on site to spot problems and to remedy them, at least the simple ones, is an important advantage if it can be planned and supported on a permanent basis. Central Park Conservancy in New York has worked toward establishing a model in this regard.

Museum clients are more likely to understand the nature of conservation and thus how to both judge the qualifications of conservators and how best to make use of their services. This is not always the case with clients other than museums. Most of us have had the experience of becoming educators out of necessity in the majority of projects that we undertake.

Conservator collaboration with architects has increased dramatically with the rapid development of architectural preservation over the past decade. Conservators have been given a formidable challenge in bringing to bear on

architectural works their particular attitudes toward cultural material, their specific knowledge of fabrication techniques, behavior and deterioration of materials and of the methods and materials used in treatments. In many instances, primarily in the realm of ornamental material, conservators can assist architects in writing specifications that will insure an appropriate standard of quality. Further assistance can be provided in the training and supervision of technicians to undertake skilled aspects of metals treatment. Architectural conservators and architects working on architectural preservation projects have become increasingly sophisticated and responsible in matters of documentation and technical analyses and have demonstrated an exceptional appreciation for the approach and standards of quality that the conservation field can provide.

A particular problem still remains, at least in the United States, and its cause is at least partially economic as indicated by those architects who insist on a difference between preservation and conservation...preservation meaning mass and inexpensive treatment for large numbers of objects following "safe" specifications. The clear danger in this attitude is the avoidance of responsibility towards the fundamentally important aspects of cultural value and significance. As a conservator, my position has to be that this attitude is unacceptable.

Perhaps the most problematic situation is that where an architect will consider the conservator primarily as a source of specifications for treatment of sculpture and, if that were not bad enough, that these specifications could then be used in open bidding, the contract then going to the lowest bidder whose qualifications may be dubious. Such mis-use of a conservator's services is deplorable but may encounter considerable resistance, most frequently in governmental bureaucracies where the unique value of the services of a trained conservator ~~is~~ often not understood or considered arcane and perhaps effete. The tragedy is that with such an attitude at large, valuable cultural property will not always receive sensitive and suitable treatment. The act of treatment is trivialized and, typically for such "safe" treatments, documentation is meager, and considered unimportant, or most often it is non-existent.

Principles and practice

Perhaps the most misguided attempt to protect sculptural monuments is the notion that a "safe" treatment methodology can be developed that can be applied to all works of a similar class by virtually any practitioner. This approach, which has been termed a "preservation approach" as opposed to a "conservation approach" must be viewed as a wolf in sheep's clothing. It violates conservation principles that are basic to our profession: that of the need to consider each object as an individual case and to tailor treatment appropriate to its needs, and the value of considering both technical and historical data in specifying appropriate treatments. As an architect, Janet Null, speaking at the Association for Preservation Technology (APT) conference on "Principles in Practice", aptly stated, "The contemporary substitution of method for theory is unsupportable." (Null, 1985) A "safe" treatment mis-applied is inappropriate conservation. Likewise it is misguided to think that appropriate treatments can be "formulated" on the basis of scientific data alone and then applied across the board to a whole class of objects. As Null states, "Recognizing the uniqueness and complexity of the historic artifact means also recognizing the impossibility of anything being restored by analogy."

(Null, 1985) Where such attempts have been made without benefit of a knowledge of fabrication techniques or other historical and aesthetic considerations conclusions have been reached that are quite far off the mark. Questions of value and significance must be an integral part of the treatment of cultural material. (Weil, 1984)

The function and aesthetic range of the material we treat is considerable and requires informed critical interpretation for intelligent treatment. Occasionally public monuments, for example may have mediocre artistic value but may have exceptional symbolic value. Occasionally that meaning may not have been part of the artist's original intent but must be reckoned with nonetheless. As Albert France-Lanord has aptly stated, "It is because of [the message of an object] that man is anxious to conserve the object, not because of its matter. Therefore the conservation of matter is essentially conditioned by the nature of the message." (France-Lanord, 1976)

FUTURE CONCERNS

The dialogue between theory and practice

What builds a field of professional endeavor, and what specifically must we look to in building ours? A professional community, mutually supportive, communicative and in fundamental agreement about basic standards and principles is surely a desirable goal for us, but what else is required? In 1984 the Association for Preservation Technology meeting in Toronto focused on "Principles in Practice" which, according to Walter Jamieson's opening remarks, was intended to promote debate in order to "improve our awareness of the assumptions built into our technical choices, and ensure those assumptions emerge from well-articulated understanding of our buildings...We need to be sure that our separate technical decisions combine to create one coordinated whole, derived from respect for a structure's significant historical and architectural qualities." (Jamieson, 1985)

So far only the architectural conservators have been bold enough in recent times to try to set forth the historical/theoretical background of their profession and to re-examine current theory and practice. Such an effort is clearly a required ongoing task for every branch of the conservation field, but most often it tends to be set aside. In my view we would do well to emulate the architectural conservators, for I am convinced that it is through a continual interplay of theory and practice, both in daily individual, specifically applied practice and in common professional interchange that we acquire the necessary dynamic for fruitful growth.

For the interplay to occur, basic assumptions must be articulated, debated, continually clarified and then in turn tested and informed through practical application. To paraphrase Einstein, "Practice without theory is blind; theory without practice is lame." Treatments where both theory and practice are given fullest consideration are those which, taken together, will form the surest foundation of our profession.

The aim of theory is not to pursue bureaucratic legal precedent but rather awareness of assumptions so that those assumptions may be clearly examined and debated, clarified, and made more subtle. Methodology will then assume its

proper place not as a goal in itself but as a means toward reaching appropriate and desirable treatment objectives, and it is in articulating those objectives where we should concentrate our primary efforts. There will always be more than one way to get there. Popular mentality is much too focused on "how to" rather than where it is desirable to go and for what reasons. In the pursuit of ever more suitable treatment materials and methodology we should aim at multiplicity of choices rather than uniformity; subtlety of control and application rather than a mindless panacea.

Interdisciplinary foundations: the sciences and the humanities

Promoting interdisciplinary collaboration and interchange between the various humanistic and scientific disciplines that bear upon our field will serve to enrich our common effort. The conservation profession has too often neglected humanistic considerations on the assumption that only science can give reliable and objective answers to conservation questions. Such an assumption is based on a poor understanding of the scientific enterprise. Science today has passed the threshold of the quantum world, but much of conservation science remains rooted in the naïve, deterministic world of Newtonian physics. Leading scientists today are far more in tune with the limits of scientific endeavor and of the very different kind of activity involved in questions of value and judgement. As John Polkinghorne states, "The simple account of science sees its activity as the operation of a methodological threshing machine in which the flail of experiment separates the grain of truth from the chaff of error. You turn the theoretico-experimental handle and out comes certain knowledge. The consideration of actual scientific practice reveals a more subtle activity in which judgements of the participants are critically involved." (Polkinghorne, 1986) To this I would add, likewise the conservation endeavor.

Desiderata

The continued monitoring and evaluation of treatments that have already been undertaken is clearly needed. Further, setting up endowments for ongoing maintenance is a fundamental requirement. Such approaches have been initiated by the Municipal Art Society of New York in its "Adopt a Statue" program and by the city of Boston.

Research into the history of fabrication techniques, the history of treatment methodologies, technical examination methods, mechanisms of deterioration, improved treatment methods and materials, improvements in maintenance techniques, and documentation standards are all tasks that lie before us.

Let us not forget, despite our differences in language, the importance of fine-tuning the meaning of the language that we use as a tool for communicating, for example in the case of the word "patina" rather than using it loosely, or imprecisely, or avoiding it altogether, to seek instead to promote an understanding of meaning that includes all of the term's proper and useful psychological, historical and scientific resonances. (Weil, 1977; Weil, 1985)

Looking to the future, we can expect a rapidly growing professional community. Our strength and vitality will be reflected in the extent to which we can be mutually supportive, communicative and in fundamental agreement about the basic principles of professional conservation practice. Our demands are complex and often require us to rethink fundamental theoretical assumptions. This I think can be of immense value and will serve to contribute to the conservation profession as a whole.

A great amount of work lies before us. The objects have suffered greatly and are now on the endangered species list. They include some of the most extraordinary manifestations of human ingenuity, aesthetic achievement and expressive thought. For their survival they now demand of us who are charged with their conservation, the utmost of our efforts spanning the full range--both scientific and humanistic--of human thought.

REFERENCES

- ALUNNO-ROSSETTI, V. - MARABELLI, M., Analyses of the patinas of a gilded horse of St. Mark's basilica in Venice: corrosion mechanisms and conservation problems, in Studies in Conservation, 21, 1976, 161-170.
- CPC (Central Park Conservancy), Bronze and Masonry in the Park Environment, preprints of a symposium sponsored by the Center for Building Conservation, the Central Park Conservancy, and the New York City Department of Parks and Recreation, New York City, 1983.
- ERHARDT, D. - HOPWOOD, W. - PADFIELD, T. - VELOZ, N., The durability of Incralac: examination of a ten year old treatment, in preprint 84.22.1 of ICOM Committee for Conservation, Copenhagen, 1984.
- FRANCE-LANORD, A., Commentary, in Preservation and Conservation: Principles and Practices, Washington, D.C., 1976, 257-265.
- GAYLE, M. - LOOK, D. - WAITE, J., Metals in America's Historic Buildings, Uses and Preservation Treatments, Washington, D.C., 1980.
- GETTENS, R.J., The composition of the patina on a modern bronze statue, in Technical Studies in the Field of the Fine Arts, II, 1, 1933, 31-33.
- GETTENS, R.J., Preservation and restoration of outdoor metal sculptures, 6^e Réunion Mixte du Comité de ICOM (photo copy preprint), 1967.
- ICR (Istituto Centrale del Restauro-Comune di Roma), Marco Aurelio- Mostra di Cantiere, le Indagini in Corso sul Monumento, Rome, 1984.
- JACK, J.F.S., The Cleaning and preservation of bronze statues, in Museums Journal, 50, n. 10, 1951, 231-236.

- JAMIESON, W., Introduction of 'principles in practice' theme, in Association for Preservation Technology Bulletin, XVII, n. 3-4, 1985, 3-4.
- KUHN, T.S., The Structure of Scientific Revolutions, Chicago, 1962, 1970.
- LEHMANN, J., Corrosion of monuments and antiquities made of copper and copper alloy in outdoor exhibits, in preprints of ICOM Committee for Conservation, Madrid, 1972.
- MARUYASU, T. - OSHIMA, T., Photogrammetry in the precision measurement of the Great Buddha at Kamakura, in Studies in Conservation, X, 2, 1965, 53-63.
- NAUDE, V., ed., Sculptural Monuments in an Outdoor Environment, Philadelphia, PA, 1985.
- NBS (National Bureau of Standards), Symposium on Corrosion and Metal Artifacts, Washington, D.C., 1976, issued 1977.
- NOSEK, E.M., A new composition of patina from the roof of the Wawel Cathedral, in preprint 78/23/6, ICOM Committee for Conservation, Zagreb, 1978.
- NULL, J.A., Restorers, villains, and vandals, in Association for Preservation Technology (APT) Bulletin, XVII, n. 3-4, 1985, 27-41.
- OGBURN, F.- PASSAGLIA, E. - BURNETT, H.- KRUGER, J. - PICKLESIMER, M., Structural repair and surface restoration of four twentieth-century gilded bronze equestrian statues, in preprints of ICOM Committee for Conservation, Madrid, 1972.
- PLENDERLEITH, H.J., Preservation and conservation: introductory statement, in Preservation and Conservation: Principles and Practices, Washington, D.C., 1976, xvii-xxi.
- POLKINGHORNE, J., One World, the Interaction of Science and Theology, London, 1986.
- PROCURATORI DI S. MARCO, I Cavalli di S. Marco, exhibition catalogue, Venice, 1977; tr. j. and V. Wilton-Ely, The Horses of San Marco, Venice, 1979.
- RIEDERER, J., Corrosion damage on bronze sculptures, in preprints for ICOM Committee for Conservation, Madrid, 1972.
- RIEDERER, J., The restoration of bronze monuments in Germany, in preprint 84.22.30, ICOM Committee for Conservation, Copenhagen, 1984.
- RIEDERER, J., Zum Gegenwartigen Stand der Technik der Restaurierung von Bronzedenkmalern, in Der Braunschweiger Lowe, Gerd Spies, ed., Braunschweig, 1985, 95-116.

- ROTONDI, P., Allarme per i cavalli della basilica di S. Marco a Venezia, in Bollettino del Istituto Centrale del Restauro, Rome, 1965, 6-20.
- SEKINO, M., Restoration of the Great Buddha Statue at Kamakura, in Studies in Conservation, X, 2, 1965, 39-46.
- STOUT, G.L., Thirty years of conservation in the arts, in Studies in Conservation, IX, 4, 1964, 126-128.
- TOISHI, K., Radiography of the Great Buddha at Kamakura, in Studies in Conservation, X, 2, 1965, 47-52.
- VERNON, W.H.J., First experimental report to the atmospheric corrosion research committee, British Non-Ferrous Metals Research Association, in Transactions of the Faraday Society, XIX, 1923-24, 839-934.
- VERNON, W.H.J., Second Experimental Report..., in Transactions of the Faraday Society, XXIII, 1927, 113-204.
- VERNON, W.H.J. - WHITBY, The open-air corrosion of copper. A chemical study of the surface patina, in J. Inst. Metals, 42, 2, 1929, 181-95.
- VERNON, W.H.J.- WHITBY, The open-air corrosion of copper, part II, The mineralogical relationships of corrosion products, in J. Inst. Metals, 44, 2, 1930, 389-96.
- VERNON, W.H.J., A laboratory study of the atmospheric corrosion of metals, I. The corrosion of copper in certain synthetic atmospheres with particular reference to the influence of sulphur dioxide in the air of various relative humidities, in Transactions of the Faraday Society, 27, 1931, 255-277.
- VERNON, W.H.J., The open-air corrosion of copper, part III. Artificial production of green patina, in J. Inst. Metals, 49, 1932, 153-61.
- VERNON, W.H.J., Basic copper carbonate and green patina, in J. Chem. Soc., 1934, 1853-59.
- WEIL, P.D., The approximate two-year lifetime of Inralac on outdoor bronze sculpture, in preprint 75/22/2 of ICOM Committee for Conservation, Venice, 1975.
- WEIL, P.D., A review of the history and practice of patination, in Symposium on Corrosion and Metal Artifacts, National Bureau of Standards, Washington, D.C., 1977, 77-92.
- WEIL, P.D. - GASPAR, P. - GULBRANSEN, L., Recent developments in the conservation of outdoor bronze monuments, in preprint 78/23/12 of ICOM Committee for Conservation, Zagreb, 1978.
- WEIL, P.D., The conservation of outdoor bronze sculpture: a review of modern theory and practice, in AIC Preprints -1980, The American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, Washington, D.C., 1980, 129-140.

WEIL, P.D., Maintenance Manual and Bibliography of Material Related to the Conservation of Outdoor Bronze Sculpture, Washington University Technology Associates, St. Louis, MO, 1981, rev. 1983.

WEIL, P.D., 'Visually illiterate' and 'historically ignorant': the need to re-examine art conservation's humanistic foundations, in preprints of the American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, Washington, D.C., 1984, 86-93.

WEIL, P.D., Patina: historical perspective on artistic intent and subsequent effects of time, nature and man, in Sculptural Monuments in an Outdoor Environment, V. Naudé, ed., Philadelphia, PA, 1985, 21-27.



Figure 1: Detail, before conservation treatment, of a bronze equestrian statue of George Washington by Thomas Crawford cast by the Royal Foundry in Munich for the state capitol in Richmond, Virginia, in 1957. Von Miller, the foundry head, used an alloy intended to prevent corrosive attack and to keep the statue from turning green. Original appearance was an unpatinated golden brown. Instruction for maintenance using wine lees (a tartar acid) and nut oil, were never carried out. The monument has suffered severe corrosive pitting attack with considerable loss and disfigurement to the surfaces in the formation of a black and green corrosion crust resulting from exposure to atmospheric sulfur pollutants. The piece received conservation treatment by Washington University Technology Associates in 1982.

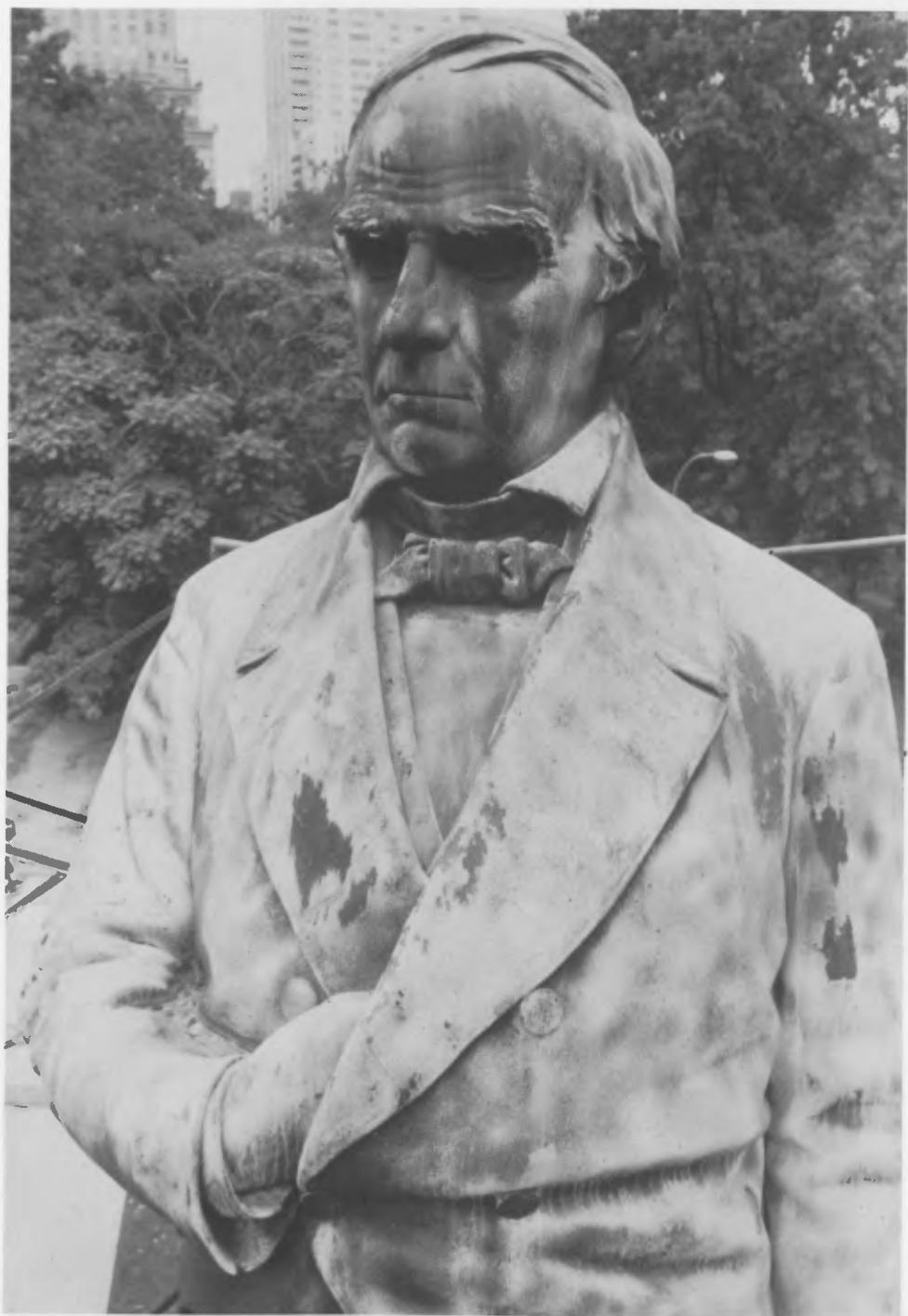


Figure 2: Thomas Ball, DANIEL WEBSTER (1876) Central Park, New York. Cast bronze. The figure here shown before conservation treatment, October 1983.

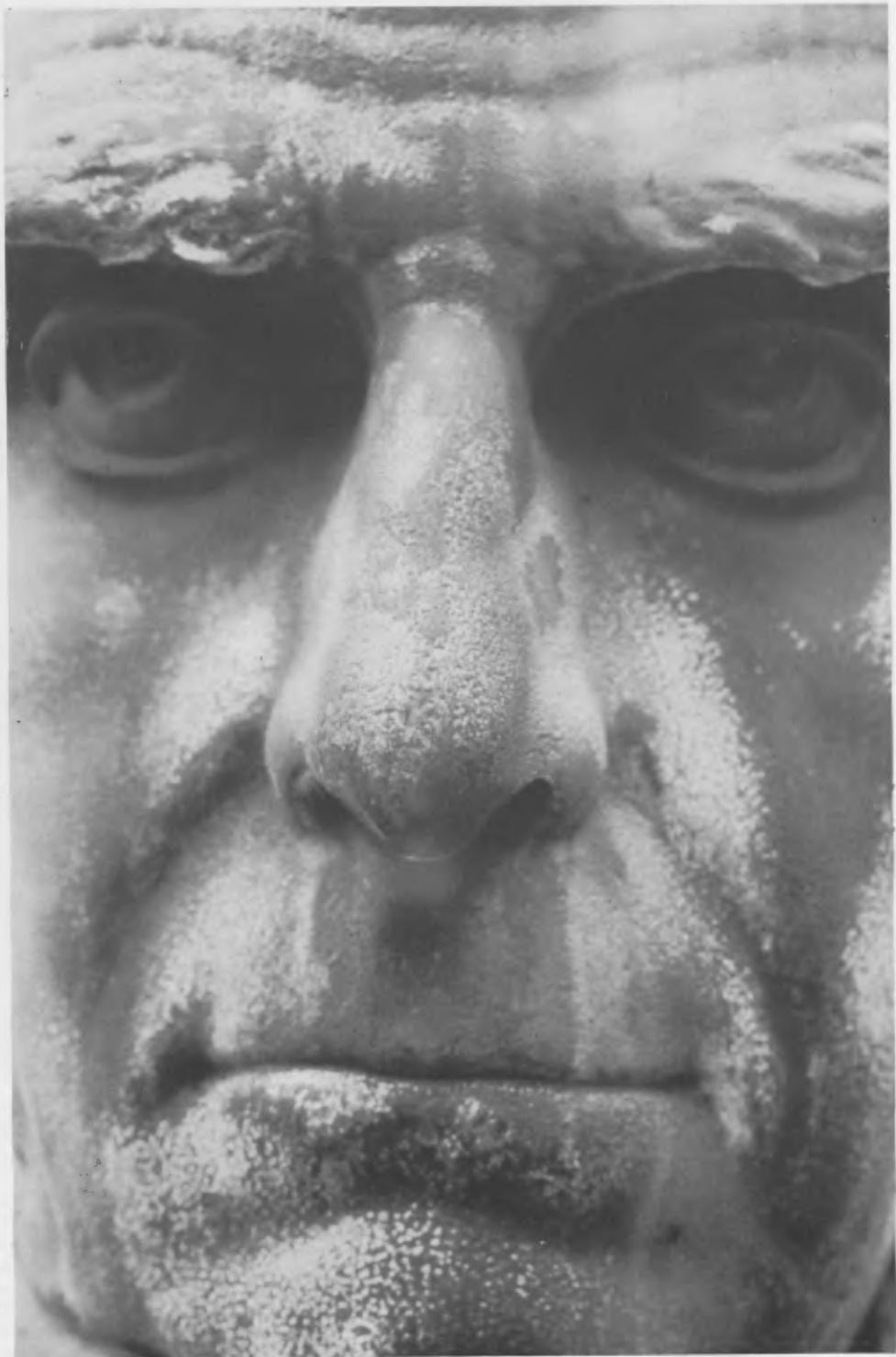


Figure 3: detail of figure 2

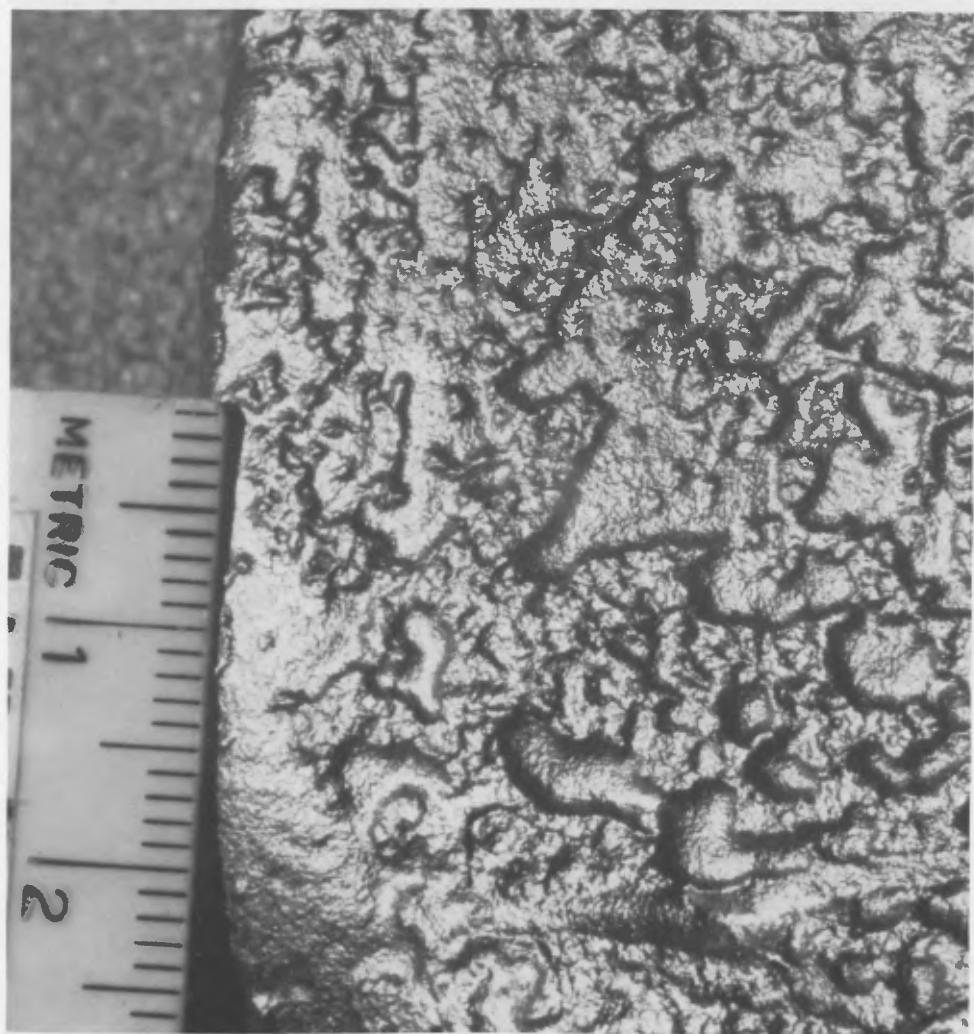


Figure 4: surface detail of the Daniel Webster after cleaning with glass microspheres showing seriousness of corrosive attack from atmospheric sulfur

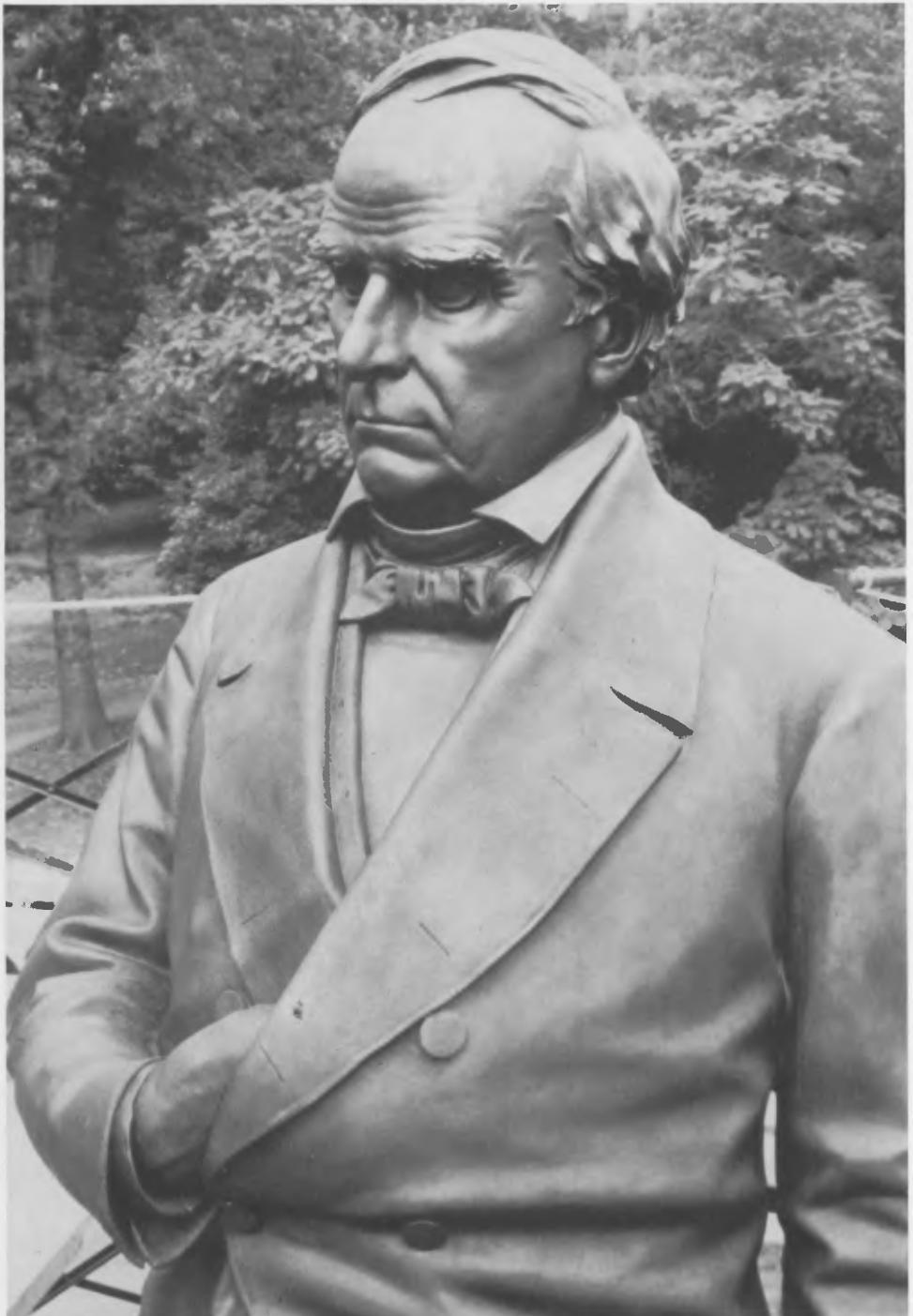


Figure 5: Daniel Webster after conservation treatment, October 1983.
Treatment consisted of corrosion removal using glass microspheres at
40-60 psi, repatination and application of protective coating (Incralac)

THE STATUE OF LIBERTY: A MONUMENT OF METAL

E. Blaine Cliver*

SUMMARY

The five-year project to restore the Statue of Liberty has caught the attention of two nations, and countless individuals. A gift from the people of France to the people of the United States, the statue has survived the ravages of time fairly well. Nevertheless, this work of art -- seen as a veritable national icon -- stood in need of a \$75 million restoration project. The repair work and the mitigation of detrimental conditions that were involved are discussed in terms of the various systems that compose and influence "Miss Liberty".

* Chief, North Atlantic Historic Preservation Center
National Park Service, Boston, Massachusetts

JULY, 1986

She stands elevated on a pedestal in New York Harbor. Her name, "Miss Liberty", is known world over and what she symbolizes is a cherished freedom shared by the people of two nations. Although well known by name, her physical attributes may not be remembered so easily.

The Statue of Liberty stands 152 feet tall on a stone pedestal 87 feet high. Below this pedestal is a concrete foundation 90 feet square at its base, standing 52 feet, 10 inches high. When poured this was the largest single mass of concrete formed up to that time. To be specific, her nose is four and a half feet long, her mouth three feet wide, and a finger nail 10 inches across. She holds a tablet in her left arm bearing the date July 4, 1776, commemorating American independence.

Conceived by Auguste Bartholdi the statue design was developed in the early 1870's. By the time of the centennial exposition in Philadelphia the right hand with torch had been fabricated and was exhibited there. During the years following the exposition, the hand and torch were displayed in New York City at Madison Square, until their return to Paris in 1881. The purpose of displaying the right hand was to raise money for the construction of the pedestal, a project to be accomplished with funds raised in the United States. By 1883, design of the new pedestal had been begun by the noted American architect Richard Morris Hunt. Although this proceeded well and construction was begun, delays occurred and the project was halted in 1884 owing to a lack of money.

However, in France, considerable progress was being made. "Liberty's" head was completed for the Paris Exposition of 1878, and consideration of her structural support system was being developed by the noted architect Viollet-le-Duc. After his death in 1879, a new system for the statue's support came into being. Bartholdi engaged the engineer, Gustave Eiffel to develop a structural design. Eiffel's approach differed from that of Viollet-Le-Duc's. Instead of relying on a masonry core having compartments filled with sand to give support to the copper, Eiffel proposed to use an iron skeletal frame to which the copper skin would be attached. Eiffel's design was composed of elements that could be bolted or riveted together that allowed the statue to be erected first in Paris before being dismantled and shipped to New York City. This change in approach to the support structure also meant that the copper would require something to stiffen it or give it rigidity as well as a means of attaching it to its iron skeleton.

To provide the necessary rigidity an armature system of iron bars was fabricated similar to that of a wire woman's

dress form. This iron grid, which conformed on the interior to the curvature of the copper skin was supported in turn on the internal structure with iron flat bars. The ingenuity of this system lies in using these iron bars in compression and not in tension. In this manner they act like over 200 giant springs, dampening the effects of wind pressure and thermal expansion.

As the initial erection of the statue was being completed in January 1884, in Paris, a campaign was underway in New York City to raise the needed dollars for completion of "Liberty's" pedestal. Leading the way was Joseph Pulitzer, owner of the New York World and himself an immigrant. Through his efforts and those of his newspaper the campaign was successful and the construction resumed. In Paris "The Statue of Liberty Enlightening the World" was presented as a gift from the people of France to the people of the United States on July 4, 1884. Following the presentation she was dismantled, crated and shipped to New York, arriving in June 1885, to a still-to-be-completed pedestal.

The contract for her final assembly in her new home was not signed until May 1886, at a cost of \$10,000. During the intervening months she lay in pieces stored in sheds on Bedloe's Island. These months were not lost totally in vain. Concerns for the galvanic couple formed between the iron armature and the copper skin were expressed by the engineer-in-charge General Charles P. Stone. This period of storage allowed the engineers to develop a method to allay these concerns and each armature bar was removed from the copper and a layer of asbestos felt saturated with shellac inserted between. (This information comes from research completed recently by Carole Perrault as part of the preparation of a historic structure report.) In reinstalling the armature attached to the skin with copper saddles two additional rivets were added to the saddles. (Photographs of the completed statue in Paris and those of the toes as they arrived in New York show four rivets per saddle, two on each side of the armature bar. Existing saddles on the statue have six rivets, presumably the additional rivets were installed during the reinstallation of the armature bars.) According to the contract the assembly was to begin by May 10, 1886 and be completed by September. But, it was not until October 28, 1886, that the Statue of Liberty was dedicated on Bedloe's Island in New York Harbor.

Having endured a century of exposure to the ravages of both nature and mankind, the Statue of Liberty stood in need of care. Such caring was a delicate process: she is composed of numerous elements that have worked interactively during the decades, forming a complex of systems that have now achieved

a balance on the one hand, and require modification on the other, if this wonder of the 19th century was to survive. The solution to these various problems and the uniqueness of the statue herself are what have made her restoration both unusual and exciting. It has not been the development of new technologies, but the understanding of existing systems and traditional materials, that has presented the challenge.

Behind the garment folds and stern countenance are the interrelated parts that make up this gigantic sculpture. First, and in some ways the most unique, is the structural support system, comprising a central pylon surrounded by light secondary support members. Attached to this is the system of wrought-iron armature bars forming a convoluted grid, similar to a woman's dress form, to which the copper is fastened. The copper and the iron form a galvanic couple, a system that requires control to halt its continual deformation of the statue's skin, and the eventual failure of the armature. Most delicate of all is the formation and protection of the copper patina. The patina is the result of a dynamic system formed by the interaction of a metal with the environment. Growth of the patina took place over a period of years; after its initial formation, the patina has continued to react and change with surrounding conditions, exposing a now varied green surface to all those who still pass her light held on high.

STRUCTURAL SYSTEM

Within the copper body is the skeletal support system designed by Gustave Eiffel. This structure is composed of a rigid central core upon which a skin-supporting armature made up of iron bars, 18mm by 50mm, is attached. The central core -- surrounded by a secondary, light angle-iron frame -- has as its elements four iron girders composing a pylon. Eiffel's design anticipated the glass-skinned buildings lining the avenues of today's cities; its rigid frame supporting a light skin represents an early example of curtain-wall construction. Acting as large, flat springs, these bars allow the copper skin and its accompanying armature to give under wind loads and thermal stress, dampening their effect.

Clearly, Eiffel's design has enabled the statue to survive with little distortion caused by these loads. At first it was thought that the saddle connection between copper and armature was to allow for movement caused by thermal expansion. However, since no cracks could be seen in the paint layers that coated these saddles and bars in the course of time, it is unlikely that any such movement has taken place. Since the saddles are sometimes on both axiis of the surface, it is questionable whether any movement was ever intended. With

the considerable temperature differentials that occur in the skin, there is no question that movement takes place -- movement that must be absorbed in the folds of the copper and the curtain-wall system of Eiffel.

Although Eiffel's design was found to be sound, a modification of the shoulder supporting the raised arm caused some engineering concern. The arm structure acts as a leaning or cantilevered column, resting -- offset -- on the central pylon. The arm structure is supported by the light framing of the secondary members. Eiffel's design retained a continuity of arm structure, secondary framing, and central pylon. During the erection in Paris, the box truss for the arm was moved outward approximately 18 inches (26cm). Additional members had to be added to the secondary framing, which resulted in a loss of continuity. This induced unanticipated stresses and bending into the secondary framing, which was designed to take only tensile and compression stress. Whether or not Eiffel knew of or approved such changes, we do not know. However, the nature of these changes were not consistent with good engineering design, and it seems unlikely that the design changes can be attributed to Eiffel.

An evaluation of this shoulder connection was made by the U.S. Army during a period when it was under the Army's jurisdiction in the 1930's. This evaluation resulted in some additional members being added. During the current project the structure was reevaluated, and it was determined that additional structural work was needed. Because the original modification had taken place during the statue's initial erection in Paris, and told a story relevant to that process, the National Park Service preferred to repair and preserve the physical evidence of this modification if possible, as opposed to removing and replacing it with new elements. These minor modifications were done and the physical story preserved.

ARMATURE SYSTEM

An article appearing in Scientific American magazine at the time the statue was completed in New York City alluded to "five dangers" to which the statue could be subjected. One of the "dangers" -- the galvanic reaction between iron and copper -- was mitigated by "...an ingenious insulation of the copper from the iron framework..., the insulating material used being asbestos cloth [felt] soaked in shellac; and the device has managed so cunningly that in no place do the two metals come in contact with each other."² Over the years, through saturation with water from interior condensation and leakage, this material broke down. Because of its ability

to absorb moisture, an electrolyte of soluble salts was formed. The danger that the magazine article had described as having been "managed so cunningly" began its deleterious effect on the iron (see Illustration 1). The iron, being the less noble metal, becomes sacrificial and loses its electrons.³ As this process continued, the iron oxidized and exfoliated longitudinally along piling, or fiber, boundaries. (Piling is a part of the iron-making process, in which lower-quality bars are layered with higher-quality material, all being heated and hammered together to form a material that is composed of forged layers.)⁴ During investigations for the recent work, this iron armature was found in some places to have lost more than half its thickness.

Any preservation of "the Lady" obviously had to involve the arresting of the galvanic action. This process became one of the major aspects of the project. As we had seen with the original shellac saturated asbestos, the isolation of the dissimilar metals depended on the longevity of the isolating material. We did not want to rely completely on a material whose long-term life -- under the conditions at the statue -- was uncertain. We thus investigated the use of a replacement material for the armature that would form a minimal galvanic reaction with the copper and, at the same time, retain the existing elastic properties of the armature and the flat bars. Of further consideration, the replacement material was to be as close as possible in physical characteristics and appearance to the original.

With such parameters in mind, stainless steel became a possible replacement material, in addition to the obvious candidates of iron and copper alloys. Tests were conducted, in consultation with metallurgists, to determine the reaction in a variety of electrolytes between copper and various selected stainless steels, copper alloys, and iron. As a result of these tests, further outside weathering tests were conducted near salt water with couples made of copper and each of five metals: 316 stainless steel, Ferralium, a copper-nickel alloy, aluminum bronze, and a mild steel. As expected, the mild steel showed accelerated deterioration when in contact with the copper, as had the iron armature in the statue. The other metals showed virtually no reaction with the copper.

Unknown -- or more accurately, indeterminate -- was the action under wind stress and other vibration of the approximately 1800 interconnected armature bars to which the copper is attached. Therefore, it was felt that maintaining the same characteristics or elasticity was of extreme importance. Corrosion resistance in the material as well

as its compatibility with copper were also of great importance. Similarity in elasticity could be achieved in two ways: using a material of the same or similar modulus, or by varying the section of a material having a different modulus so that it would react in a similar mechanical way.

The method⁵ used to attach the copper to the armature bar -- a copper saddle about six inches long going around the bar and riveted through the skin with three rivets on either side of the bar -- had made a large number of holes in the skin. We intended for the replacement saddles to be fastened in the same way, utilizing the same rivet holes to minimize the number of additional perforations required. The space between the rows of rivet holes set a limit to the width of any replacement bars. Essentially, the new bars would have to be the same width as the old ones.

To achieve a mechanical behavior similar to that of the original wrought iron, bars made of the copper alloys would have required an increase in cross section depth, the dimension away from the skin. Such an increase would cause bars made of the copper alloys to weigh one-third more than the existing armature. This was considered to be undesirable, because of possible effects of the additional weight on the structure. The stainless steels were very close in modulus to the iron, so bars of that material would require no change in dimension. Under conditions similar to those of the statue's interior, the stainless steel was found to have almost no reaction with the copper.⁶ Therefore, a stainless steel was selected to replace the iron of the armature, based on its mechanical, metallurgical, and fabrication properties, as well as on the preservation principle of replacing one material with a like or similar material.⁷ As an added precaution, a layer of Teflon was placed between the copper and the stainless steel as an electrolytic barrier.

THE SKIN AND ITS PATINA

The copper forming the main body of "the Lady" is in excellent condition, considering its years of exposure; it has undergone little change in configuration. With riveted seams and riveted attachments to the iron armature, the opportunity for moisture penetration initially was great. Coal-tar waterproofing applied to the interior in 1911⁸ has, to a large extent, sealed these seams. However, holes punched through the copper from the interior at water collecting points (i.e., folds in the gown, etc.) to allow moisture to run to the outside also allowed the coal tar to do so. The result has been runs and spatters of coal tar and later paint coatings

on the exterior of the skin. These drips, as disfiguring as they may be, are not detrimental to the preservation of the copper.

The effect of the iron armature exfoliation has been more deleterious. This disintegration of the iron as discussed previously, had been greatest at the points of attachment to the copper. Here, at the saddle fasteners, was an excellent place for the capillary collection of an electrolyte -- a necessary fluid in any galvanic couple. As the iron expanded from corrosion, the force expansive pulled the rivets fastening the saddles through the copper skin (see Illustration 2). However, before the rupture occurred, pressure against the skin caused an outward bulge in the copper to be formed between the anchoring rows of rivets, and an inward depression to form around the rivets themselves. Only a small percentage of the saddles had their rivets rupture the skin. However, a large number have seen enough iron deterioration to cause considerable surface disfiguration. This disfigurement was primarily cosmetic. After the cause was corrected, the copper was not reformed. To have reshaped the bulged areas would have caused damage to the exterior patina, and the original surface configuration could never have been achieved, because the copper in these areas had been stretched beyond reforming. Also, since the removal process proved to be damaging to the patina, it was decided not to remove the paint and coal tar from the exterior surface.

The corrosion behavior of the copper during the past 100 years was of primary concern. Considerable amounts of data exist on the corrosion of copper in environments near, or similar to, the Statue of Liberty. Such independent studies of extensive exposure periods have developed a copper corrosion rate of 0.04 to 0.06 mils (.0010 - .0015 mm)/year. Measurements of copper thickness loss throughout the Statue are within this range (Table 1) indicating no unusual degradation process has occurred. This data was obtained by ultrasonically measuring the differential thickness between areas protected by coal tar streaks since 1911, and area immediately adjacent to each streak which was unprotected. (This information was developed from a joint research project carried out by the author and Dr. Robert Baboian of Texas Instruments.)

The exposure direction and configuration are factors which can greatly affect the rate of corrosion. Surfaces horizontally exposed can have accelerated corrosion rates compared to such surfaces exposed vertically. At the Statue this was the case as expressed in Table 1. Corrosion of the horizontal base is greater than in the head, mid-section and

lower section where the exposure angle in measured areas was between 45° and vertical. No significant difference in corrosion rates is indicated, either vertically or circumferentially. However, certain areas have shown accelerated corrosion rates. Areas such as the curls where aqueous liquid collected on the inside owing to the lack of drainage. Replacement of the deteriorated copper was required in these locations. These patches to the copper skin were done in the same repousse technique as that used originally to fabricate the Statue.

The greenish appearance of the Statue, of course, is the result of corrosion. With copper, this corrosion or patina forms a protective layer which greatly extends the life of the metal when exposed to environmental conditions. Rates at which the corrosion of copper occur can vary with the environment and the amount of time that copper has been exposed. When the patina is being formed is the period having the highest rate of corrosion. Industrial and marine environments can cause the rate to be four times greater in the first year than in the tenth year of exposure. After the tenth year the corrosion rate stabilizes. At this point the patina formation does not affect changes in the corrosion rate of the copper. Because of this characteristic in the copper corrosion rate, the Statue would have undergone an accelerated loss of its copper had we chosen to clean it down to "bright" copper, thus reducing its life by at least a generation.

The dynamic copper/patina system is a result of the interaction of the metal with the environment. Its thickness, composition and appearance is therefore highly dependent on the metal composition, physical characteristics and the nature of the environment. Historical photographs of the Statue show that earlier, after going from a brown copper oxide to darker "blackish" patina, the green patina had developed more uniformly (by c. 1915) on the Statue than that observed in recent years. Comparative aerial photographs taken in 1965, 1974, and 1983 show that since 1965, large areas on the left side of the Statue (facing Northeast and Manhattan) have darkened (see Illustration 3). Patina thickness measurements were made using the eddy current technique. The data in Table 2 shows that the thickness in the darker areas is one half to one tenth the thickness in adjacent green areas. Also, the patina is thicker on the right side as well as in sheltered areas unaffected by wind and aqueous runoff. It is interesting to note that when the outer green patina is removed mechanically, a dark layer is uncovered.

Photographs showing the darkening on the left side, and the patina thickness measurements (Table 2) indicate that

wind erosion and/or aqueous runoff is removing the outer green patina, exposing the underlying black layer. (The new torch which was artificially patinated before installation has weathered in the same manner, suffering a patina loss on the northeast side.) This effect has occurred because the rate of erosion exceeds the rate of formation of the green patina. On the other hand, the rate of formation of the black layer seems to exceed the rate of erosion of this layer and therefore the stability and rate of corrosion of the copper has not been measurably affected (see Table 1). If, however, the dynamics of this metal/patina system changes, the corrosion rate of the copper could increase significantly in the future.

Changes occurring in the composition of the patina were first reported by Norman Nielsen. However, there is an important correlation of the patina composition with the appearance and thickness of the patina. Table 3 shows that there is a high antlerite content in the green patina on the darkened left side of the Statue whereas the green patina is predominantly brochantite on the right side. In addition, analysis of the patina on a copper piece removed from the Statue in 1905 showed no antlerite content.⁹ Thus, it is felt that over the past few decades, the stable form of patina, which is basic copper sulfate (brochantite), converts, possibly from past increased acidity in the environment, to the less stable form (antlerite) which is more susceptible to erosion. The reaction has occurred predominantly on the left (northeast) side of the Statue. This side is susceptible to severe northeast weather patterns. Wind erosion could therefore be the cause of the darkening on the left side, with the acid deposition a factor in causing the patina to become more friable and thus more readily affected by erosion which it was not susceptible to during the first half of the century.

Although methods exist to protect copper patinas from the weathering effects of acid deposition, none of these are permanent and therefore periodic maintenance is required. This is not possible on the Statue of Liberty because of the inaccessibility of most of the surface in the absence of the scaffolding.

We can do little at the present time to prevent further loss of patina. No coating or other treatment of the exterior patina was done during the recent restoration, because of the short lifespan of the products considered, and the large size and inaccessibility of the statue. However, since access to the exterior surface will be very limited once the project scaffolding is down, a program of monitoring skin thickness from accessible station points on the interior is planned. In this manner we will be able to measure rates of copper loss over the life of the statue, which, at present rates, should be at least 1,000 years.¹⁰

LIGHTING AND THE FLAME

Over the past century, the Statue of Liberty has had its exterior lighted by many systems, each utilizing the latest in lighting technology. The current project has been no different. However, the lighting systems that have had the greatest effect on the fabric have been those associated with the torch flame. As originally constructed, the flame was fabricated of copper in the same repoussé technique as the rest of the statue. Displayed with the torch and hand at the centennial exhibition in Philadelphia in 1876, the flame exhibited a solid copper surface. After several years of display in New York's Madison Square, following the centennial, the torch, flame, and hand were returned to Paris in 1881. Photographs show the same flame as displayed in Philadelphia resting at the base of a half-completed statue in Paris during this phase of construction. A photograph taken still later, when the statue's parts were delivered to Bedloe's Island in New York Harbor, shows the flame resting at the delivery pier, its form somewhat modified from the earlier photographs.

The modifications involved the relocation of one of the salient tongues of the flame, and the inclusion of what appeared to be a circular opening in the top of the flame where the tongue had been. Because of later modifications to the flame, the relocated tongue no longer exists. An obvious question arose as to whether the modification was a permanent one. Close inspection of photographs taken of the statue after her completion in Paris, and after her dedication on Bedloe's Island, showed that the change was permanent. Inspection of the original copper of the flame (the upper half still retains much original metal) revealed evidence of this early modification; the area of copper that had surrounded the relocated tongue was seen to have been altered, as well.

The reasons for this modification are unknown. We do know that the flame remain unchanged at the base of the statue for almost two years until the statue was nearly completed; the relocation of the tongue would appear to have been a last-minute decision. Whatever lay behind this change, the flame's appearance was to continue to evolve. Shortly before the re-erection of the statue in New York Harbor, two rows of holes were cut through the copper of the flame's lower half. Within were placed nine 2,000 candlepower electric arc lamps, so that "Liberty" could serve as a harbor beacon for New York City. As this scheme proved aesthetically and technically unsatisfactory, further alterations were made in 1892. These consisted of removing a wide copper band from the flame's lower half, adding a lantern to the top, and, in the process, removing the previously modified flame tongue.

The hoped-for results were never quite achieved, and in 1916, under the direction of Borglum -- the famed sculptor of Mt. Rushmore -- the flame was fenestrated with 250 small glassed openings, achieving its appearance of today. Within were placed several state-of-the-art, incandescent-light fixtures that radiated a glow -- through the panels of glass -- over the surface of the flame. As lighting systems have improved over the years, the torch has been kept lit by the latest innovations in the lighting industry. Nevertheless, the number of joints between glass and copper remained difficult to seal, and the flame continued to leak and be a major maintenance problem. During this century, the greatest source of moisture penetration into the statue was the flame.

Through alteration and deterioration, the original flame had become unstable. To have repaired it would have meant a total rebuilding and, in essence, a loss of the existing material. A decision therefore was made to replace the flame, and to preserve the original altered relic in the museum at the base. Accompanying the flame in the museum is the upper portion of the torch which also has suffered greatly at the hand of time.

Naturally, the question arose as to what form the replacement flame should take. The mere reproduction of the old one with new materials would have meant re-creating a known maintenance problem. Furthermore, the original, altered flame would be available for viewing on site. The idea of making the new flame transparent of either cast glass or plastic was investigated. Each approach was found to be unsatisfactory, owing to both a maintenance problem (How do you repair or replace a solid casting at that height?), and fabrication and longevity considerations. Casting glass of those proportions would have been extremely difficult with the deadline we faced. It also would add greatly to the weight resting on the arm structure. The lifespan of most plastics in terms of centuries is unknown, and their use therefore questionable.

The simplest, most watertight, and most appropriate historical solution was to return the flame to its appearance as Bartholdi created it, and as it was first placed on the completed statue. This, of course, was the copper flame without fenestrations, but with the modification to the flame tongue. Research indicated that the flame had been gilded prior to 1905,¹² so a new lighting system was designed based upon a new gilded copper flame. Naturally, the new lighting scheme is an exterior one. Gleaming in the sunlight during the day,

the new flame also glows at night, reflecting light both from the torch balcony and from focused spot lighting on the ground. Ground lighting washes the statue from its base to the flame with a growing intensity, so that the symbol of the torch raised on high dominates the island and shows brightly to the world beyond.

NEW ACCOMMODATION FOR THE VISITOR

Bartholdi never envisioned the numbers of people, estimated to exceed two million in 1987, that now visit the Statue of Liberty each year. Over the statue's life, periodic changes have been made to the interior of the pedestal to accommodate increased visitation. The first elevator was added in 1907, and new concrete stairs replaced the deteriorating iron ones in the late 1930's. In the 1960's the National Park Service added the present museum building around the base. Taking advantage of the current fundraising effort, it was decided to see if the visitor circulation system and experience could be improved.

Studies were accomplished showing that the flow up the original tight, iron spiral stairs through the statue to the crown was the limiting factor. Only a fraction of visitors -- one quarter -- make the climb to the crown. The view from the crown is certainly not the grandest, and it was realized that it was the experience of climbing to the crown that was recalled by the visitors, not the view. There was nothing we could or would do to enlarge the head or the passage through it. Therefore, we decided to preserve the circular iron stairs, and only to add some improvements to them for reasons of safety. (An air conditioning system was added to reduce internal humidity, not for visitor comfort.) Preservation of the statue's internal access system made a great deal of sense, since there was little we could do to increase the number of visitors or gain access for the handicapped. However, there was room for improvement to the circulation system elsewhere.

The biggest improvement for the visitor was made within the pedestal. The scissor-like concrete stairs installed in the 1930's rose on one side of the pedestal, through concrete slab floors, alongside an enclosed elevator shaft. This obliterated the spatial relationship within the pedestal that was seen by the first visitors as they climbed the original cast-iron stairs in the late nineteenth century. Also located inside the pedestal is the dunnage for anchoring the statue, which is composed of great steel girders at two levels connected together with massive tie bars. To improve the spatial

character, and to give the visitor a better view of the dunnage, the work of the 1930's was removed. In its place, a new stainless-steel stair winds its way around the interior, over the dunnage and up to the balcony level at the top of the pedestal, where the visitor can get an excellent view of the surrounding area. Rising in the center of this open space is a new hydraulic elevator with two glass-walled cabs stacked one on top of the other. Not needing an enclosed shaft, the elevator gives its riders a much better view of the space through which they are passing. Below, at the base, the museum has been refurbished with new exhibits, and a rebuilt lobby -- housing as its focal point the old torch and flame -- greets the 1986 visitor.

NOTES

¹The fundraising and contracting organization for the current project is the Statue of Liberty-Ellis Island Foundation, Inc.; architect is Swanke Hayden Connell Architects; structural engineer is Ammon and Whitney; construction manager is Lehrer/McGovern; project manager is GSGSB; overall review approval, technical direction, and historical research are provided by the National Park Service.

²Scientific American, Nov. 20, 1886, p. 320.

³Robert Baboian, "Controlling Galvanic Corrosion", Machine Design (Oct. 11, 1979).

⁴Frederick Overman, Treatise on Metallurgy (New York: D. Appleton and Co., 1852).

⁵The use of saddles around bars is found on the statue of S. Carlo Borromeo outside of Milan, Italy, constructed 300 years before the Statue of Liberty. It would seem unlikely that this was devised by Eiffel but, more likely, was part of the copper fabrication process.

⁶N. Sridhar, letter to E. Blaine Cliver; Jan. 5, 1984 (submitting Cabot Corporation report of December 12, 1983).

⁷See Secretary of the Interior's Standards for the Preservation of Historic Buildings".

⁸Quartermaster General Report, U.S. Army, Washington, D.C.; Aug. 5, 1911.

⁹Norman A. Nielsen, "Examination of Copper Removed in 1905 from the Statue of Liberty", NPS Report, Boston, Apr. 1984.

¹⁰This calculation is based on the assumption that the skin could suffer a loss of two thirds of its thickness before failure would occur.

¹¹Annual Report of the Lighthouse Board, Government Printing Office, (Washington, D.C.: 1892).

¹²Civil Engineer, letter to Chief Quartermaster, Governor's Island; July 13, 1905.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author would like to acknowledge the contributions of all those involved in this historic effort. I would like to thank in particular those members of the Preservation Center's staff, Carole Perrault, Norman Nielsen, and John Robbins, whose intimate involvement has assisted greatly with the outcome of the project, both in terms of research and construction. I also would like to acknowledge the devotion of E. Lawrence Bellante of GSGSB, Architects & Engineers, to the project, without whose assistance and direction the work would have been of lesser quality. My appreciation is likewise expressed to: Dr. Robert Baboian of Texas Instruments, for his collaboration in the research behind portions of this paper and his assistance throughout the project; Philippe Grandjean, architect, for the early direction and design he brought to the project; Thierry Despont, Robert Landsman, and Richard Hayden, without whose drawings the project could not have been accomplished.

TABLE 1 — Copper corrosion rates on the Statue (mpy)

Vertical location on Statue	Circumferential location on Statue			
	Left	Right	Front	Rear
Head	0.051, 0.061	0.053	—	—
Mid-section	0.046, 0.053	0.043	0.032, 0.039 0.050	0.041, 0.045 0.047, 0.059
Lower-section	0.049, 0.053	0.057	0.049, 0.050	0.032, 0.045
Horizontal base	0.064	0.059	0.054	0.064

TABLE 2 — Patina thickness on Statue

Location	Patina thickness (mils)	Patina color
Cheek		
Left side	0.35 to 0.5	Dark
Right side	3.0 to 5.4	Green
Neck		
Left side	0.25 to 0.35	Dark
Left side	0.5 to 0.9	Slight green
Upper arm		
Left side	0.39	Dark
Right side	1.8 to 2.4	Green
Torch shank		
Left side	0.9	Dark
Right side	3.6	Green
Front	1.5	Green
Rear	1.8	Green
Arm at green panel		
Green panel	2.5 to 3.5	Green
Black adjacent panel	0.25 to 1.5	Black
Sheltered areas		
Under left curl	5.4	Green
Right arm/robe	3.1	Green

TABLE 3 — Patina analysis on the Statue

Location on Statue	Patina content	Patina color
Neck, left side	BRO > Cu ₂ O	Dark
Left cheek	BRO/ANT	Green
Left curl	BRO/ANT	Dark
Left curl (sheltered area)	ANT	Green
Chin, left front	No intensity peaks	Black
Left side (lower section)	BRO/ANT	Green
Left side of toe	BRO > ANT	Green
Right side, arm near torch	BRO	Green
Right side, lower arm	BRO	Green
Right side, lower section	BRO > > ANT	Green
Rear, lower section	BRO > ANT	Green
Rear, lower section (sheltered)	ANT	Green
Green panel on arm	BRO > Cu ₂ O	Green
Black panel next to green panel on arm	No intensity peaks	Black
Copper sample removed in 1905	BRO/Cu ₂ O	Dark green

BRO = Brochantite

ANT = Antlerite

MECHANISM OF COPPER/IRON ARMATURE GALVANIC CORROSION ON THE STATUE OF LIBERTY

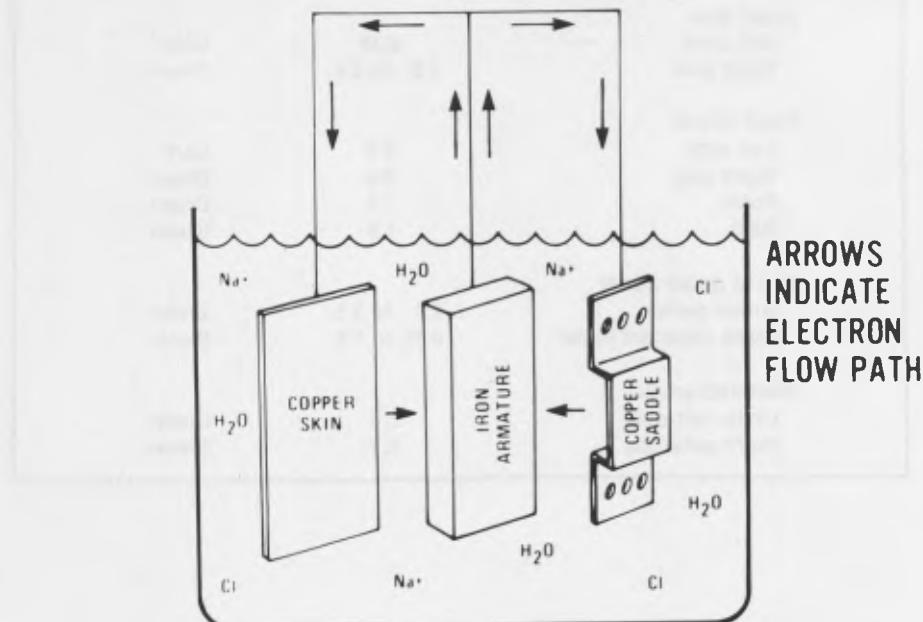
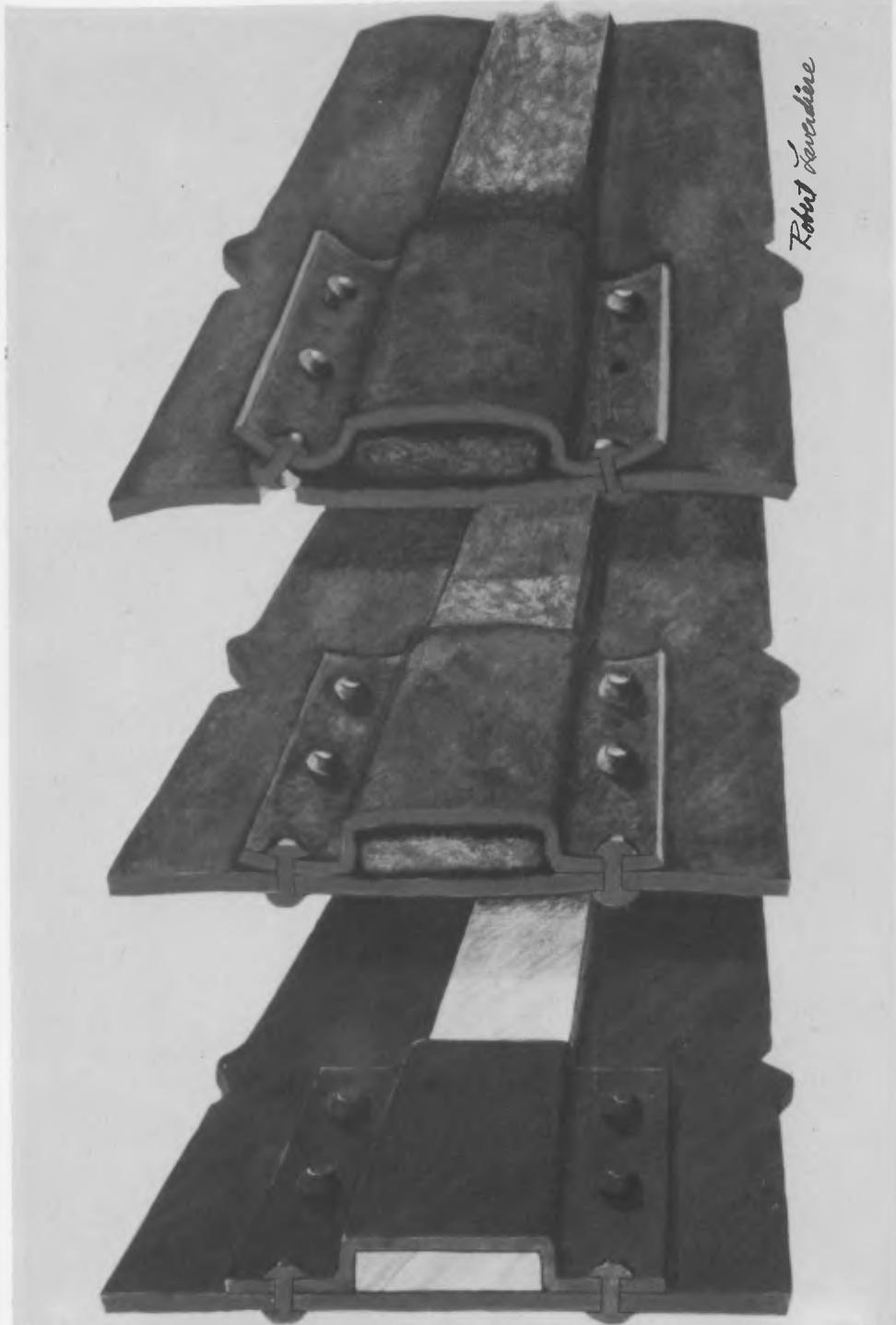


Fig. 1 (by courtesy of Texas Instruments)



Robert Laverdiere

Fig. 2 (by courtesy of Texas Instruments)
(artist Robert Laverdiere)

DARKENING OF LEFT SIDE (FACING MANHATTAN) OF THE STATUE OF LIBERTY

PHOTOS BY JAY MAISEL



1965



1974



1983



Fig. 4. Computer graphic of the Statue's interior.

LA RESTAURATION DE LA STATUE DE LA LIBERTE A PARIS

Colette DI MATTEO*

La statue de la Liberté fut érigée à Paris en 1889 pour célébrer le centenaire de la Révolution française. Cet événement fut l'occasion d'une grande exposition universelle qui réunit les meilleurs artistes et architectes du monde entier. La statue fut réalisée par l'artiste français Frédéric Auguste Bartholdi, et son architecte Gustave Eiffel. La statue est une œuvre emblématique de la France et de sa culture. Elle a été restaurée plusieurs fois au fil des ans, mais la dernière restauration majeure a été effectuée en 2010. La restauration a été menée par l'Institut National du Patrimoine (INP) et a consisté en une inspection détaillée de l'ensemble de la statue, une analyse des matériaux utilisés et une réparation des dommages causés par le temps et l'environnement. Les travaux ont été réalisés par des experts qualifiés et ont respecté les principes de la restauration préventive. La statue a été restaurée pour assurer sa durabilité et sa sécurité pour les générations futures.

La restauration de la statue de la Liberté a été un succès et a été saluée par les autorités françaises et internationales. La statue reste un symbole important de la France et de sa culture, et sa restauration préventive assure sa持久性 et sa sécurité pour les générations futures.

* Inspecteur Principal des Monuments Historiques
Ministère de la Culture, Paris, France

La statue de la Liberté de Paris, créée sur le même modèle que celle de New York, est installée en avant du Pont de Grenelle, sur l'Île aux Cygnes, depuis 1889.

Sa restauration en a été entreprise à l'initiative de la Ville de Paris, propriétaire, en 1985.

Cette statue a été donnée à la Ville de Paris par le Comité "la Colonie Parisienne des Etats-Unis", en 1885, en signe de reconnaissance vis-à-vis du don de celle de New York. Elle a été commandée à Bartholdi exactement en même temps que celle de New York et il est naturel de constater la similitude des deux statues, par rapport au modèle commun, dernier état des recherches du sculpteur avant l'exécution des monuments.

Cette création de statue monumentale mérite d'être restituée dans l'œuvre de Bartholdi, car, si elle correspond à l'une des tendances de l'époque en matière de sculpture, elle illustre aussi un goût personnel de l'artiste.

Né à Colmar en 1834, Frédéric Auguste Bartholdi sera formé par le sculpteur Etex et le peintre Ary Scheffer. Son voyage en Egypte de 1856 lui fera découvrir les statues colossales dont il fera de nombreux croquis, dont on relève l'influence dans les œuvres ultérieures. Auteur notamment de la statue de Champollion placée devant le Collège de France (en 1875), de 14 statues "officielles" pour sa ville natale de Colmar, du Lion de Belfort qu'il réalise en 1876 à la suite du concours de 1872, Bartholdi travaillera spontanément à partir de 1857, dès son retour d'Egypte, à un projet de statue colossale pour marquer l'entrée du Canal de Suez. Ce projet illustrant le thème "l'Egypte apportant la lumière à l'Asie", ne verra pas le jour, mais les esquisses dessinées et les maquettes préliminaires demeurent des documents importants dans la genèse de la statue de la Liberté.

Les recherches de Bartholdi pour la statue de la Liberté commenceront dès 1870, date à laquelle le sculpteur abandonne tout espoir de voir commander la statue de Suez. Les maquettes des deux projets conservées au Conservatoire des Arts et Métiers de Paris, données par la veuve de Bartholdi en 1890, permettent de suivre l'évolution des intentions du sculpteur et la continuité de son inspiration.

La statue de la Liberté de Paris reprend le dernier état des recherches de Bartholdi pour celle de New York. L'ingénieur Collas en étudie la réduction. Les fondeurs Thiébaut Frères de Paris s'en voient confier la réalisation.

La statue est fondu, en fonte de bronze sur armature de fer, en 1885.

Placée initialement place des Etats-Unis où elle est inaugurée le 13 mai 1885, elle est installée en 1889 à son emplacement actuel, sur le Pont de Grenelle, sur le projet de l'architecte Jules Formige. Elle sera déposée en 1967 quand le Pont de Grenelle sera reconstruit et élargi. À cette date, la statue sera retournée vers l'Ouest, en direction de New York.

Dans l'histoire de sa conservation, on doit relever un accident de taille survenu lors de la dernière guerre, la fracture de la statue par des éclats d'obus, laissant ouverte une brèche depuis la base de la tête.

La restauration de la statue de la Liberté de Paris est programmée par la Ville de Paris dans le contexte d'un projet de remise en état de toutes les grandes statues monumentales lui appartenant: la République de la Place de la République, des frères Morice datant de 1883, restaurée en 1984-85, la République de la Place de la Nation, de Dalou, de 1899, devant suivre. La restauration de la statue de la Liberté a été partiellement financée par la Fondation Florence Gould.

Le projet initial ne comprenait que la remise en état de la surface de la statue, au vu de la corrosion de son épiderme.

Le premier projet, étudié par M. Sassenus, ne comprenait donc qu'un "sablage et une patine". Pourtant, à l'analyse plus poussée de la statue, il s'est vite avéré indispensable de traiter également la structure même du monument, rendue incertaine du fait de l'altération de l'armature.

La brèche de plusieurs dizaines de centimètres à la base de la tête de la statue avait en effet favorisé l'accès d'eau, et la corrosion de sa structure interne de fer. Par ailleurs, sous l'action de l'eau et l'effet de couple électrolytique, le système de boulonnerie de fer ne pouvait assurer son rôle et maintenir la statue de bronze sur son armature interne.

L'intervention de M. Bassier a été alors décidée, sur la proposition de M. Sassenus, qui conservait lui le traitement de surface du monument.

Le détail des traitements menés par M. Sassenus et M. Bassier est donné à la suite.

La statue restaurée et consolidée a été inaugurée le 23 juin 1986.

REMERCIEMENTS

Nous remercions particulièrement la Direction des Affaires Culturelles de la Ville de Paris, M. Musy, Directeur, M. de Saint-Victor, Sous-Directeur, M. Thiébault, Chef de Bureau des Monuments, de nous avoir autorisé à consulter le dossier de cette restauration.

BIBLIOGRAPHIE

LEMOINE Bertrand, La statue de la Liberté, Mardaga, (IFA), 1986.

Exposition "La Sculpture Française au XIXe siècle". Paris, Grand Palais, 10 avril-26 juillet 1986.

THEORIE ET PRATIQUE DE LA CONSERVATION DES MONUMENTS
METALLIQUES EN ATMOSPHERE URBAINE ET INDUSTRIELLE

Claude BASSIER

Directeur Technique de SOCRA S.A. - Chemin des Feutres du Toulon - 24000
PERIGUEUX

Au cours des dernières années, j'ai été consulté sur des problèmes de conservation de monuments métalliques ; l'atelier que je dirige a été appelé à intervenir sur plusieurs monuments situés en atmosphère urbaine.

Cette expérience permet de faire tout d'abord quelques observations et réflexions de caractère général.

Quelles que soient la nature et la structure de l'œuvre, tout projet d'intervention doit se fonder :

- sur une parfaite connaissance du monument, de son origine, de son histoire, de son environnement physico-chimique et biologique ;

- sur la détermination des processus d'altération, l'analyse qualitative et quantitative de leurs différents paramètres et la recherche des causes.

En conséquence, il convient de :

1 - recueillir la documentation la plus exhaustive possible sur le monument, origine, histoire, historique des traitements antérieurs ...

2 - réunir ou réaliser une documentation graphique, photographique, photocalorimétrique (si possible).

3 - étudier la nature des matériaux, la structure, les phénomènes physico-chimiques, mécaniques : statique et dynamique, biologiques.

4 - étudier les phénomènes et les produits de la corrosion

5 - élaborer le diagnostic et le programme de traitement en concertation avec les responsables techniques et administratifs de la conservation, les historiens et les historiens de l'art, les responsables des laboratoires de recherche fondamentale, de recherche technologique, ingénieurs et techniciens.

Les problèmes d'altération-conservation des métaux relèvent de trois séries de causes principales, pratiquement indissociables :

1 - physico-chimique : électro-corrosion, oxydo-réduction chimique et/ou biologique ;

2 - mécanique :

2.1 transfert des charges statiques et dynamiques ; liaisons entre les structures à fonction mécanique et l'épiderme du monument.

2.2 altération ou destruction mécanique du métal constituant le monument proprement dit.

2.3 esthétique : conservation de l'épiderme, sur les plans physico-chimique et esthétique, inséparables.

En conséquence, il est tout à fait imprudent d'envisager de traiter l'aspect extérieur du monument du seul point de vue "esthétique", sans s'être assuré auparavant :

1 - des causes de l'altération constatées par une étude scientifique et technique approfondie ;

2 - de la compétence du restaurateur dans les domaines en cause :

2.1 électro-corrosion, oxydo-réduction ;

2.2 contraintes mécaniques statiques et dynamiques ;

2.3 s'il y a lieu : métallerie, forge, soudure, rechargement, modelage, moulage, fonte, sculpture ...

2.4 traitement de surface (patine) clairement explicite dans ses fondements physico-chimiques ; échantillonné pour l'aspect esthétique ; modélisé et testé en laboratoire pour la stabilité en atmosphère urbaine ou industrielle.

Il n'en est pas toujours ainsi dans la pratique.

I - ARC DE TRIOMPHE DU CARROUSEL

Monsieur DUVAL, Architecte en Chef des Monuments Historiques, Conservateur du Louvre, se fondant sur les documents et les photographies que nous lui avons remis, vous expliquera les problèmes posés par la restauration du quadrigue de l'Arc de Triomphe du Carrousel. Les questions d'interprétation historique du monument, les doctrines différentes des Musées et des Monuments Historiques sur l'aspect esthétique du traitement, avaient fait un peu oublier les causes principales de l'altération : électro-corrosion, oxydo-réduction d'origine physique et biologique, problèmes mécaniques : statique, dynamique et transfert des charges.

Les travaux de patine et de dorure, seuls envisagés à l'origine, ont été interrompus pour permettre l'intervention technique susceptible de remédier aux causes premières de l'altération.

Nous avons examiné les structures, calculé les contraintes mécaniques, établi un projet de restauration. Il existait un réel danger d'effondrement de la statue et du char ; le rayon de la roue droite supportant 1.750 kgs de charge, non compris les contraintes atmosphériques, n'était plus composé que d'oxydes de fer ; le char oscillait de plusieurs centimètres en tête de la statue.

Suppression de toutes les structures portantes en fer ; remplacement par des éléments en bronze et des structures composites en bronze et stratifié de fibre de verre-résine époxyde ; réalisation de pièces de transfert des contraintes sur l'Arc de Triomphe.

La mise en oeuvre de ce programme a nécessité le démontage de la statue de la Paix, du char et leur descente dans un atelier installé au pied du monument.

Les travaux de restauration, usinage, forge, soudure, fabrication de charpentes composites, remontage ont duré deux mois.
La prise en charge, le levage, la fixation et diverses protections en plomb ont demandé quatre jours.
La patine a été réalisée par Mr. SASSENUX qui avait déjà traité les chevaux et les renommées.

II - STATUE DE LA LIBERTE DE PARIS

Mme DI MATTEO vous a présenté l'histoire de la Statue de la Liberté du Pont de Grenelle à Paris. Pour ce monument, nous avons été confrontés à un problème analogue.

A l'occasion des cérémonies du Centenaire de la statue, le Service des Monuments de la Ville de Paris avait demandé à Mr. SASSENUX de refaire la patine.

Lorsque l'échafaudage a été monté, on s'est aperçu :

1 - qu'un ou plusieurs projectiles avaient endommagé le côté droit de la tête, de la coiffure, du cou et de l'épaule de la statue, vraisemblablement au cours des combats de 1944 ;

2 - que l'eau de pluie qui avait pénétré à l'intérieur du monument pendant plus de 40 ans, chargée d'ions acides, avait servi d'électrolyte entre le bronze et les parties en fer, provoquant la destruction totale de ces dernières. En conséquence, l'assemblage mécanique des différents éléments en bronze fondu n'était plus assuré. Le bras portant la torche, pesant près de trois tonnes, n'était plus relié à l'épaule que par des vestiges de tiges filetées oxydées dont la section métallique non oxydée ne dépassait pas en tout 150 mm² ! Il menaçait de s'effondrer.

La partie inférieure de la torche s'était déjà désolidarisée à cause de l'oxydation totale des fixations et avait disparu.

Comme pour l'Arc de triomphe du Carrousel, nous sommes intervenus dans une situation d'urgence, sans avoir la maîtrise de l'ouvrage de l'opération, sans avoir le temps de réaliser toutes les études et recherches souhaitables.

Cependant, nous avons fait un certain nombre d'observations et de calculs avant d'établir le projet d'intervention.

Nous avons découpé une petite ouverture dans la partie inférieure de la statue ; nous avons éclairé l'intérieur à l'aide d'une lampe à iode de 1000 W. que nous avons fait pénétrer par la lacune du cou et de l'épaule. Nous avons photographié à l'intérieur ; toutes les parties en fer étaient pratiquement détruites. La statue est posée sur le socle en béton armé sans fixations.

Le programme des travaux établi en concertation avec le service des Monuments de la Ville de Paris est le suivant :

1. Découpage d'une ouverture dans la partie inférieure arrière de la statue pour permettre l'accès à l'intérieur de la statue.
2. Etablissement d'un plancher sur le vide du puits du socle en béton armé.
3. Réalisation d'un échafaudage à l'intérieur de la statue.
4. Elimination par oxycoupage, perçage, fraisage et ébarbage de tous les vestiges de fer oxydé, qu'ils proviennent des vestiges du noyau de fonte de bronze ou de l'assemblage des éléments.
5. Remplacement de tous les éléments d'assemblage en fer par des éléments en bronze. Le calcul montre que la section de la boulonnnerie est toujours surabondante, en bronze comme en fer neuf à l'origine.
6. Mise en place de rails et palan pour le démontage de la tête ; démontage, pour permettre sa réparation et le travail à l'intérieur de la statue dans de bonnes conditions d'hygiène et de sécurité.
7. Modelage sur place des parties détruites ; prise d'empreinte. Réalisation de modèles en plâtre en atelier pour fonte au sable des parties détruites.
8. Réalisation par nos soins d'un modèle pour la base de la torche et fonte au sable dans les ateliers Landowski.
9. Ajustage des pièces en bronze fondu ; positionnement ; soudure à l'arc en continu ; fraisage et ciselure des raccords.
10. Après dépose de l'échafaudage intérieur, remise en place de la partie découpée pour permettre l'accès à l'intérieur de la statue ; soudure, fraisage, ciselure.
11. Le technicien de la patine intervient ensuite (!)

(!) Sur le plan sémantique, le terme "patine" reste à définir. D'autre part, il serait intéressant d'établir que les différentes observations convergentes de corrélation entre l'électro-corrosion : bronze-fer et la corrosion externe du bronze qui entraîne une destruction de l'épiderme (de la "patine"), constitue un phénomène général.
Sur le plan théorique, de nombreuses raisons militent en faveur de cette hypothèse. Si elle était confirmée, la bonne conservation de toutes les statues en bronze avec armature en fer devrait se fonder sur la suppression de la cause première des altérations.

Une partie du programme a été reporté ultérieurement à cause des délais et de certaines contraintes administratives.

1. Le calcul montre que le poids de la statue est susceptible de compenser les contraintes atmosphériques, principalement celles du vent.

2. En revanche, la fatigue du métal au niveau des plis situés à la limite de la statue et du socle, fatigue due aux contraintes mécaniques alternatives de compression-décompression, résultant de l'action du vent, est non seulement supérieure à la résistance théorique du bronze, mais aussi à la résistance pratique.

Nous avons en effet observé et photographié les micro-fissures qui témoignent de la fatigue du métal aux plis inférieurs. Comme l'épaisseur du bronze est irrégulière, comprise entre 15 mm et parfois zéro, ce sont les parties les plus minces qui sont les plus fragiles.

3. Nous avons proposé de réaliser un système qui aurait pour fonction de transmettre directement les contraintes mécaniques dynamiques au socle en béton armé de la statue. Ce système servirait en même temps d'amortisseur des contraintes dynamiques et de fixation mécanique de la statue au socle. Il serait réalisé de façon à éviter les couples d'oxydo-réduction entre la statue et le socle.

Mr. SASSENUS va vous expliquer son intervention.

III - STATUE DU TIBRE

Dans le cadre de la restauration de la statuaire du Parc du Château de Fontainebleau, Mr. COLLETTE, Architecte en Chef des Bâtiments Civils et Palais Nationaux, Conservateur du Domaine National de Fontainebleau souhaitait faire réaliser une nouvelle copie de la Statue du Tibre en bronze, détruite

pendant la Révolution. Le problème posé par Mr. COLLETTE consistait à étudier la possibilité de substituer à la fonte de bronze traditionnelle, un matériau présentant des caractéristiques de résistance physico-chimiques analogues, un épiderme analogue et un prix de revient très inférieur.

La réalisation de la copie du Tibre se réfère à des problèmes de nature différente de ceux qui viennent d'être évoqués précédemment.

La sculpture, le modelage, le moulage ne présentent pas de particularités remarquables en dehors de la nécessité de réaliser un épiderme bronze renaissance, à partir d'un original en pierre très altéré, très restauré et mal restauré au cours des siècles passés.

Pour remplacer la fonte de bronze, après de nombreux essais, nous avons réalisé un matériau constitué de 95,25 % en poids de poudre de bronze au titre de Cu 89, Sn 11 et de 4,75 % de résine époxyde.

1. Poudre de bronze.

Les grains de la poudre de bronze sont sphériques ; cette géométrie est celle qui permet le plus grand volume de métal par unité de volume de mélange. La granulométrie de la poudre suit une courbe de Gauss avec un sommet à 60μ .

2. La résine époxyde choisie présente les principales caractéristiques suivantes :

- très bonne résistance chimique, en particulier aux acides,
- bonne résistance aux UV,
- bonne résistance à l'eau,
- très faible absorption d'eau en fonction du temps et de la température.

3. Le mélange du bronze et de la résine durcie donne un matériau présentant un aspect et un éclat métallique, une densité de 6,8. La résistance à la compression et à la flexion est bonne ; la résistance à la traction est faible.

Faible absorption d'eau ; très bonne résistance chimique (2), très bonne résistance à la chaleur, coefficient de dilatation linéaire $\Delta T = 18^{-6}$. La mise en oeuvre est aisée, le mélange frais a la consistance d'un mastic non collant, utilisable pendant 4 H. environ. La résistance maximale s'obtient en 90 jours à une température de 20°C.

4. La réalisation de la copie proprement dite, longueur = 3,80 m, largeur = 1,30 m, hauteur = 1,60 m, a nécessité des précautions à cause de la faible résistance à la traction du bronze métallo-plastique. Tout l'épiderme de la statue qui mesure entre 7 et 12 mm d'épaisseur est doublé d'une couche de pâte de stratification de 1 cm d'épaisseur en fibre de verre époxyde aux caractéristiques mécaniques élevées. Une charpente intérieure en composite de fibre de verre-époxyde constitue une sécurité supplémentaire pour les opérations de manutention. Tous les matériaux employés ont un ΔT de 16^{-6} à 20^{-6} compatibles sans danger avec la couche de bronze.

5. La patine n'a pas été réalisée par nos soins. On peut regretter que les couches de cire chargées d'oxydes ne masquent la transparence des oxydations du métal.

6. Le coût de la réalisation d'une copie à l'aide de ce procédé représente 55 à 60 % du coût d'une copie en fonte de bronze.

Ce procédé ne prétend pas remplacer la fonte de bronze, il ne saurait le faire. Dans certains cas, il permet de réaliser des fac-similé économiques présentant une bonne résistance aux contraintes atmosphériques.

(2) 2 ans dans une solution de $H_2 SO_4$ à PH5 sans altération.

Consultés récemment sur le traitement de monuments en bronze et en cuivre, nous avons abordé les études selon les principes décrits au début de cet exposé.

Consultés sur le traitement de monuments en fonte de fer, nous avons commencé les études et la modélisation systématique de différents types de traitements de protection cathodique et anodique, selon les principes exposés précédemment, en liaison avec plusieurs laboratoires, principalement le laboratoire de recherche des Monuments Historiques.

La seule certitude de l'homme est celle de sa profonde ignorance ; or, nous sommes contraints d'agir. Malgré une approche méthodologique fondée sur les connaissances, aujourd'hui les plus certaines, notre action restera longtemps encore, en partie, empirique.

Peut-on aller à l'encontre du deuxième principe de la thermodynamique ?

LA RESTAURATION DE LA FONTAINE DES TORTUES A ROME

Sergio ANGELUCCI*

SUMMARY

The Fountain of the Turtles was erected in 1581 and is one of the most famous and beloved fountains in Rome. To implement the restoration project, we carried out research on the state of conservation of the bronze of the statues and the marble of the basins. In order to identify the causes of deterioration of the materials that make up this monument, we studied the water, the surrounding atmospheric pollution, and X-rays of the statues. The results of this research and a report on the restoration work are given here, as well as considerations with regard to the state of conservation seven years after restoration of the fountain.

* Restaurateur privé, directeur du laboratoire de restauration de la Province de Viterbe.

La fontaine des Tortues, oeuvre remarquable de la deuxième moitié du XVI^e siècle et à laquelle les romains sont fort affectionnés, se trouve dans le XI^e "rione", Sant'Angelo, au centre de la piazza Mattei (fig. 1).

Cette place, aux dimensions restreintes et de caractère intime, est un point resté intact du centre historique de Rome et l'impression qu'elle produit est bien différente d'autres places romaines que leur spectaculaire dessin architectural rend justement plus célèbres. Celles-ci sont peut-être plus belles mais elles sont dépourvues de cette atmosphère tout à la fois noble et quotidienne qui donne l'impression de se trouver dans la cour interne de quelque palais plutôt que dans un lieu public.

Cette impression est donnée par la tranquille symétrie de la place, délimitée par quatre beaux bâtiments - en particulier les Palais Mattei et Costaguti - par la position presque centrale de la fontaine, par sa structure géométrique formée d'une addition de carrés et de cercles disposés symétriquement ainsi que par la perfection de ses proportions.

Tous les éléments qui composent cette fontaine (cartouches, coquilles, dauphins, éphèbes, têtes de putti et tortues), répétés chacun quatre fois, sont disposés symétriquement autour d'un balustre central qui soutient un bassin circulaire. Ce rythme géométrique rigoureux est animé par le dynamisme des quatre statues d'éphèbes et la polychromie vivace des matériaux employés.

La fontaine fut commandée par le conseil municipal en 1581 au sculpteur Taddeo Landini, sculpteur florentin mais qui travaillait alors beaucoup à Rome. Les délibérations⁽¹⁾ du conseil municipal mentionnent également Giacomo della Porta comme superviseur, probablement en sa qualité de surintendant des fontaines. Ceci a suffi pour lui faire attribuer le projet, réléguant injustement au second plan Taddeo Landini.

Les travaux furent achevés en 1584, avec un retard de deux ans par rapport aux délais prévus par le contrat, et certaines modifications avaient d'autre part été apportées au projet initial: au lieu des quatre coquilles de marbre "portasanta" qui devaient contenir quatre bassins de marbre "africano", on mit quatre vases aussi originaux qu'élégants, formés de deux coquilles encastrées l'une dans l'autre et tirées chacune d'un seul bloc de marbre "africano"⁽²⁾. Le balustre central fut réalisé en pavonazzo⁽³⁾ et non en marbre blanc; pour le bassin supérieur au-dessus des éphèbes, on utilisa le "bigio antico"⁽⁴⁾ et non le marbre "africano". Enfin les éphèbes et les

- 1) Archivio Storico Capitolino, cr IV, vol. CIII. Ce volume contient les procès-verbaux des décrets de la Congrégation des fontaines de 1577 à 1598 et donne donc tous les documents relatifs à la commande et à la réalisation de la fontaine des tortues.
- 2) R. Gnoli, *Marmora Romana*, Rome 1971, p. 147 et 151, ill. 193 et 197.
- 3) R. Gnoli, op. cit., p. 142-144, ill. 126.
- 4) R. Gnoli, op. cit., p. 152-153, ill. 201.

dauphins ne furent pas sculptés dans le marbre et la pierre mais fondus dans le bronze.

Chaque élément est d'une remarquable qualité d'invention et d'exécution, mais à l'inverse de ce que l'on peut remarquer pour les autres fontaines romaines réalisées ces mêmes années, celle-ci privilégie les parties sculptées par rapport à la structure architecturale qui devient ici la structure portante d'un discours figuratif dynamique et dont le sens reste entièrement à élucider.

Les variantes dans l'exécution décrites plus haut portent principalement sur la polychromie des marbres et sur la combinaison de divers matériaux, toutes caractéristiques chères au goût maniériste et qui font de cette fontaine une création plus florentine que romaine. On pense spontanément en effet - surtout à cause des bronzes - à la fontaine de l'Ammannati, place de la Seigneurie à Florence (achevée vers 1570) (fig. 2) ainsi qu'au Mercure de Jean Boulogne et dont Landini fut l'élève, en particulier pour la virtuosité de la pose des éphèbes, dressés sur la pointe des pieds (fig. 3).

Une autre différence subsiste néanmoins: les huit dauphins prévus par le contrat se sont réduits à quatre et cela nous est également révélé par la gravure la plus ancienne que nous possédions, représentant la fontaine (1618)⁽⁵⁾ sur laquelle n'apparaissent pas non plus d'ailleurs les quatres tortues qui lui ont donné leur nom (fig. 4).

Celles-ci furent ajoutées en 1658. Une tradition - qu'aucun document ne vient confirmer - les attribue au Bernin. L'hypothèse selon laquelle Andrea Sacchi, architecte de l'acqua Felice au temps d'Alexandre VII Chigi en serait l'auteur⁽⁶⁾ semble plus plausible: les cartouches en marbre indiquent en effet que la fontaine fut "restaurata" et "ornata" de nouveau durant la IVème année de son pontificat.

La fontaine des tortues fut réalisée dans le cadre d'un programme de constructions de fontaines décidé en 1570, aussitôt après les importantes restaurations de l'aqueduc de l'Acqua Vergine.

Il s'agit de l'eau dite aussi "de Trevi", apportée par l'aqueduc construit par Agrippa en 19 av. J.C. Cet aqueduc, relativement court et en grande partie souterrain, fut le plus facile à entretenir et, des onze aqueducs que comptait la Rome impériale - réduits à quatre après le siège de Vézèze en 537 - il fut le seul à résister aux dévastations de Robert Guiscard (1084). Grâce à de nombreuses et fréquentes restaurations, c'est lui qui amenait au

- 5) G. Maggi, *Fontane diverse che si vedano nell'alma città di Roma....*, Rome 1618, p.3. Consulter également: D. Parasacchi: *Raccolta delle fontane di Roma*, Rome 1647, p. 8.
- 6) C. D'Onofrio, *Acque e fontane di Roma*, Rome 1977, p. 192-193. L'auteur y propose une intéressante hypothèse quant au destin des quatre autres dauphins manquants.

XVI^e siècle une grande partie de l'eau nécessaire à la ville. En 1570 il fut relié à toutes ses anciennes sources et, de cet apport nouveau, nacquit le programme de construction de fontaines lancé par Grégoire XIII⁽⁷⁾.

On décida de construire dix-huit fontaines. Il est évident que ce nombre était optimiste, eu égard à la quantité d'eau effectivement disponible et à la faiblesse de la pression. Le procès-verbal de la réunion de la Congrégation de l'Acqua Vergine énumère les emplacements choisis pour les fontaines. A propos de celle de Monte Giordano, il est spécifié: "si l'eau peut arriver jusque là", prouvant ainsi que la faiblesse de la pression était déjà envisagée⁽⁸⁾.

En réalité le débit fut encore moins fort que prévu puisqu'au moment d'achever la fontaine, des travaux durent être décidés pour intensifier son alimentation: "...attenta nova forma eidem fonti costituenda propter illius depressionem faciendam..." ainsi que le signale un décret de la congrégation daté du 13 mars 1584⁽⁹⁾, et qui semble prouver qu'il fallut abaisser le niveau de la fontaine pour qu'elle puisse fonctionner.

Il ressort probablement de tout ceci que, à l'occasion d'importantes restaurations effectuées en 1658, et peut-être même avant, la fontaine fut reliée à l'aqueduc de l'Acqua Felice⁽¹⁰⁾. Ce fut le premier aqueduc qui amena la nouvelle eau à Rome après les restaurations de l'aqueduc de l'Acqua Vergine. L'Acqua Felice arriva en 1587 avec un débit suffisant pour alimenter aussi notre fontaine et son jet central, celui qui pour sa hauteur posait probablement les plus gros problèmes⁽¹¹⁾.

- 7) Pour les informations sur les aqueducs de la Rome antique et papale, consulter: R. Lanciani, *Le acque e gli acquedotti di Roma antica*, Rome 1975, réimpression anastatique de l'ouvrage 1881 qui reste essentiel pour ce sujet. Pour des informations plus récentes, consulter: N. Borgioli, *Nuove indagini su le acque distribuite nel Comune di Roma per uso potabile*, Empoli, 1965.
- 8) C. D'Onofrio, op. cit., p. 90. On y trouvera la citation intégrale du texte du document conservé dans les Archives historiques capitolines, cr. 50 c. 3.
- 9) C. D'Onofrio, op. cit., p 186. Pour la partie concernant la fontaine, le document se trouve dans les Archives capitolines, cr. IV, vol. 103. c. 44.
- 10) L'aqueduc Felice tire son nom du pape Sixte Quint, Felice Peretti, qui entre 1585 et 1587 acheva les travaux de remise en fonction, projetés par Grégoire XIII, de l'aqueduc antique dit "Alessandrino" construit par l'empereur Alexandre-Sévère (222-235).
- 11) Raffaele Fabretti, *De Aquis et aquaeductibus veteris Romae. Dissertationes tres*, Rome, 1680. (II édition, Rome, 1788). L'auteur conclut sa III^e dissertation (p. 187-188) en affirmant que la fontaine des tortues était alimentée par l'Acqua Felice pour le jet supérieur et par l'Acqua Vergine pour les quatre jets inférieurs.

Cette eau était connue pour être riche en sels et donc susceptible de laisser des dépôts de "tartre"(12). Tous les documents anciens décrivent l'état de conservation des marbres et des bronzes et les interventions de nettoyage appellent ainsi les incrustations de calcaire. La fontaine connut en effet plusieurs restaurations dont nous possédons, pour certaines, quelques traces. La première, que nous avons déjà évoquée, date de 1658 et fut une intervention décisive qui donna à la fontaine son aspect actuel avec l'adjonction des quatre tortues et la construction au niveau du sol d'un vaste bassin dont le périmètre reproduit la forme de la fontaine.

D'autres restaurations eurent lieu plus tard, essentiellement motivées par les dépôts calcaires qui la recouvrèrent et en altéraient le modelé: en 1706 Orazio Mariani y travailla; en 1853-1854 Lucchetti, sous la direction du sculpteur Pietro Tenerani; en 1903 Penelli et Razzi(13).

D'après les recherches dans les archives de la Mairie, on connaît également l'existence de deux autres restaurations, la première, ancienne, en 1750, à l'occasion de l'Année Sainte, lorsque les Conservateurs de Rome décidèrent de "...promouvoir une restauration complète et pour ce faire votent un crédit de 650 écus..."(14); la seconde, moderne, dans les années vingt(15) qui est rappelée par une belle série de photographies des archives Anderson(16).

Une inscription sur une plaque de marbre blanc, insérée dans la base de travertin commémore d'autre part une restauration réalisée en 1932(17).

- 12) Comme l'affirme Lanciani (op. cit., p. 380-381), dès l'époque romaine, cette eau n'était utilisée que pour les thermes et au moment où il écrit (1881), l'eau contenait une telle quantité de sels qu'ils obstruaient les canalisations urbaines en trois ans.
- 13) L. Callari, *Le fontane di Roma*, Rome, 1970, p. 84. La restauration de 1903 est illustrée par une série de photographies. L'une d'elles, de R. Moscioni (n. 150A) est déposée dans les Archives photographiques des Musées du Vatican (neg. 14-9, cf. ill. I). D'autres sont déposées au Cabinet photographique national (neg. C939-940-942). Un entrefilet de l'*Illustrazione Italiana* la mentionne également accompagnée d'une photo faite durant les travaux, les restaurateurs à l'oeuvre: on y voit nettement que le nettoyage fut fait au scalpel.
- 14) A.D. Tani, *Le acque e le fontane di Roma*, Turin, 1926, p. 27.
- 15) F. Mastrigli, *Acque, acquedotti e fontane di Roma*, Rome 1928, p. 133
- 16) Il s'agit des photos n. 307, 24956, 24957, 24959, 24960 qui se trouvent aujourd'hui avec toute la collection Anderson, dans les Archives Alinari à Florence.
- 17) Il ne reste, de cette intervention, qu'une vague mention dans un opuscule anonyme dont on peut déduire qu'il s'agit moins d'un nettoyage que d'un patinage à base de cire et de résine colorées, qui pourrait être celui dont nous avons trouvé les traces sur les statues (voir p. 17).

Nous avons trouvé enfin dans les Archives d'Etat la mention d'un nettoyage des bronzes effectué en 1843 dans le but de tirer, de deux d'entre eux, des moulages réclamés par l'ambassadeur de France⁽¹⁸⁾. Ces documents signalent également que la fontaine était alimentée par l'Acqua Felice et que celle-ci, riche en sels, était responsable de dépôts calcaires sur les marbres et sur les bronzes⁽¹⁹⁾.

Bien que la cause principale de ces restaurations périodiques et répétées fût connue, rien ne fut fait à cette occasion pour y apporter une solution, puisqu'en 1881 la fontaine était toujours alimentée par l'Acqua Felice⁽²⁰⁾.

Cette année-là, l'état de conservation était déplorable comme on peut le constater sur une photographie de l'époque, sans beauté mais éloquente (fig. 5)⁽²¹⁾.

A l'occasion de la dernière restauration dont la présente relation est le compte-rendu, nous avons recueilli une trentaine de photographies anciennes de la fontaine qui couvrent à peu près 80 ans, de 1855 aux années 30. Certaines sont fort belles, comme celle de Pompeo Molins qui date de 1868 à peu près (fig. 6)⁽²²⁾. D'autres se sont révélées particulièrement intéressantes pour les renseignements qu'elles ont pu nous transmettre, telle celle d'Eugène Constant, de 1855 et dont on verra ci-dessous l'importance pour l'actuelle restauration.

Parmi les photographies citées au cours de cette relation, certaines témoignent des divers événements qui ont marqué la fontaine, tel le vol

18) L'intérêt des français pour les éphèbes de Landini est singulier. Il pourrait être utile d'approfondir cette question dans le cadre d'une recherche historico-critique sur la fontaine ou sur Taddeo Landini.

19) Archivio di Stato, Rome, Atti del Camerlengo, tit. IV, par II b. 290, fasc. 3294. Dans la lettre des Conservateurs au cardinal Camerlingue du 16 mai 1843, il est écrit: "...celles-ci étaient couvertes de ce tartre blanchâtre propre à l'Acqua Felice que les ouvriers du sus-dit Marquis (il s'agit du commissaire aux Antiquités et aux Beaux-Arts, le Marquis Castellano) ont dû enlever pour en tirer des moulages. Mais ce détartrage a gravement déséquilibré l'ensemble de la fontaine car deux statues de bronze, nettoyées, ont retrouvé leur ancienne patine alors que les deux autres sont restées couvertes de tartre..." Plus tard le Cardinal Camerlingue fourni les fonds nécessaires au nettoyage des deux autres statues.

20) R. Lanciani, op. cit., p. 392.

21) Cabinet photographique national, neg. B. 598, de la collection Cugnani. Cette photo existe également chez A. Vasari, Rome, neg. 234.

22) Cabinet photographique de la Mairie de Rome.

d'une tortue en 1906 et sa remise en place en 1907⁽²³⁾; les restaurations des années 20⁽²⁴⁾ et de 1932⁽²⁵⁾. D'autres photographies encore, dont la datation exacte est plus difficile, ont eu en ce cas moins d'importance⁽²⁶⁾.

L'ouvrage de Lanciani de 1881 sur les eaux de Rome donne les valeurs précises du taux de résidus fixes pour chacune d'elles: ainsi l'Acqua Paola avait le taux le plus bas (14 centigrammes par litre), l'Acqua Felice le plus élevé (27 centigrammes)⁽²⁷⁾.

Ces chiffres hâtèrent certainement la décision de remplacer l'Acqua Felice par l'Acqua Paola⁽²⁸⁾ pour le jet central dont l'écoulement et les éclaboussures provoquaient les dépôts de calcaire sur les bronzes. Il est probable que cette substitution eut lieu à l'occasion de la restauration de 1903, même si le bref entrefilet qui nous en informe n'y fait aucune allusion⁽²⁹⁾.

Ainsi en arrive-t-on à la situation actuelle: Acqua Paola pour le jet central et supérieur, Acqua Vergine pour les quatre jets latéraux et inférieurs⁽³⁰⁾.

- 23) La fontaine privée d'une tortue se voit dans deux photographies du Cabinet photographique national (neg. E/1885 et E/1886) et dans une des photos des Editions Brogi (n. 4214) des Archives Alinari à Florence. Sa remise en place apparaît dans une photo (neg. B.F. 2127/4) conservée dans les Archives du Courtauld Institute of Art de Londres. L'Illustrazione Italiana consacre deux articles au vol et à la remise en place de la tortue (1906, II, p. 575 et 1907, I, p. 388).
- 24) La série de photographies Anderson évoquée à la note 16 montre les bronzes récemment nettoyés, mais pas aussi parfaitement qu'en 1903. On peut remarquer dans la place certains détails (par exemple les réverbères) qui permettent de dater ces photos d'une période postérieure à celle des restaurations de 1903. La place présente des différences par rapport à ce qu'on voit dans une photo Alinari datée de 1938. Il ne reste donc qu'à les dater des travaux des années vingt.
- 25) Alinari, Florence, n. 47317 et n. 6238.
- 26) Dans le travail minutieux de chronologie pour dater avec précision les photographies anciennes l'aide de Mr. Piero Becchetti m'a été fort utile et je tiens à le remercier vivement.
- 27) R. Lanciani, op. cit., p. 342 - 380 - 392.
- 28) L'Acqua Paola est celle qui fut amenée à Rome par le pape Paul V en 1612, par la remise en état de l'antique aqueduc de Trajan, inutilisable depuis le XIème siècle.
- 29) Illustrazione Italiana, 1903, II, p. 308. A.D. Trani (op. cit. p. 133) mentionne une double alimentation de la fontaine et cite l'Acqua Paola, mais la référence n'est pas claire. Il s'agira plus probablement d'une alimentation déjà existante et non d'une nouveauté introduite ces années-là.
- 30) Selon l'Azienda Comunale Elettricità ed Acque (A.C.E.A.) la fontaine des tortues reçoit 160m³ par jour provenant de deux sources: Acqua Vergine, débouché 26307, dérivation 26121, Acqua Paola, débouché 27786, dérivation 27600.

Solution d'ailleurs imparfaite puisqu'une nouvelle restauration fut nécessaire aux années vingt, une autre en 1932 et une autre encore, décidée en 1976.

Les dépôts calcaires sur les bronzes furent en effet le motif principal qui poussa la Surintendance municipale de Rome à réclamer une restauration des quatre éphèbes et des quatre tortues.

Dès les premiers examens il sembla évident cependant que l'intervention ne pouvait se limiter à un seul des matériaux de la fontaine. Il fallait en revanche étudier le monument dans sa totalité et le projet de restauration devait s'appliquer à l'ensemble de la fontaine puisqu'aucun de ses éléments n'était épargné et qu'il était clair que les causes de dégradation étaient communes à tous les matériaux.

Pour être efficace, le projet ne pouvait donc pas se limiter à indiquer seulement les méthodes d'interventions pour la conservation des matériaux, mais devait prévoir également l'élimination - ou tout au moins l'atténuation dans la mesure du possible - des facteurs responsables de leur dégradation.

* * * *

Les problèmes que présentait la fontaine étaient d'ordre esthétique et technique.

La polychromie des matériaux, élément caractéristique de cette fontaine, était fortement altérée, sinon complètement éclipsée par la croûte de calcaire qui recouvrait la majeure partie du monument et lui donnait une couleur grise uniforme (fig. 7).

En ce qui concerne les matériaux, les bronzes étaient frappés sur la plus grande partie de leur surface, et surtout en correspondance avec les dépôts calcaires, par ce type de corrosion généralement appelée "pitting", liée à la présence de chlorures sur la surface du métal, qui agit en profondeur et dont l'action désagrégeante agit sur la structure même du métal (fig. 8).

Une corrosion, moins grave mais cependant effective était également due à la présence de ion sulfate.

Les marbres, mis à part quelques lacunes obturées à l'aide d'insertions de marbre et une usure importante mais non préoccupante dans les endroits où l'eau coule et stagne, ne présentait pas de phénomènes macroscopiques de désagrégation comme ceux que l'on rencontre malheureusement sur presque tous les marbres exposés au grand air. Leur dégradation était de type principalement esthétique.

Ces observations sur l'état de conservation des matériaux ont été faites d'après des données analytiques qui ont permis d'affirmer, qualitativement et quantitativement, l'existence, sur la surface, d'agents chimiques responsables des altérations, comme on peut le constater dans les tableaux ci-dessous:

TABLEAU I - Bronzes - Patine verte

Année	ion chlorure		ion sulfate	ion carbonate
	soluble	insoluble		
1963	présent*	présent*	présent*	présent*
1973	0,3%	présent*	présent*	présent*
1977	0,7%	5,3%	3,6%	présent*

* non dosé quantitativement.

TABLEAU II - Marbres - Incrustations

Année	échantillon	Chlorure de calcium	Sulfate de calcium	Carbonate de calcium (calcite)
1977	1*	absent	absent	100%
1977	2*	traces	absent	100% env.

* L'échantillon 1 a été prélevé dans une zone d'écoulement.

* L'échantillon 2 a été prélevé dans une zone d'écoulement partiel.

Si l'on tient compte du fait que les matériaux tendent à établir un équilibre dynamique avec le milieu dans lequel ils se trouvent, les motifs de ces altérations doivent être cherchés dans l'environnement de la fontaine, c'est-à-dire l'air et l'eau.

Sans prendre en considération l'action mécanique que ces deux éléments exercent, en particulier sur le marbre, les composants naturels de l'eau et de l'air (oxygène, hydrogène, anhydride carbonique, etc.) peuvent réagir chimiquement avec le bronze et, dans une moindre mesure, avec le marbre. Il s'agit ici de phénomènes naturels dont les effets ne sont guère conséquents et ne suffisent à expliquer ni les dommages causés aux matériaux de la fontaine ni la nature des produits d'altération que l'analyse a permis d'identifier. Il a donc été nécessaire de prendre plus attentivement en considération l'eau qui alimente la fontaine et l'air qui l'entoure.

L'approvisionnement en eau à Rome est effectué par un grand aqueduc moderne et par de nombreux aqueducs anciens. Ces derniers fournissent aujourd'hui une eau classée non potable qui est désinfectée intensément (avec l'adjonction de chlore principalement) et utilisée pour alimenter les nombreuses fontaines de la ville.

L'eau qui alimente la fontaine des tortues a deux provenances différentes: l'Acqua Paola et l'eau dite "de Trevi". L'analyse a montré que ces deux eaux sont très "dures", c'est-à-dire très riche en sels - qui se déposent aisément - et qu'elles contiennent un quantité élevée de chlorures (47,5 mg par litre pour l'Acqua Paola). La lecture comparée de trois analyses effectuées depuis 1884 a démontré que ces valeurs sont en continue augmentation (Tableaux III & IV).

TABLEAU III - Acqua Paola

Année	pH	dureté en degrés fr.	chlorures mg/l	fluorures mg/l	alcalinité ccHCl N/10 par litre	conductibilité électrique spécifique à 18°
1884	-	11,8	37,3	-	-	-
1959	8,0	9,7	42,5	0,1	30,0	$4,0 \times 10^{-1} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$
1977	8,3	9,0	47,5	1,7	30,0	$5,5 \times 10^{-4} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$

TABLEAU IV - Acqua Vergine ou "de Trevi"

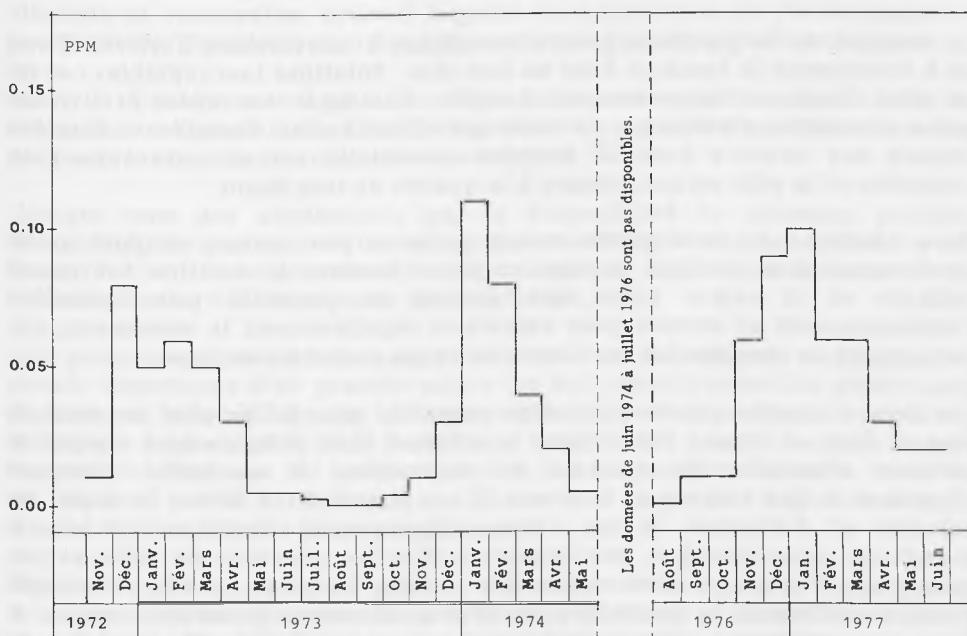
Année	pH	dureté en degrés fr.	chlorures mg/l	fluorures mg/l	alcalinité ccHCl N/10 par litre	conductibilité électrique spécifique à 18°
1884	-	18,3	12,8	-	-	-
1965	6,4	13,5	18,9	1,0	37,0	$4,2 \times 10^{-4} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$
1977	7,4	19,0	25,0	1,2	43,0	$5,5 \times 10^{-4} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$

Les chlorures et les dépôts calcaires dont la présence est observable sur le bronze comme sur le marbre sont donc précisément liés à la qualité de l'eau qui alimente la fontaine.

Rome compte actuellement 3 millions d'habitants et comme toutes les grandes villes, se trouve confrontée à de gros problèmes de pollution atmosphérique. Il est donc facile d'imaginer que la qualité de l'air qui entoure la fontaine se soit détériorée au cours des dernières décennies. Nombreux sont les éléments polluants en suspension dans l'air et tous, à des degrés divers, sont nocifs pour la conservation des matériaux. Nous avons, dans cette étude, pris l'exemple de l'anhydride sulfureux parce qu'il est reconnu comme l'élément le plus polluant et le plus délétère et parce que les données le concernant sont les plus riches et couvrent les périodes les plus longues.

Le diagramme publié au tableau V ci-après indique les moyennes mensuelles de concentration de SO_2 dans l'air de la ville⁽³¹⁾.

TABLEAU V



Valeurs moyennes mensuelles de concentration de SO_2 relevées à la station automatique du Palazzo Valentini.

31) Ces données m'ont été généreusement communiquées par le Laboratoire provincial d'hygiène et de prophylaxie qui gérait à l'époque la station automatique du Palazzo Valentini, via V Novembre.

Les moyennes les plus élevées correspondent aux mois d'hiver et ceci démontre clairement que le chauffage domestique est le principal responsable de la pollution par SO₂.

Les valeurs sont également élevées au printemps, saison où la formation de condensation sur les surfaces est la plus fréquente et donc favorise les réactions chimiques entre agents polluants et matériaux de la fontaine. Dans ces conditions l'anhydride sulfureux présent dans la pellicule d'humidité qui se forme sur les parties externes du monument peut aisément se transformer en anhydride sulfurique (SO₃), et enfin en acide sulfurique qui attaque chimiquement les matériaux et provoque la formation de sulfates. Ce phénomène est visible sur la jambe droite de l'éphèbe placé dans l'axe de la via dei Falegnami, où le dépôt de calcaire montre des signes évidents de corrosion due à des écoulements de condensation acide (fig. 9). La présence de sulfates sur la surface des bronzes et des marbres est donc directement en relation avec la pollution atmosphérique par SO₂.

Il résulte de tout ceci que l'environnement de la fontaine est nocif pour les matériaux qui la composent.

La solution de ce problème pourrait consister à interrompre l'arrivée d'eau ou à transporter la fontaine dans un lieu clos. Solutions inacceptables car on ne peut dénaturer un monument à seules fins de le conserver et il n'est guère admissible d'envisager de vivre parmi des copies, transférant dans les musées des œuvres dont la fonction essentielle est de caractériser le territoire et la ville en contribuant à la qualité de leur décor.

On a tendance à croire généralement qu'on ne peut sauver un objet qu'en l'enfermant dans un lieu protégé et clos. Souvent la solution est moins radicale et il existe toute une gamme de procédés pour contrôler l'environnement et surtout pour entretenir régulièrement le monument, qui permettent de résoudre les problèmes de façon moins dramatique.

Les deux éléments qui devaient être contrôlés pour la fontaine des tortues étaient l'air et l'eau. Pour l'eau, la solution était relativement simple: il suffisait d'installer un système de dépuration. Il en existe plusieurs répondant à des exigences diverses. Il s'agissait ici d'éviter le dépôt de calcaire et d'éliminer le ion chlore. Nous avons choisi un système à membrane osmotique qui, par rapport à d'autres procédés de déionisation présentait l'avantage d'un entretien moins fréquent. Lorsqu'il s'agit d'éviter seulement la formation de dépôts calcaires, il suffit d'ajouter à l'eau une substance (des polyphosphates par exemple) qui empêche la précipitation du calcaire.

Le problème de l'air est en revanche beaucoup plus complexe et touche à des domaines qui excèdent celui de la conservation des biens culturels.

Lorsque certains écologistes visent l'objectif de la pollution zéro, ils expriment des exigences bien peu réalistes: il n'est guère envisageable en effet que notre société puisse renoncer au développement industriel, au

chauffage domestique, à l'automobile, en somme à toutes les formes d'activité dont les déchets polluent l'atmosphère.

Le problème doit être affronté sur d'autres bases. Il faut mettre au point des procédés de production d'énergie plus propres, des technologies moins polluantes, des systèmes de contrôle des déchets plus efficaces. Il faut aussi prévoir un législation précise, appliquée avec rigueur, qui établisse les seuils de pollution tolérables, non seulement pour conserver l'intégrité physique de l'homme mais en tenant également compte de la sauvegarde de son environnement naturel et culturel, législation qui en ce cas pourra être plus contraignante.

La restauration d'une fontaine peut nous rappeler le caractère impérieux de la solution qui doit être donnée à ces problèmes mais ne peut être le lieu où les résoudre.

La solution proposée fut donc de défendre la surface des matériaux par une pellicule faite d'une substance protectrice qui, répondant à de précises exigences esthétiques, constituerait une sorte de défense pouvant être éliminée et renouvelée, grâce à laquelle les agressions de l'environnement seraient sans pouvoir et sans danger pour les matériaux qu'elle protégerait.

Offrir à l'action des agents de dégradation une couche superficielle de protection renouvelable a été, dès l'antiquité, le moyen auquel on a recouru pour assurer la conservation des œuvres d'art (32).

Compte tenu des ajustements que la disponibilité de nouveaux produits mieux adaptés a permis et de notre rapport, différent et plus articulé, avec l'œuvre d'art, nous pouvons dire cependant que la pratique actuelle de la conservation ne s'éloigne guère de ce principe.

Les protecteurs de surface constituent donc un domaine de recherches de grande importance d'où peuvent naître les instruments essentiels permettant d'affronter le problème de la conservation des œuvres d'art, surtout de celles qui sont en plein air. Il est donc inexplicable que les centres auprès desquels s'effectuent les recherches pour la conservation des biens culturels ne donnent pas à ce domaine une place plus large et l'importance qu'il mérite, à l'intérieur de leurs programmes.

Dans le monde industriel ce procédé est souvent utilisé pour la conservation de matériaux emmagasinés. Dans le secteur des biens culturels en revanche, la recherche dans ce domaine en est restée à un niveau insuffisant et il ne semble pas que des programmes d'étude proportionnés à l'importance de ce sujet aient été mis en œuvre.

32) M. Cagiano de Azevedo "Conservazione e restauro presso i Greci e i Romani", Bollettino dell'Istituto Centrale del Restauro 9-10, 1952, p. 53-60.

Ceci explique pourquoi nous ne disposons actuellement que de données incomplètes et rares pour choisir en toute connaissance de cause le produit de protection à employer⁽³³⁾.

Outre les phénomènes d'altération que nous avons déjà décrits, il s'en présentait d'autres, tout aussi préoccupants, mais dont les causes étaient plus confuses: un des groupes de bronze, épèbe et dauphin, présentait des fissures profondes qui s'étendaient sur presque toute la jambe gauche de l'éphèbe, particulièrement ramifiées et ouvertes et dont les bords s'étaient soulevés à la hauteur du genou (fig. 10).

Ces fissures ne sont pas récentes car elles sont clairement visibles et identiques à celles d'aujourd'hui sur une photographie inédite d'Eugène Constant que l'on peut dater de 1855 au plus tard⁽³⁴⁾.

On peut observer de semblables fissures sur les trois autres groupes de bronze: elles ont l'aspect de fêlures de fusion plus ou moins marquées. Les analyses d'échantillons de bronze des sculptures faites par fluorescence X radioisotopique ont donné les résultats suivants; cuivre, 82% - étain, 10,5% - plomb, 6,8%⁽³⁵⁾. Le choix de ce type d'alliage s'explique par le système de fusion adopté. Les groupes épèbe-dauphin sont réalisés selon le procédé dit "cire perdue", en un seul bloc, exigeant donc un alliage qui coule rapidement pour remplir les parties saillantes, comme le dauphin ou le bras de l'éphèbe. L'usage de cet alliage comporte cependant le risque de défauts de fusion, comme des fissures, ou une répartition inégale du métal; en effet ces défauts se présentent ici sur les quatre statues, à des degrés divers.

La sculpture que nous avons examinée (tournée vers la via della Reginella) présente les plus gros défauts du point de vue de la fusion: on peut y observer sur toute sa surface de nombreuses fissures et une grosse lacune (comblée après la fusion) sur le ventre du dauphin. L'origine de ces fissures doit être attribuée à la fusion, mais dans la zone du genou elles ont été aggravées par d'autres raisons. La morphologie des fissures de cette zone, la distance entre leurs bords et leur distortion donnent l'impression d'un

- 33) L'étude des produits protecteurs pour les surfaces n'a guère progressé depuis plusieurs années et mon travail de restauration de la grande Pigne de bronze du Vatican terminé en 1983 s'est ressenti de cette lacune. La relation de cette restauration a été publiée dans le volume VI-1986 du Bollettino dei Musei Vaticani, p. 5-49.
- 34) Cette photographie se trouve dans la collection de M. Piero Becchetti qui me l'a signalée et que je remercie vivement.
- 35) Les analyses des composants de l'alliage avec lequel ont été fondus les groupes épèbes-dauphins ont été réalisées par le laboratoire de l'Institut central de restauration. Je remercie M. Maurizio Marabelli et Mme Paola Fiorentino, mes maîtres et amis, pour la générosité avec laquelle ils m'ont toujours mis au courant de leurs travaux et de leur recherches.

processus d'explosion lente que l'on peut attribuer à la tige de fer qui se trouve à l'intérieur de la statue dans laquelle est restée une quantité importante de terre de fusion⁽³⁶⁾.

Il est probable que l'humidité a pénétré à travers les fissures et a attaqué le fer qui peut augmenter son volume jusqu'à cinq fois durant le processus de corrosion et donc être la cause de ce phénomène d'explosion lente. Cette hypothèse est d'ailleurs confirmée par la présence d'un écoulement de sels rougeâtres qui se sont révélés être des sels ferreux après analyse et qu'on peut observer sur la fissure plus large du genou (fig. 11).

Seules les radiographies des bronzes pouvaient confirmer cette hypothèse. Elles ont pu être réalisées grâce à la collaboration avec le Comité national pour l'énergie nucléaire (C.N.E.N.)⁽³⁷⁾. On a utilisé pour ces radiographies une source gamma iridium 192 et de normales plaques radiographiques de grandes dimensions. Le choix des rayons gamma s'explique non tant par l'épaisseur du métal, qui est de quelques millimètres seulement, que par la présence du noyau d'argile qui aurait dispersé les rayons X moins pénétrants et n'aurait pas permis d'obtenir des images nettes.

Les photos publiées ici ne sont pas les radiographies proprement dites mais leur développement effectué par le Cabinet photographique national⁽³⁸⁾ grâce à un système spécial, le Logetron, qui développe le négatif, non en le frappant d'une lumière uniforme, mais en le balayant d'un pinceau lumineux qui se règle de lui-même selon l'intensité du négatif. Cela permet d'obtenir une image dans laquelle chaque détail du négatif apparaît dans sa lumière la meilleure.

La radiographie de la zone du genou montre clairement les fissures, larges et profondes, précisément là où passe la tige de fer (fig. 12) à section carrée et aplatie par endroits. La forme de la tige et la raison de sa présence n'ont

- 36) La terre de fusion se voit par les ouvertures des sculptures, tandis que la tige de fer servant de soutien affleure au sommet de la tête et au talon.
- 37) Je remercie en particulier M. Claudio Cappabianca, des laboratoires de la Casaccia, dont l'habilité a permis le bon résultat de cette enquête radiographique qui a été la première d'une longue série de collaborations avec cet organisme, pour la conservation des œuvres d'art. Je veux ajouter que c'est du bon résultat de cette collaboration qu'est née la décision, de la part de cette organisme d'Etat pour l'énergie nucléaire (alors C.N.E.N., aujourd'hui E.N.E.A.) de créer un service spécialisé dans la conservation et la restauration des œuvres d'art.
- 38) Je tiens à remercier Mme Thea Martinelli, directrice du Cabinet photographique national, pour la précieuse collaboration qu'en cette occasion comme en beaucoup d'autres, elle m'a toujours si généreusement offerte. Je veux aussi remercier les techniciens Pietro Intronu et Francesco Miani pour l'enthousiasme et la compétence avec lesquels ils ont réalisé ce travail.

pas été immédiatement claires et même ne l'ont guère été jusqu'au moment où l'on a observé la même sorte de tige dans la radiographie d'une autre statue contemporaine à celle-ci, une Fortune placée sur la fontaine de la place centrale de Fano (fig. 13), à l'occasion de la restauration d'un petit bronze archéologique anciennement découvert, trouvé en morceaux et reconstitué à l'époque et qui se trouve aujourd'hui au Musée national romain (fig. 14), et enfin dans les grandes modèles du Bernin pour les anges de l'autel du Saint-Sacrement de la basilique Saint-Pierre, conservés au Vatican (fig. 15).

Des fers forgés de cette sorte devaient être souvent utilisés par les sculpteurs et les fondeurs comme armatures, parce que l'argile s'y accroche mieux tout autour.

L'état de conservation de la tige de fer est clairement révélé par la radiographie: l'image claire de la tige indique que le fer en est entièrement corrodé et ce qu'on voit n'en est plus que la trace, la forme vide laissée à l'intérieur du noyau d'argile. Une preuve en est donnée par la radiographie du pied droit de l'éphèbe tourné vers la via dei Falegnami (fig. 16). L'image de la tige n'est pas aussi nette ici que dans la radiographie du genou: une partie en est sombre et donc pleine. Dans le talon, un trou s'ouvre (fig. 17), correspondant au point de sortie de la tige. En introduisant une barre de fer, nous avons constaté qu'à la partie claire correspondait un vide.

Pour en revenir au genou de l'éphèbe en question, les observations faites jusqu'ici permettaient de comprendre exactement la cause des fissures mais n'expliquaient pas totalement la mécanique de ce processus.

La dimension de la tige de fer est plutôt réduite par rapport à celle du genou, et même si la force d'expansion développée lors de la corrosion du métal pouvait se transmettre à la surface du bronze grâce au noyau d'argile contenu dans la statue, tout ceci n'était pas suffisant pour expliquer un dégât si étendu, compte tenu qu'une partie de cette force était absorbée par le noyau d'argile lui-même. Cette force de dilatation ne pouvait donc pas être suffisante à elle seule, à moins que le bronze et la tige de fer ne se fussent trouvés en contact direct.

On peut observer dans la radiographie du genou, au point précis où le bronze se soulève davantage et où nous avons noté les écoulements de sels ferreux, une tâche noire ovale qui traverse la tige en un point précis, là où celle-ci se plie.

En augmentant les temps d'exposition, nous avons pu obtenir une image qui révèle clairement que la tige de fer est manifestement liée au bronze et donc que le moindre mouvement de la tige se répercutait aussitôt sur lui (fig. 18).

Une fois éclaircies les causes et la mécanique de ces fissures, il s'agissait alors d'adopter des mesures pour la restauration.

Décisions heureusement faciles à prendre: la partie claire de la radiographie indiquait que le fer avait subi un processus de corrosion presque total et nous pouvions donc raisonnablement en conclure que la tige de fer avait dès lors provoqué tous les dégâts possibles. La photographie déjà citée d'Eugène Constant montre en effet que les fissures sur le genou n'ont pas augmenté depuis 1855 et ceci confirme donc notre hypothèse. L'éventualité de devoir pénétrer à l'intérieur de la sculpture pour en extraire la tige était donc fort heureusement écartée: il s'agissait simplement de boucher les fissures avec une résine imperméable.

L'enquête radiographique a révélé également diverses réparations effectuées après la fusion: la photo N° 19 a permis ainsi d'en découvrir deux exemples assez courants. Il s'agit du remplissage d'une lacune en y coulant du métal et d'une autre lacune par l'application d'une plaque de métal fixée au noyau d'argile par un clou. On peut observer également une réparation plus rare, visible sur la photo N° 20. Il est probable que du gaz resté à l'intérieur du moule a empêché le métal de remplir tous les espaces de la main de cet éphèbe. Le pouce manquant a donc été obtenu en une seconde fusion et l'on peut voir ici aussi bien la dimension diverse du morceau ajouté que le joint réalisé pour mieux faire adhérer la seconde fusion à la première. La différence de couleur des deux parties est probablement due à la différence de densité du métal utilisé lors de la seconde fusion qui a déterminé à son tour une perméabilité différente aux rayons gamma.

Cette campagne radiographique a ainsi conclu la phase préliminaire d'enquête et d'élaboration du plan de restauration des bronzes.

Nous sommes alors passés à la phase opérative.

Les sculptures de bronze avaient été précédemment démontées (fig. 21) et la première opération consista à les débarrasser de leur couche de calcaire. Des essais de nettoyage (fig. 22) révélèrent que, sous le calcaire, le bronze était recouvert d'une patine brun-vert très mince composée d'oxydes et de carbonates. Tout procédé chimique de nettoyage fut donc écarté et nous lui avons préféré un procédé mécanique, le seul pouvant garantir la conservation de cette patine naturelle et stable du métal. Suivant ce principe la couche de calcaire a été éliminée à l'aide de micro-percuseurs électriques qui faisaient sauter les incrustations sans provoquer aucun dommage à tout niveau de surface.

Entre deux couches de calcaires nous avons trouvé, dans certains zones, une couche cireuse de couleur sombre: il s'agissait à l'évidence de traces d'une intervention précédente (cf. note 17). Une analyse chromatographique a révélé que les principaux ingrédients de ce mélange étaient la cire d'abeille et le carnauba, composé dont on peut lire la recette dans les vieux manuels et qui était très utilisé pour traiter les surfaces⁽³⁹⁾.

39) L'analyse a été réalisée par les laboratoires de l'Institut central de restauration. Je remercie Mme Giuseppina Vigliano pour son aimable collaboration.

Après le nettoyage, nous avons effectué plusieurs lavages à l'eau distillée, pure puis additionnée d'un détergent, et enfin un traitement d'inhibition au moyen d'une solution à 3% de benzotriazole dans de l'alcool pur. Aux endroits où la corrosion était la plus profonde, nous avons opéré localement avec une solution 20% du même produit.

Les petites lacunes et les fissures présentes en divers endroits ont été comblées avec un mastic à base de résine acrylique et contenant de la poudre de bronze et ensuite patiné avec du sulfure d'ammonium.

La phase opérative s'est conclue en appliquant une couche protectrice composée d'une première pellicule d'Incralac (40) et d'une seconde pellicule de cire microcristalline qui renforce la résistance de l'Incralac en lui conférant une plus grande imperméabilité à l'eau et ternit l'éclat de la résine. Eclat qui devait être ici absolument évité pour respecter l'intention du sculpteur qui a cherché précisément à obtenir une surface non brillante. Cette intention était clairement lisible sur la surface du bronze des éphèbes entièrement traitée, sur la cire comme sur le métal, au "fer à peau" (fig. 23).

Le travail sur les bronzes a duré à peu près un an et demi.

La durée et l'examen attentif que réclame une restauration de ce type permettent des observations qui, même si elles vont au-delà de ce qui est nécessaire pour le simple travail de restauration, constituent sans aucun doute des éléments non seulement légitimes mais fondamentaux pour le travail du restaurateur.

Au cours des diverses phases de restauration nous avons pu observer des détails techniques qui pouvaient être significatifs dans le cadre d'une étude historique et critique de ce monument célèbre mais jusqu'à présent peu étudié. C'est ainsi par exemple qu'après le démontage des sculptures, la partie architecturale de la fontaine a révélé très clairement qu'elle était conçue en fonction des sculptures: tant il est vrai que, à elle seule (fig. 24), elle devenait parfaitement insignifiante. Ceci ne milite certes pas en faveur de la théorie qui attribue le projet à G. della Porta ou même d'une collaboration entre G. della Porta et Taddeo Landini.

Le nettoyage des tortues - ajoutées, comme on l'a vu, à peu près quatre-vingts ans après l'installation de la fontaine - a permis de découvrir une numérotation, à l'évidence tracée sur la cire d'origine, donc avant la fusion, sur leurs ventres (fig. 25). Les tortues n'étaient cependant pas placées sur le bord du bassin selon cette numérotation. A quelle époque eut lieu leur déplacement? Cela est difficile à dire. Même s'il n'était pas nécessaire de démonter les bronzes chaque fois qu'on dut procéder à leur nettoyage, les occasions ont pu souvent se présenter. D'après la photo de

40) Il s'agit d'une résine acrylique contenant également du benzotriazole mise au point par la International Copper Research Association de New York.

l'*Illustrazione Italiana* (cf. note 13), la restauration de 1903 eut lieu avec les sculptures in situ. L'erreur n'est donc pas de ce moment. En revanche nous savons que les bronzes ont été démontés en 1843 pour en tirer les moulages et qu'en 1940 ils furent retirés, dans la crainte des bombardements et restèrent dans un dépôt pendant huit ans⁽⁴¹⁾; deux occasions où les tortues ont pu être déplacées.

Pour décider de leur place, plusieurs essais furent faits. Disposées dans le sens des aiguilles d'une montre, trois d'entre elles tournaient la tête vers la quatrième sur laquelle était gravés quatre traits et une sorte d'apostrophe (fig. 26).

Des quatres éphèbes, trois, aux formes plus idealisées avec des mouvements nerveux et les cheveux en bataille, semblent presque des satyres. Le quatrième se distingue pour le caractère plus réaliste du modelage, l'attitude mesurée, l'expression pensive, les cheveux tombants (fig. 27). Ce même éphète a révélé après le nettoyage, en haut de la fesse quatre encoches bien lisibles, faites à la lime (fig. 28). Ces encoches sont patinées et donc anciennes mais cependant faites après la fusion.

Il nous a semblé évident qu'il fallait mettre en relation ces deux marques: ainsi les trois tortues, qui correspondent aux trois éphèbes "dionysiaques" regardent la quatrième tortue qui se trouve au-dessus de l'éphète "apollinien" (fig. 29), lequel à son tour regarde le palais Mattei, palais appartenant à la famille à laquelle on doit la construction de la fontaine dans la place qui porte son nom.

Cette disposition sembla la plus convaincante et la dernière phase de la restauration des sculptures de bronze de la fontaine fut la mise en place des tortues selon cet ordre⁽⁴²⁾.

* * * * *

Tel est le compte-rendu de la restauration achevée en 1979. J'y ai réuni de nombreuses informations techniques mais aussi historiques et critiques, selon un point de vue précis: l'importance qu'elles pouvaient avoir dans les décisions prises pour la restauration du monument.

41) D. Biolchi, *Il ripristino della fontana delle tartarughe*, Capitolium, 1949, p. 83-87.

42) Malheureusement un mois environ après leur remise en place, une des quatre tortues a été volée. Par une singulière coïncidence, la tortue volée l'a été au même endroit que celle qui fut subtilisée en 1906. Après le vol, les trois tortues restantes ont été placées dans le médaillier des Musées Capitolins et remplacées sur la fontaine par quatre copies en galvanoplastie exécutées par le sculpteur Michel Bourbon qui était alors à l'Académie de France. J'avais eu heureusement la précaution - et ce, d'ailleurs, en désaccord avec la direction des travaux - de faire faire des moulages des tortues.

Les informations historiques ont été recueillies dans le but essentiel de suivre dans le temps les différents moments de la conservation de la fontaine et de son fonctionnement, en m'attachant particulièrement à l'eau qui l'a alimentée et qui est à la fois l'élément constitutif et la cause principale de sa dégradation.

Les informations critiques ont été réunies afin de comprendre comment certains éléments, comme, par exemple, la variété de la nature et de l'aspect des matériaux et la sinuosité du dessin des sculptures, étaient nécessaires pour une lecture correcte du monument et donc en quelle mesure la restauration devait en rétablir la fonction.

Les informations techniques enfin, largement les plus nombreuses, ont servi à mesurer la nature des dégâts infligés aux différents matériaux, leurs mécanismes et les causes qui les ont provoqués.

Toutes ces informations ont permis de décider les méthodes d'intervention à adopter.

L'enquête sur la fontaine des tortues a touché à diverses disciplines et les décisions opératives ont été prises sur la base d'une quantité suffisante d'informations.

Des spécialistes auraient pu cependant poursuivre la recherche au-delà de ce que requérait la restauration, pour approfondir la connaissance du monument et de son auteur qui méritent sans doute une place plus précise dans l'histoire de l'art. Cela n'a pas été fait et l'occasion en a été perdue.

Mais on doit regretter surtout une autre maladresse; une fois achevée la restauration des bronzes, restauration qui, selon les termes du projet ne pouvait être qu'un épisode de la restauration complète du monument, les travaux n'ont pas été poursuivis. La publication du projet de restauration dans la revue de l'organisme commanditaire, la Municipalité de Rome⁽⁴³⁾, faisait espérer que c'était clair à tout niveau que le nettoyage des bronzes sans celui des marbres aurait été une erreur, puisque pour la conservation, mais aussi et surtout pour la lecture du monument, il était indispensable de ne pas déséquilibrer l'ensemble par des travaux partiels.

Cet espoir fut hélas, déçu.

Pour les marbres, une recherche avait été menée en collaboration avec les laboratoires scientifiques de l'Institut central de restauration pour trouver une solution valable au problème difficile consistant à enlever un dépôt calcaire d'une matière elle aussi calcaire comme le marbre. La solution, brillante et d'avant-garde, avait été découverte dans les résines à échange

43) Roma Comune, novembre-décembre 1977, p. 43-47.

d'ions⁽⁴⁴⁾. Le projet de restauration des marbres présenté aux responsables de la Municipalité de Rome ne fut réalisé ni par moi ni par d'autres.

Je m'étais également dépensé sans compter pour le projet de dépuraction d'eau, indispensable pour éliminer la cause première des dépôts calcaires et de la corrosion du monument. Des mesures, tardives et inutiles, furent prises quelques mois après la remise en place des bronzes sur la fontaine. Entre temps l'eau avait formé de nouveaux dépôts calcaires, minimes certes, mais très visibles sur la patine sombre du bronze (fig. 30).

Etant donné qu'il fallait dépurier l'eau soit du calcaire soit du chlore, j'ai choisi un système où l'eau passe à travers des membranes osmotiques. Il s'agit d'un système efficace mais sophistiqué et sa gestion créa des problèmes au service qui s'occupe du patrimoine artistique de la Ville dont les fonctionnaires sont des historiens d'art ou des administrateurs et n'ont donc pas les compétences nécessaires pour s'occuper des problèmes techniques qui, au contraire, sont très importants pour la conservation du patrimoine artistique.

Enfin un autre inconvénient s'est présenté: le seul entretien prévu pour les fontaines consiste à contrôler le débit de l'eau et la propreté des bassins. Ces opérations sont déléguées à l'organisme municipal qui gère la distribution de l'eau et dont le personnel est expert en hydraulique et sciences affines mais nullement en matière de conservation d'oeuvres d'art.

En ce qui concerne les bassins des fontaines, l'entretien consiste à les nettoyer périodiquement des déchets qui s'y trouvent et des algues qui s'y forment. L'algicide qui fut longtemps utilisé pour la fontaine des tortues fut l'hypochlorite de sodium concentré qui provoqua de nouveau et plus vastes phénomènes de corrosion. Rapidement les bénéfices de la restauration des bronzes furent anéantis et aujourd'hui, sept ans après, il faudrait de nouveau les restaurer.

Ce qui est arrivé ici ne doit certes pas être généralisé mais n'est malheureusement pas non plus un cas isolé. On pourrait citer l'exemple de toits qui ont été restaurés après les fresques qu'ils devaient protéger, d'objets restaurés et puis conservés dans des conditions climatiques déplorables, etc.

La plus grande part des restaurations ont heureusement un résultat positif et les collaborations qui doivent se nouer finissent souvent par s'établir, même

44) S. Angelucci, C. Meucci, M. Tabasso, *Extraction de dépôts de calcaire sur la pierre au moyen de résines à échange de ions*. IIIème Colloque national sur la science et la conservation des Biens culturels, Venise 1979. Les actes de ce colloque n'ont malheureusement jamais été publiés. Il existe une copie du compte-rendu de cette recherche dans les Archives de l'Institut central de restauration, ainsi que dans mes archives personnelles.

au prix de gros efforts. Tout ceci dépend uniquement d'initiatives personnelles souvent risquées et mal reconnues. Le fait est que les problèmes concernant la conservation et l'entretien des œuvres d'art ne trouvent pas leur répondant dans les règlements et les structures technico-administratives affectées à la gestion du patrimoine artistique.

Les Surintendances, qui dépendent du Ministère des Biens culturels et constituent les organes périphériques de gestion du patrimoine culturel ne sont pas toutes organisées sur le même modèle. Elles peuvent posséder des laboratoires de restauration et de recherches, mais toutes n'en ont pas. Elles emploient rarement un personnel scientifique et les quelques techniciens spécialistes dans la conservation sont réduits à des rôles parfaitement subalternes qui ne leur donnent pas la possibilité de participer, si peu que ce soit, aux décisions techniques qui sont prises par des fonctionnaires (historiens d'art et archéologues) dont les connaissances techniques n'ont rien de spécifique.

Ces fonctionnaires, reconnaissions-le, sont souvent à la hauteur de leur tâche mais leur savoir technique est acquis par l'expérience, à l'intérieur de structures ainsi conçues et il est donc difficile qu'ils encouragent une volonté de réforme qui puisse s'exprimer de façon accomplie.

Je ne suis pas le seul à exprimer de telles critiques. Elles viennent depuis longtemps de l'administration publique elle-même par ses fonctionnaires. Je voudrais, à ce propose, citer l'extrait d'un article écrit par Mme Licia Vlad-Borelli lorsqu'elle dirigeait le secteur archéologique de l'Institut central de restauration:

"...Dans nos principales universités, dans nos écoles d'archéologie de Rome et d'Athènes, qui sont les pépinières des futurs archéologues italiens, ne sont prévus ni l'étude de la technologie des matériaux ni l'enseignement des techniques de restauration; les étudiants ne sont même pas initiés méthodologiquement aux opérations d'intervention immédiate sur les lieux de fouilles, opérations provisoires certes, mais qui représentent la condition de toute conservation future. Avec une désinvolture qui frise, c'est le moins qu'on puisse dire, la témérité, l'archéologue devra acquérir cette expérience tout seul, à ses frais ou plutôt aux frais de la matière dont est fait l'objet qui lui sera confié."

"Peut-être s'agit-il de disciplines et d'expériences qui peuvent sembler trop pragmatiques pour une école encore toute engoncée dans les paramètres étroits de l'idéalisme, où, par excès de rigueur ou par fidélité à des idéologies obsolètes, on tombe dans l'erreur contraire. Ainsi abandonne-t-on le jeune archéologue à l'empirisme, à la nécessité de chercher tout seul et péniblement, quand les problèmes l'exigent, une solution qui pourra être la bonne et souvent l'est (car le hasard parfois a sa logique propre et mystérieuse et parce que, comme le dit un de nos cyniques proverbes, les difficultés aiguisent l'intelligence) mais qui ne

sera jamais une solution jaillie de connaissances profondes et méditées" (45).

Telle est donc la situation générale. Le cas particulier de la Municipalité de Rome, qui fut le commanditaire de cette restauration puisqu'elle est la "propriétaire" de la fontaine des tortues, est exemplaire. Son patrimoine artistique est immense et, s'agissant de Rome, d'une importance considérable. Il est géré à travers une Surintendance municipale organisée sur le modèle des Surintendances nationales que j'ai évoqué plus haut. Elle ne possède ni laboratoire ni personnel scientifique, elle n'a ni techniciens ni laboratoire de restauration et enfin ne prévoit dans ses effectifs ce type de compétences.

Des structures ainsi conçues ont davantage la capacité de proposer que de gérer et l'un des résultats d'une telle situation est que la restauration, un événement qui devrait être la moins fréquente possible, constitue et demeure une habitude, alors que la véritable habitude, qui serait l'entretien, non seulement n'a jamais été prise mais n'a pas été encore définie dans ses contenus techniques.

Il m'a paru utile de parler, ici même, de la restauration de la fontaine des tortues, moins pour la façon dont le projet a été proposé et réalisé que pour montrer à quel point l'intervention technique seule est insuffisante pour mener à bien une restauration.

La conservation des œuvres d'art et surtout celles conservées en plein air est en effet un problème qui se résout dans plusieurs directions. Je suis un technicien et je ne minimise pas la part de la technique. L'expérience m'a appris cependant à cette occasion combien est importante la part de la gestion. Telle est l'idée que j'ai voulu illustrer dans cette intervention et je serais heureux qu'une discussion s'ouvre sur ce thème car il me semble que ce type de problème qui se pose en Italie n'a pas encore été résolu dans de nombreux autres pays d'aire culturelle identique.

45) Bollettino dell'Associazione Italia Nostra, année XVII, n. 128 (Restauro e Beni Culturali), sept. 1975, p. 20.



Fig. 1



Fig. 2

Fig. 3



Fig. 4



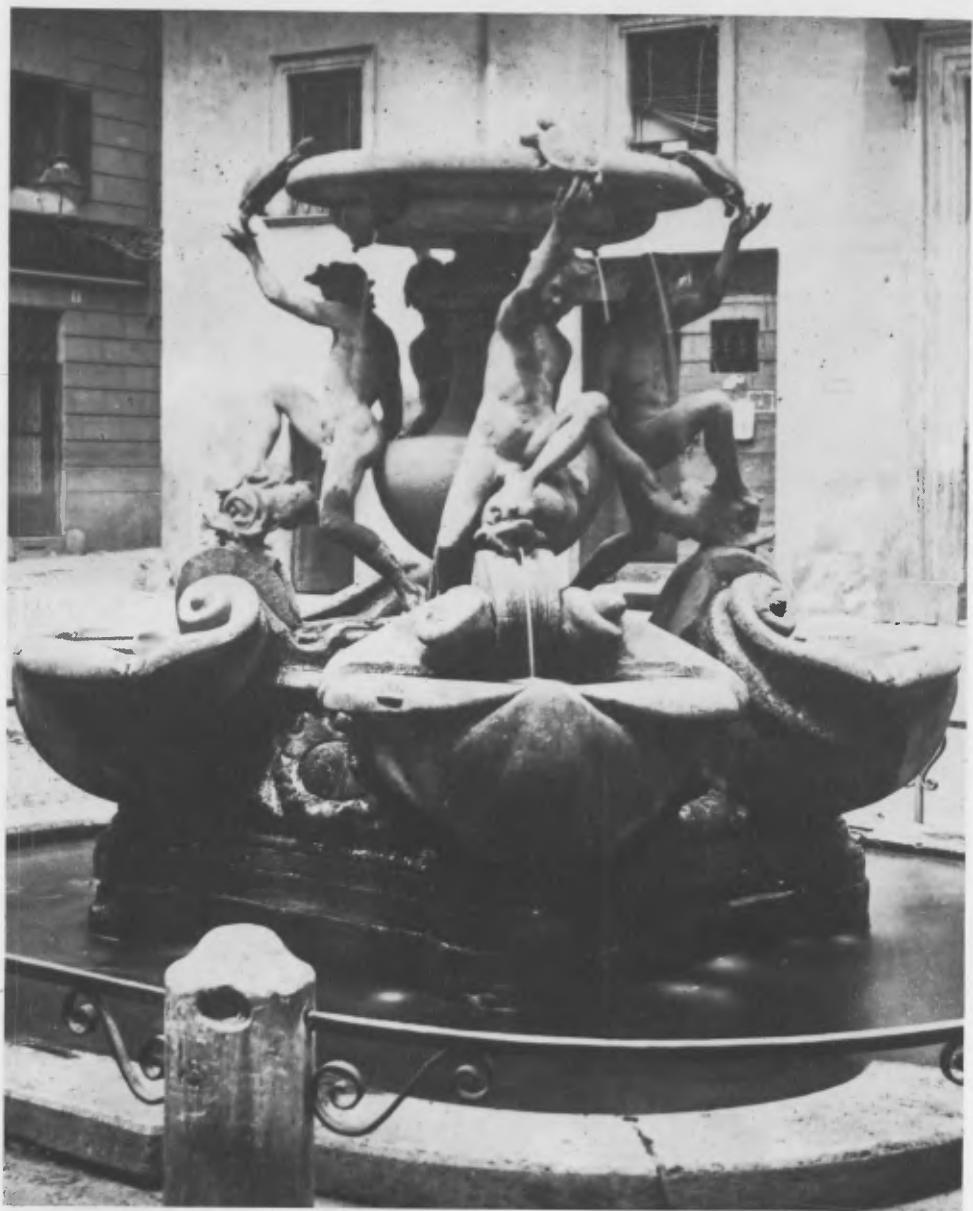


Fig. 5



Fig. 6



Fig. 7

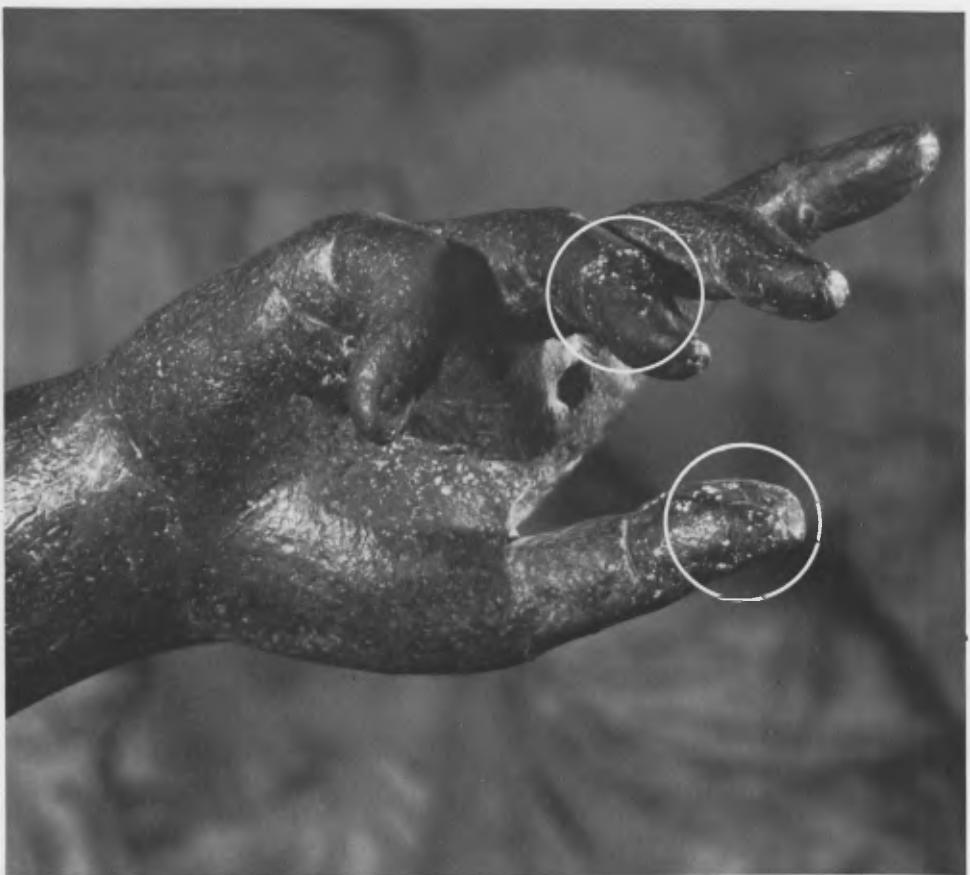


Fig. 8



Fig. 9



Fig. 10



Fig. 11



Fig. 12

Fig. 14



Fig. 13



Fig. 15



Fig. 16



Fig. 17



Fig. 18

Fig. 19



Fig. 20

Fig. 21





Fig. 22

Fig. 23



Fig. 24



Fig. 25

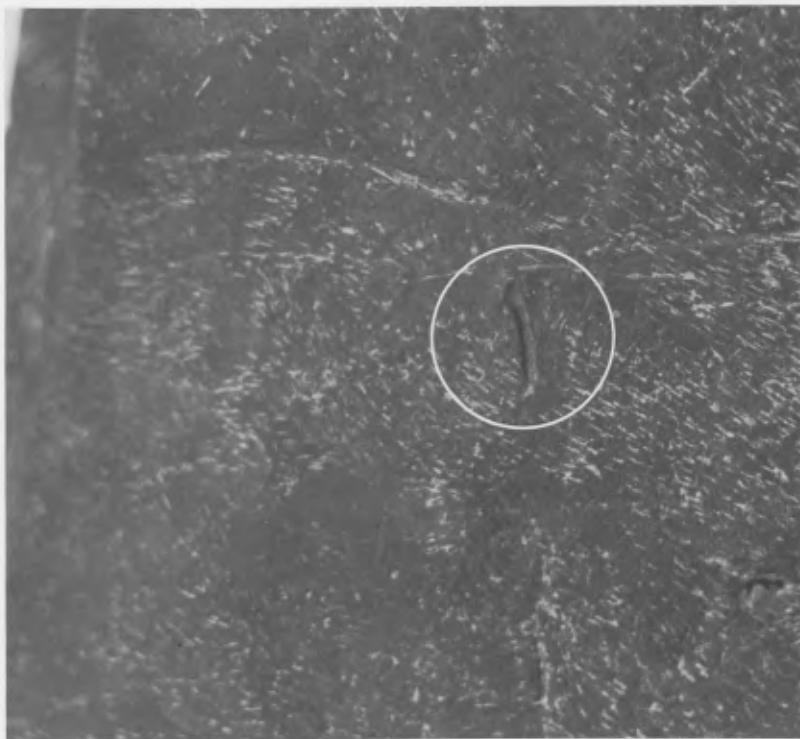


Fig. 26



Fig. 27





Fig. 28

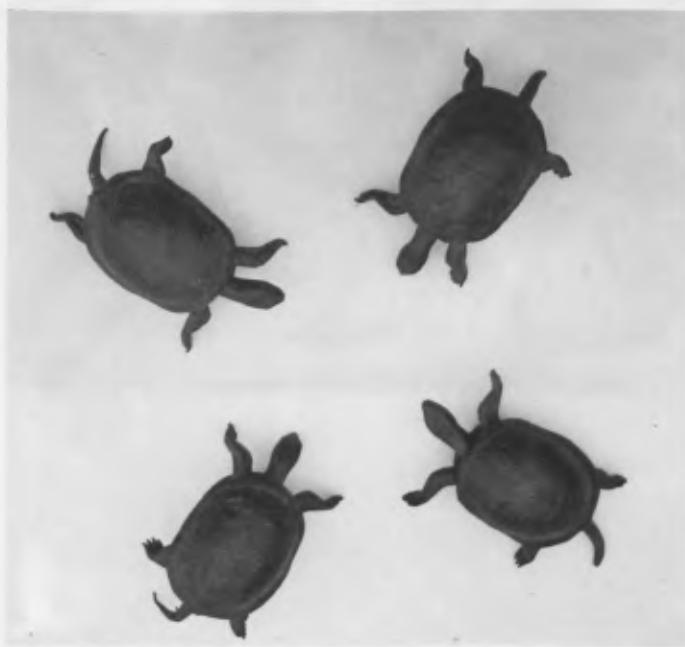


Fig. 29



Fig. 30

**AN EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF VARIOUS PLASTIC
AND WAX COATINGS IN PROTECTING OUTDOOR BRONZE SCULPTURE
EXPOSED TO ACID DEPOSITION:**

A PROGRESS REPORT

Rika Smith* and Arthur Beale**

SUMMARY

An investigation of various plastic and wax coatings currently in use in the United States to protect outdoor bronze sculpture is described. Coated bronze samples were exposed to a simulated acid rain environment for 16 weeks in an experimental greenhouse maintained by the Department of Plant Pathology at the University of Massachusetts at Amherst. A second set of samples were exposed to the natural outdoor environment at a roof site at the Waltham Field Station, Waltham, Massachusetts, a National Atmospheric Deposition Program collection site. After exposure, the bronze samples were examined by microscopy and Fourier Transform Infrared Spectroscopy. The effectiveness of the coatings in protecting the bronze samples is discussed and evaluated.

* Getty Fellow, Department of Conservation and Technical Research, The Walters Art Gallery, Baltimore, MD, USA.

**Director of Research, Museum of Fine Arts, Boston, MA, USA.

December 1986

AN EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF VARIOUS PLASTIC
AND WAX COATINGS IN PROTECTING OUTDOOR BRONZE SCULPTURE
EXPOSED TO ACID DEPOSITION:

A PROGRESS REPORT

INTRODUCTION

It has been widely noted that wet and dry acid deposition from atmospheric pollution greatly increases the deterioration of outdoor bronze sculpture, monuments, and architectural elements. Although corrosion of bronze is accelerated by changes in temperature and exposure to moisture, the corrosive agents from air pollution pose the greatest danger for outdoor bronze sculpture.

The principal corrosive agents in air pollution in the northeastern part of the United States are sulfur dioxide and nitrogen oxides, formed principally by the burning of fossil fuels. When combined with water, as condensation, fog, rain, or snow, these form sulphuric and nitric acids. These acids corrode bronze to the familiar green and black colored copper corrosion products. In advanced cases, the corrosion results in pitting, channelling, and an "islanding" effect, in which the raised black copper sulphide corrosion is surrounded by the more deeply cut green copper sulphate. The corrosion results in loss of original patina, and continued deterioration results in loss of sculptural detail which is irreplaceable.

Mitigation techniques are necessary to preserve outdoor bronze sculpture in today's environment. These may include

Periodic cleaning, coating, or even relocation of outdoor sculpture to indoor environments. Cleaning followed by coating with material such as acrylic lacquers or waxes has become a commonly used method for preserving outdoor bronze sculpture.

The objective of this study is to compare and evaluate the effectiveness of various plastic and wax coatings currently used in the United States to protect outdoor bronze sculpture. The coated bronze samples were exposed to acid deposition in two different environments: first, a simulated acid rain environment, and second, to the natural outdoor environment. At the date of this writing, all the samples had been exposed for a period of 16 weeks in each environment. The outdoor ones were then returned for an additional 11 weeks exposure and will be put out again in January, 1987.

The effectiveness of each coating in protecting the bronze was evaluated by comparative microscopic examinations and by Fourier Transform Infrared Spectroscopy before and after exposure.

EXPERIMENTAL

Procedure

Small cast bronze relief plaques with a similar surface preparation (see below) were coated with various plastic, wax and chemical formulations currently in use by conservators and maintenance crews in the United States for the preservation of outdoor bronze sculpture. The coatings were purchased from commercial suppliers or received from conservators. The methods of application followed as closely as possible the directions given by the manufacturer and/or conservators.

A set of coated control samples was kept at the Center for Conservation and Technical Studies, Harvard University Art Museums, during the exposure period. A second set of samples was exposed to a simulated acid rain environment at the Bowditch Greenhouse, an experimental acid rain study site developed and maintained by the Department of Plant Pathology, University of Massachusetts at Amherst (1). The samples were attached to a polyethylene rack with nylon line and set at a 30° angle on a shelf at a height of 0.8 meters. The acid rain source was 1.1 meters above the bronze samples. The samples were "rained on" once a day, 5 times a week, for 10 minutes, from January 3, 1986 to May 3, 1986. The simulated acid rain used by the Department of Plant Pathology was made up of distilled, deionized water, with mineral salts added to approximate a known natural water source (see Table I). The pH was adjusted to 3.6 by the addition of sulphuric and nitric acids in a ratio of 2:1. The temperature in the greenhouse during the test period was maintained at 21-24° C. The humidity level was often close to 100%RH, and the samples were exposed to bright light through the greenhouse roof during sunny days (see Table II for climactic record during exposure period).

A third set of samples was exposed to the natural outdoor environment on a roof site at the Waltham Field Station, Waltham, Massachusetts. This field station, also maintained by the University of Massachusetts, collects data on acid deposition for the National Atmospheric Deposition Program (NADP). This set of samples was attached to a polyethylene rack with nylon line, and secured to a wooden stand at a 30° angle on the roof site. The samples faced S/SW, and were exposed from January 22 to May 19, 1986, and from the beginning of July to September 26, 1986. The acid precipitation data collected by the Waltham Field Station during the first test period is given in Table III.

Samples and Sample Preparation

The bronze samples used in this study were cast by the Paul King Foundry, Johnston, Rhode Island. The approximate composition of the bronze is 85% copper, 5% tin, 5% zinc, and 5% lead (ASTM Code 115). Each sample is a low-relief plaque, 7 cm x 7 cm x 1 cm. In preparation for the coatings, the samples were submersed in 10% nitric acid (pH 1) for 10 minutes, and rinsed with running tap water for 2 hours. After the acid bath and water rinse, the samples were dried and air-abraded at 100-120 lbs. pressure with No. 9 glass beads and rinsed with acetone.

Coatings Tested

Incralac

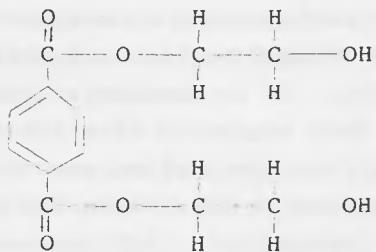
Incralac, a methyl methacrylate co-polymer (B-44), is an acrylic resin formula developed by the International Copper Research Association, Inc. It is available from a few manufacturers. It has been suggested that the formulation and quality of the Incralac from its various manufacturers tends to vary (2). The Incralac used in this study was purchased from StanChem, East Berlin, Connecticut. It contains benzotriazole as a corrosion inhibitor, plus ultraviolet inhibitors, plasticizers, and hardeners (3). It has been suggested that for best results, Incralac should be sprayed at temperatures above 15.6° C, approximately 15.2 cm from the metal surface, using 20 psi air pressure (4). The same article suggests that successive applications of the coating are desirable, allowing periods of 15-20 minutes between each coat. Full curing occurs in 24

hours. Because Incralac is glossy, a polyethylene dispersion (also available from StanChem) may be added to the Incralac as a matting agent.

Incralac has been available for more than fourteen years (5) and has been used on a number of outdoor bronze treatments (6).

Sedonalacq

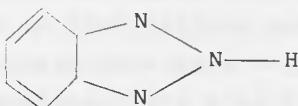
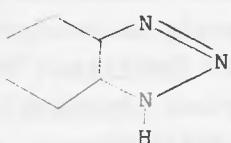
Sedonalacq (Sedona Coatings, Inc., Sedona, Arizona) is a polyester coating material developed for use on outdoor bronze sculpture. An ethylene glycol terephthalate, it is soluble in ketones and aromatic solvents. A suggested chemical structure is:



Sedonalacq may be applied by spray or brush, sets in a few minutes, and is thoroughly dry in 24 hours. Suggested application by the manufacturer is 2 parts of the commercially prepared coating to one part thinner (7). To our knowledge, no independent research has yet been done on Sedonalacq.

Benzotriazole

Benzotriazole ($C_6H_5N_3$) is a corrosion inhibitor that has been used in industry since 1947 to prevent corrosion of copper alloys (8). It was first suggested as a treatment for bronze antiquities in 1967 (9). BTA is a nitrogen heterocyclic derivative containing three nitrogen atoms, each with an unshared lone pair of electrons which form a five-membered ring in two tautomeric forms:



(11)

A thorough review of BTA and its chemistry has been presented by Sease (11). Briefly, BTA acts as a corrosion inhibitor by bonding the lone pairs of electrons to copper ions. The metallic complexes formed by these bonds are stable and insoluble in water and most organic solvents, thus forming a protective barrier. Research has shown that this barrier may vary in depth from about 7 to 60 Å (12). It has been suggested that 3 different Cu-BTA complexes may form, one from a cuprous salt and 2 from cupric salts. It has not been determined which of the Cu-BTA complexes are the most effective in protecting the copper (13).

Benzotriazole is soluble in water and ethanol, and is usually applied in a 3-5% solution in ethanol or in ethanol and water. It has also been used in the treatment of outdoor bronze sculpture. Zycherman and Veloz (1980) used BTA in a 3% solution in 3:1 water:ethanol as a step in the treatment of an outdoor bronze, followed by the application of a wax coating (14). Merk

has also used BTA as a step in the treatment of outdoor bronzes, both as an overall application and localized application followed by Incralac or Incralac and wax (15). BTA is included in the formulation of Incralac, which has been used on a number of outdoor bronze sculptures (16).

Waxes

A variety of waxes, both natural and synthetic, have been used as coatings on outdoor bronze sculpture. Mixtures of waxes have been applied cold or with a torch, directly on the bronze surface or cold over plastic coatings such as Incralac. The waxes in this study include a commercial product (Butcher's Bowling Alley Paste Wax, White Diamond Co., Marlboro, Massachusetts) and two wax mixtures currently in use for the treatment of outdoor bronze sculpture.

Butcher's Bowling Alley Paste Wax is a combination of carnauba wax and other natural and synthetic waxes in mineral spirits and turpentine (17). X-ray diffraction analysis of this product at the Center for Conservation and Technical Studies confirmed that carnauba wax is a primary ingredient (18).

The National Park Service Wax (NPSW), provided for this study by Nicolas F. Veloz, Cultural Resources Management Specialist with the National Park Service, is a combination of microcrystalline waxes and a polyethylene wax, with 3% BTA added as a corrosion inhibitor. The formula for the NPSW is 82% Bareco Victory White microcrystalline wax, 15% Bareco 2000 Polyethylene wax, and 3% Cosmoloid 80H Hard microcrystalline wax. The wax provided for this study by Steve Tatti, a conservator specializing in the conservation of outdoor sculpture, contains 85% Bareco Victory Brown microcrystalline wax, 10% Bareco 2000 Polyethylene wax, and 5% Cosmoloid 80H Hard

microcrystalline wax. The Tatti wax does not contain BTA.

A comparative study on the weathering of several wax coatings, including the National Park Service Wax, was carried out by Stromberg (19). Her preliminary results based on five months of outdoor exposure indicated that wax mixtures containing synthetic waxes appear to offer better protection than natural wax mixtures.

Microcrystalline waxes are a synthetic waxes, extracted from petroleum, which contain long chain saturated hydrocarbons. They are known for their hardness, flexibility, and a melting point (about 70° C) that is higher than animal waxes. Carnauba is a vegetable wax collected from the leaves of a Brazilian palm, Copernica prunifera. Carnauba wax is hard, has a high gloss, and a high melting point (82-85° C). Carnauba is added to other waxes to raise the melting point and increase hardness and lustre (20).

Theoretically, synthetic waxes resist attack from acids because the long chain saturated hydrocarbon bonds do not allow acid hydrolysis. Natural waxes, made of long-chain fatty acids and alcohol compounds, have ester linkages that are susceptible to acid hydrolysis.

Samples

The following coatings and methods of application were used. All surfaces of each bronze sample were coated.

Sample

Coating and Method of Application

- A No coating.
- B Incralac: 3 spray coats. 4th spray coat with polyethylene dispersion matting agent (StanChem).
- C Incralac: 2 brush coats.
- D Incralac: 2 coats sprayed; after drying overnight, coated with Butcher's Bowling Alley Paste Wax and buffed with a natural bristle brush and a soft cotton cloth.
- E Sedonalacq - 1 brush coat.
- F Butcher's Wax: applied twice (cold) and buffed.
- G National Park Service Wax (NPSW) with BTA: applied cold, then buffed.
- H National Park Service Wax: applied hot (metal heated by torch), then buffed.
- I 3% Benzotriazole in 3:1 ethanol/water: sprayed.
- J Tatti wax: applied hot, as directed; the metal was heated with a torch, and wax applied by brush. After cooling, this was repeated for a second coat. A third coat was applied cold, then buffed. Note: the first attempt at this method burned the wax during the second heating.

RESULTS

Comparative Microscopic Examination

After 16 weeks of exposure, the bronze samples were examined at 6-15x magnification with a binocular microscope and at 50-200x magnification with a reflected light microscope. The results are reported below. A re-examination of the outdoor samples after an additional 11 weeks of exposure reinforced the initial findings.

Sample A: No coating.

The control sample remained in very good condition. The sample exposed to the simulated acid rain had an uneven, greenish-brown corrosion. Under magnification, the flat surfaces on this sample appeared lightly etched, bringing out the grain and dendritic structure of the cast. The sample exposed to the outdoor environment had an overall, even, dark brown corrosion, and pits from the original casting had deepened. The outdoor sample was in a more corroded condition than the simulated acid rain sample, suggesting that wind, particulate matter, fluctuations in temperature, and/or other constituents in the rainfall also affected the sample.

Sample B: Incralac (3 spray coats, 4th spray coat with polyethylene dispersion matting agent).

The control sample remained in good condition. The Incralac was glossy and had a slightly "pebbled" surface. The Incralac on the sample that had been exposed to the simulated acid rain was glossy. There were small patches where the coating appeared to be degraded and was lifting up from the bronze surface. This occurred on upper, curved surfaces, on edges, and on flat areas. There were a few small areas along

the perimeter of the sample and on an upper surface where the coating was missing from the surface. The bronze appeared to be in good condition. The coating on the sample exposed to the natural outdoor environment was duller in appearance compared to the control and the sample exposed to the simulated acid rain environment. Again, there were small areas where the coating appeared to be lifting up from the bronze surface, and there was some loss of coating on the edges. There was one pin-point sized spot of green corrosion on one edge of the sample. In general, the outdoor sample appeared to have suffered more adversely than the simulated acid rain sample.

Sample C: Incralac (2 brush coats).

The control sample remained in good condition. There was one area on the sample exposed to the simulated acid rain where the coating appeared to have deteriorated. Here the coating was a light gray color, and appeared "sugary." There was one small spot of green corrosion, visible at 50x magnification. The outdoor sample had a few small areas where the coating appeared "sugary" or where the coating was lifting from the bronze. The outdoor sample had a few small spots of gray-green corrosion.

Sample D: Incralac (2 spray coats) and Butcher's Wax.

The control remained in good condition. There was some accumulation of wax visible in the pits. On the simulated acid rain sample, there were a few small areas where the coating was granular-looking, possibly indicating deterioration. No corrosion was seen. The outdoor sample was more matte in appearance and slightly browner in color than the simulated acid rain sample. There were a few light gray areas that appeared to be deteriorated coating. Again, no corrosion was evident. After the additional 11 weeks of exposure the wax on this sample shows distinct signs of deterioration.

Sample E: Sedonalacq (1 brush coat).

The control was in good condition. There were a few air bubbles in the coating, and numerous filaments that were composed of the coating material rather than fibers. The coating was thickly applied. On the sample exposed to the simulated acid rain environment, where the coating was applied very thickly (along the letters and along the upper edge) the Sedonalacq appeared to be lifting away from the bronze. There were a few small patches of gray corrosion material on the bronze. The outdoor sample was more matte in appearance than the control and the sample exposed to the simulated acid rain. Gray and red-colored patches of corrosion were visible on the bronze. The outdoor sample appeared more adversely affected than the sample exposed to the simulated acid rain.

Sample F: Butcher's Bowling Alley Paste Wax (applied cold).

The control was in very good condition. On the simulated acid rain sample, there were a few spots of granular-looking material, possibly indicating the breakdown of the wax. This material had a "sugary" appearance. Three pin-point sized areas of green corrosion were visible at 50x magnification. The outdoor sample appeared to be in better condition than the acid rain sample. There were no spots of corrosion on the outdoor sample after 16 weeks of exposure, but after an additional 11 weeks several developed.

Sample G: National Park Service Wax with BTA (applied cold).

The control was in very good condition and had an even, matte appearance. On the sample exposed to the simulated acid rain, there did not appear to be any areas of deterioration of the wax. There were some small areas near the letters where the wax was lifting where it had been applied thickly. There was

one pin-point sized spot of green corrosion visible at 50x magnification. The outdoor sample was in good condition, with no deterioration evident. The outdoor sample was in better condition than the sample exposed to the simulated acid rain after the initial examination period but began to show more deterioration after 27 weeks.

Sample H: National Park Service Wax with BTA (applied hot).

The control was in very good condition. There were a few air bubbles in the coating, possibly from the wax being applied too hot. There were a few very small areas of granular looking material that appears to be wax breakdown, and there was one pin-point sized spot of green corrosion visible on the bronze at 50x magnification. On the outdoor sample, there was one small area of lifting wax, at the bottom of one of the letters, where the wax had been thickly applied. Again, the outdoor sample was in better condition than the sample exposed to the simulated acid rain. Similar to Sample G, the additional outdoor exposure caused further green corrosion to form.

Sample I: Benzotriazole (spray coat).

White crystals had formed on the surface of the control sample, particularly on the interior of the letters, where the BTA probably pooled during the spray application. The sample exposed to the simulated acid rain was very pink in color compared to the control, and appeared to have been lightly etched. The outdoor sample had a dark gray-brown corrosion layer. Some of the pits from the original cast had deepened. After the additional 11 week outdoor exposure period this sample showed further significant signs of corrosion.

Sample J: Tatti Wax (applied hot).

The control was in very good condition, although the wax appeared to have been applied more thickly than usual. The sample exposed to the simulated acid rain had a few very small areas where the wax had deteriorated and appeared "sugary". One pin-point sized spot of corrosion was visible at 50x magnification. The sample exposed to the outdoor environment was in slightly better condition, with almost no evidence of the "sugary" breakdown and no signs of corrosion at 16 weeks but did exhibit some loss and lifting of the coating after 27 weeks.

Solubility

After a total of 27 weeks of outdoor exposure some of the sample coatings were tested to determine their relative solubility and therefore reversibility. An approximate 1.5 cm square of coating material on the lower right hand corner of the obverse of five of the plaques was removed. Solvents were applied with cotton-tipped wooden applicators lightly rolled over the surface for a given amount of time. The solvents varied according to the coating being removed. Toluene was used for the Incralac, v.m.p. naphtha for the waxes and a solution of 50% xylene and 50% methyl ethyl ketone for Sedonalacq. The results of these tests were as follows:

All the coating materials were found to be soluble and removable with relative ease. Sample F, Butcher's Wax, was found to be the most readily soluble, with Samples B, Incralac, and E, Sedonalacq, being next and about equal in solubility, followed by H and J, the hot wax formulas. It was also noted that because of their stickiness, all of the wax formulas had picked up a good deal of air and water born dirt and particulate

during exposure. In addition, much of the green corrosion noted on these samples (especially Sample H) appeared to be contained in the coating and hence came off as green particulate on the solvent saturated cotton applicators.

Summary of Results

The following comments are made on the condition of the bronze samples and the coatings after the various exposure periods:

- 1). For the uncoated sample and the benzotriazole, Incralac and Sedonalacq-coated samples, those exposed to the natural outdoor environment exhibited more deterioration than those exposed to the simulated acid rain environment. Factors such as wind, particulate matter, dry acid deposition, and fluctuations in temperature and ultraviolet exposure (see Table II) appear to increase the rate of deterioration.
- 2). The Incralac, both spray and brush-coated, suffered some degradation during the 16 weeks of exposure, both in the simulated acid rain environment and in the outdoor environment. This degradation included localized separation from the bronze substrate. It has been suggested that this is due to oxidation of the copper having an oxidative-degradative effect on the acrylic (21). The Sedonalacq exhibited degradation also, including some separation from the substrate and corrosion of the bronze. The problem of these coatings separating from the bronze requires additional research. Repeated tests are needed before any definite conclusions can be made.
- 3). The three wax mixtures used in this study appear to be reacting similarly to both the simulated acid rain and the outdoor environment. There are no discernible differences between the waxes applied hot or cold, although some

conservators' experiences have shown that hot-waxed bronze is protected longer than cold-waxed (22). The addition of the BTA to the National Park Service Wax did not noticeably improve the effectiveness of the wax in protecting the bronze.

4). For the wax-coated samples, there was slightly more deterioration in the coatings exposed to the simulated acid rain than those exposed outdoors after the 16 week period. The simulated acid rain has a lower pH than the outdoor rain, indicating the waxes' susceptibility to acid hydrolysis. After 27 weeks of outdoor exposure the wax-coated samples showed more signs of corrosion than the ones coated with the plastic materials.

Fourier Transform Infrared Spectroscopy

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) was used to analyze samples of the coatings exposed to the simulated acid rain. The coatings were analyzed before, during, and after the 16 week exposure period. The results of the analysis indicated that there were no discernible chemical differences in the coatings before and after exposure using FTIR as the analytical technique (24).

A similar study done by Stromberg (1985) using Infrared Spectroscopy to examine the deterioration of wax coatings for outdoor bronzes indicated some changes in certain natural waxes after 5 months of outdoor exposure, and even greater differences after 18 months of exposure (25). It is expected that the FTIR will provide information on the deterioration of the coatings in this study after a longer exposure time. The analysis will be repeated after one year of exposure.

Continuation of Research

The samples exposed to the outdoor environment on the roof site of the Waltham Field Station, Waltham, Massachusetts, will be placed at the test site again, in January, 1987. The samples will be examined and re-evaluated after an additional 6 months of exposure. Although reversibility tests on the coatings are not strictly within the scope of this study, some further testing in this regard will be carried out on the samples in July of 1987.

DISCUSSION

Conversations with conservators who provided materials and information for this research revealed some interesting and varied insights. Steve Tatti indicates that although he had experimented with both plastics and waxes, he prefers his hot wax material because of the way it appears to "wet" or saturate the surface of the sculpture, its working properties, the thoroughness of application, the ease of maintenance, and the "forgiving" property of the wax in the event of public handling. Tatti had not had frequent occasion to remove wax applied with heat from outdoor sculpture but suggested that removal, in practical terms, would present a certain level of difficulty.

Phoebe Dent Weil, a conservator also specializing in the treatment of outdoor sculpture, prefers Incralac because she feels that she can control the ultimate appearance with the addition of modifiers such as the polyethylene dispersion. She likes the working properties and durability of Incralac as she has observed it over some fifteen years. Some of her own unpublished experimental results have shown that it affords good

protection against sulfur dioxide. She also reports that she has had little difficulty with removal.

Nicolas Veloz, a Cultural Resources Management Specialist with the National Park Service, works principally with wax coatings for outdoor bronze sculpture. Like the two previously mentioned conservators, his materials and procedures are based in part on unpublished experiments that he has done. He likes the ease of application of wax, its durability based on his own observations made since 1978, and its reversibility. On very large sculptures with access problems he has employed a spray wax technique. He has removed cold paste wax coatings with Igepal CA 530 in mineral spirits followed by high pressure hot water washing with Igepal CA 630.

All of those who discussed their methodologies agreed that care in application was critical. We found this to be true, even in coating small bronze test samples under optimum conditions. All also agreed that a program of regular examination and maintenance of the coatings is important if not essential for them to be most effective.

Preliminary Conclusions

At this point in the research it can be said that with fairly minor variations both the plastics and waxes tested are measurably effective in protecting bronze exposed to acid deposition. All the materials tested appear to be reversible after 27 weeks of outdoor exposure. Although tests of longer duration may expand information on these variations, the ultimate choice of coating material may rely on such factors as aesthetics, reversibility, and/or ease of application.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to acknowledge with gratitude the invaluable assistance of Eugene Farrell, Senior Conservation Scientist at the Center for Conservation and Technical Studies, Harvard University Art Museums. We would also like to thank Dr. William Manning and Dr. William Feder for allowing us to use their respective facilities in Amherst and Waltham, Massachusetts for our research and for sharing their data with us. We would like to acknowledge the following individuals who supplied us with experimental material and/or information: Don E. Neese, Norman Nielsen, Constance Stromberg, Steve Tatti, Nicolas Veloz, and Phoebe Dent Weil. We also acknowledge the work of Leslie Ransick, intern at the Research Laboratory of the Museum of Fine Arts, Boston, in examining the outdoor samples after the 27 week exposure period. Finally, we would like to thank Marjorie Cohn, Head Conservator, and Cherrie Corey, Administrative Director, the Center for Conservation and Technical Studies, for editing this paper, and Linda Davis for her assistance in preparing the manuscript.

NOTES

1. The acid rain studies at the Bowditch Greenhouse are directed by Dr. William Manning, Department of Plant Pathology, University of Massachusetts at Amherst.
2. Conversation with Phoebe Dent Weil.
3. Strzelec, Paul. "Protective Coatings for Bronze Sculpture." International Sculpture Center Bulletin, v. 30, November, 1981. p. 8.

4. Strzelec, p. 8.
5. Dent Weil, Phoebe. "The Approximate Two-Year Lifetime of Inralac on Outdoor Bronze Sculpture." Paper presented at the ICOM Committee for Conservation, 4th Meeting, 1975.
6. See list of treatments in Sculptural Monuments In An Outdoor Environment: Conference held at the Pennsylvania Academy of the Fine Arts, Philadelphia, November 2, 1983. Edited by Virginia Norton Naude. Philadelphia: Pennsylvania Academy of the Fine Arts, 1985.
7. Sedona Coatings, Inc. 232 Antelope Dr., P.O. Box 1464, Sedona, Arizona, 86336.
8. Sease, Catherine. "Benzotriazole: A Review for Conservators." Studies in Conservation 23 (1978) p. 76.
9. Madsen, H.B. "A Preliminary Note on the Use of BTA for Stabilizing Bronze Objects." Studies in Conservation, 12 (1967) pp. 163-67.
10. Sease p. 76.
11. Sease.
12. Sease, pp. 78-79.
13. Sease, p. 80.
14. Zycherman, Lynda A. and Nicolas F. Veloz Jr. "Conservation of a Monumental Outddor Bronze Sculpture: Theodore Roosevelt by Paul Manship." Journal of the American Institute for Conservation, no. 19 (1980) p. 29.

15. See list of treatments in Sculptural Monuments.
16. See list of treatments in Sculptural Monuments.
17. Product literature, Butcher's White Diamond Paste Wax, Marlborough, Massachusetts 01752.
18. See Analytical Lab Report # 81.63, Center for Conservation and Technical Studies, Harvard University Art Museums.
19. Stromberg, Constance. "A Comparison of Wax Treatments Used in The Conservation of Outdoor Bronze Sculpture." Art Conservation Training Programs Conference - May 2 and 3, 1985. University of Delaware, Newark, Delaware.
20. Masschelin-Kleiner, L. Ancient Binding Media, Varnishes, and Adhesives. ICCROM, 1985. pp. 49-51.
21. Conversation with Norm Nielsen, metallurgical consultant, Wilmington, Delaware.
22. Conversation with Nick Veloz.
23. FTIR analysis was carried out by Richard Newman, Conservation Scientist, Center for Conservation and Technical Studies, Harvard University Art Museums, and Ray Meilunas, student, at the Materials Science Department, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts.
24. Conversation with Constance Stromberg.

REFERENCES

DENT WEIL, P., The approximate two-year lifetime of Incralac on outdoor bronze sculpture, presented at the ICOM Committee for Conservation, 4th Meeting, 1975.

MADSEN, H.B., A preliminary note on the use of BTA for stabilizing bronze objects, in Studies in Conservation, Vol. 12, 1967, 163-67.

MASSCHELIN-KLEINER, L., Ancient Binding Media, Varnishes, and Adhesives. ICCROM, 1985.

NAUDE, V.N., Ed., Sculptural Monuments In An Outdoor Environment: Conference Held at the Pennsylvania Academy of the Fine Arts, Philadelphia, November 2, 1983. Philadelphia: Pennsylvania Academy of the Fine Arts, 1985.

SEASE, C., Benzotriazole: a review for conservators, in Studies in Conservation, 23, 1978.

STROMBERG, C., A Comparison of Wax Treatments used in the conservation of outdoor bronze sculpture, in Art Conservation Training Programs Conference, May 2 and 3, 1985. University of Delaware, Newark, Delaware.

STRZELEC, P., Protective Coatings for Bronze Sculpture, in International Sculpture Center Bulletin, Vol. 30. November, 1981.

ZYCHERMAN, L. - VELOZ, N. F. Jr., Conservation of a monumental outdoor bronze sculpture: Theodore Roosevelt by Paul Manship, in Journal of the American Institute of Conservation, No. 19. 1980.

TABLE I

COMPOSITION OF SIMULATED ACID RAIN, DEPARTMENT OF
PLANT PATHOLOGY, UNIVERSITY OF MASSACHUSETTS, AMHERST

Weighted mean concentrations of major ions in precipitation. Mineral salts were added to deionized, distilled water to approximate the composition of the water from the Bickford Reservoir, western Massachusetts.*

	mg/l
Ca ²⁺	0.1222
Mg ²⁺	0.0352
K ⁺	0.0743
Na ⁺	0.1954
NH ₄ ⁺	0.1389
Cl ⁻	0.5141
SO ₄ ²⁻	1.9356
NO ₃ ⁻	1.2773

Additional sulfuric and nitric acids were added in ratios of 2:1 to bring the pH to 3.6.

*See data on Bickford Reservoir collected by Department of Plant Pathology, University of Massachusetts, Amherst.

TABLE II

CLIMATE RECORD*

JANUARY-MAY, 1986

Month	Maximum Temp.	Minimum Temp.	Average Max. Temp.	Average Min. Temp.
January	58° F 14.4° C	-3° F 19.4° C	38.5° F 3.6° C	18° F -7.7° C
February	41° F 5° C	7° F -13.8° C	33.9° F 1° C	16.9° F -8.4° C
March	83° F 28.3° C	4° F -15.5° C	50.3° F 10° C	26.6° F -3° C
April	73° F 22.7° C	28° F -2.2° C	58.7° F 14.8° C	38.3° F 3.5° C
May	90° F 32.2° C	30° F -1.1° C	69.5° F 20.8° F	46.5° F 8.0° C

	Total Rainfall	Total Snow, Ice, and Hail
January	4.04" 10.26cm	4.50" 11.43cm
February	3.20" 8.13cm	11.3" 28.7cm
March	4.12" 10.46cm	3.20" 8.13cm
April	2.12" 5.38cm	--
May	1.82" 4.62cm	--

*Data provided by Weather Services Corp., 131A Great Road, Bedford, Massachusetts 01730. Data collected by the National Oceanic and Atmospheric Administration Station at Bedford, Massachusetts.

TABLE III

RAINFALL DATA COLLECTED BY THE WALTHAM FIELD STATION, WALTHAM,
 MASSACHUSETTS*, FOR THE NATIONAL ATMOSPHERIC DEPOSITION PROGRAM
 January 21 - May 27, 1986

Date	pH	Conductance (μmhos)	Total Rainfall during interval (inches)
1/21-1/28	4.80	14.9	1.90
1/28-2/4	4.43	25.6	.13
2/4-2/12	4.95	18.5	.53
2/12-2/18	4.41	45.7	.53
2/18-2/25	4.52	30.5	.19
2/25-3/4	-	-	.00
3/4-3/11	4.43	-	.18
3/11-3/18	4.43	28.7	.75
3/18-3/25	3.91	70.7	.19
3/25-4/1	3.91	70.1	.30
4/1-4/8	3.93	68.9	.22
4/8-4/15	3.89	98.8	.12
4/15-4/22	4.36	35.4	.13
4/22-4/29	4.70	24.2	.92
4/29-5/6	-	-	.03
5/6-5/13	4.15	-	.09
5/13-5/20	4.04	54.6	.18
5/20-5/27	4.19	36.0	.98

* NADP East Mass 13- ID 221325

LA CONSERVATION DES GRILLES ORNEMENTALES

Jean-Marie BETTEMBOURG*
Annick BOYER**

RESUME

The conservation of ornamental railings needs use an anticorrosion system to avoid a rapid corrosion of the iron bars and of the ornamental parts (iron or copper parts with leaf gilding).

The cleaning of the metal (removal of rust and old paints, etc.), the preparation of the surface (shot-blasting, treatments, etc.) are discussed, as well as the constitution of different painting systems and the importance of the coating setting. Solutions are presented which have been used for the restoration of Stanislas square railings in Nancy (France).

* Ingénieur, Chef des sections "vitrail" et "métaux" au Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques (I.R.M.H.)
29 rue de Paris - 77420 CHAMPS SUR MARNE - FRANCE

** Chimiste au I.R.M.H.

1er juillet 1986

Exposées à l'agression de leur environnement, les grilles ornementales subissent une dégradation de tous les matériaux qui les composent : la corrosion des fers, des ornements dorés, l'écaillage des peintures de protection conduisent peu à peu à une altération esthétique des œuvres d'art et présentent une menace pour leur conservation.

Les restaurateurs se trouvent confrontés à divers problèmes nécessitant la compétence de plusieurs corps de métier. Ateliers de ferronnerie, applicateurs d'un système de protection, doreurs à la feuille, travailleront en collaboration pour mener à bien les travaux.

Parmi les grilles ornementales on peut distinguer les grilles constituées d'un seul métal -le fer- de celles comportant des motifs ornementaux réalisés soit en fer doré à la feuille, soit en bronze ou en cuivre, dorés ou non. Dans ces derniers cas, les risques de corrosion galvanique augmenteront les difficultés posées par la restauration : l'accélération de la corrosion des éléments métalliques dorés, la pose de ces éléments par rivetage nécessitent l'application de systèmes de protection adaptés.



1. NANCY (France, Meurthe-et-Moselle, 54)
Place Stanislas : restauration des grilles de Jean Lamour
Fontaine de Neptune

CONSERVATION DES GRILLES EN FER FORGE NON PEINTES

Les fers forgés non protégés subissent à l'extérieur une corrosion importante qui conduit à l'apparition de taches de rouille importantes sur les maçonneries environnantes (grilles décoratives placées derrière des vitraux par exemple : cathédrale de Béziers - Hérault, 34 - , église des Iffs - Ille-et-Vilaine, 35). La conservation de ces œuvres est difficile car l'application de vernis de protection ne donne pas toujours un résultat esthétique satisfaisant, l'aspect du fer forgé se trouvant dénaturé.

L'élimination de la rouille peut être réalisée par brossage et par application de produits transformateurs de rouille, les seuls efficaces étant ceux à base d'acide tannique. Cependant, ces produits ont tendance à noircir le métal. Une protection peut être réalisée par exemple par application d'un vernis mat polyuréthane. Des entretiens périodiques sont nécessaires car ce type de protection ne peut avoir l'efficacité d'un système de peinture.

CONSERVATION DES FÈRS PAR SYSTEMES DE PEINTURE ANTICORROSION

1. Le nettoyage

L'application d'un système anticorrosion nécessite une préparation de la surface à protéger. Cette préparation consiste en un nettoyage qui permettra d'éliminer d'une part la rouille - ou la calamine sur des éléments en fer neufs - qui conduirait au décollement de la protection et favorise la poursuite de la corrosion et, d'autre part, les anciennes traces de peintures.

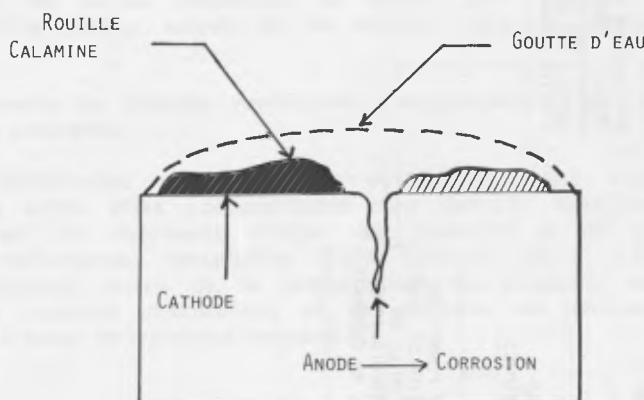


Fig. 1 La présence de rouille (ou de calamine) entraîne la formation de piles électrochimiques dont le fer est l'anode : $\text{Fe} \longrightarrow \text{Fe}^{++} + 2\text{e}^{-}$

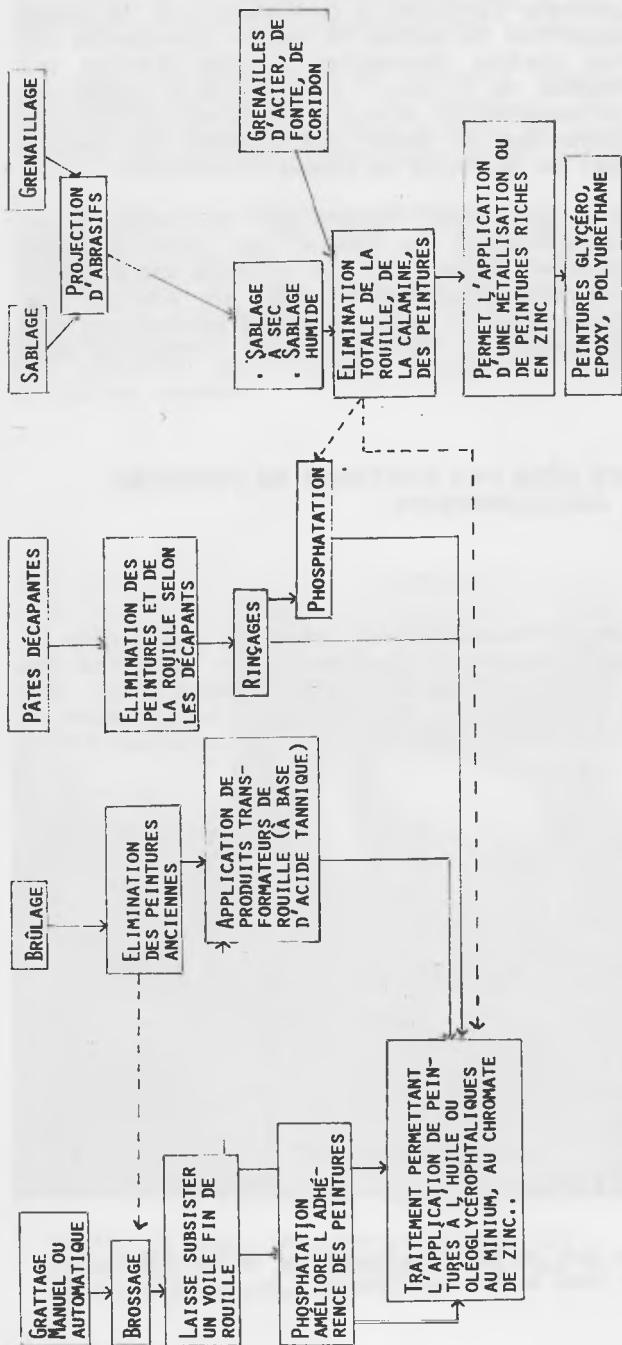


TABLEAU 1

Le nettoyage, selon l'état de surface des ferrures pourra être effectué par les moyens mentionnés dans le tableau 1 et pourra être suivi d'un traitement rendant le métal apte à recevoir un système de protection. (produits transformateurs de rouille, phosphatation, etc.).

2. Protection anticorrosion

Le choix d'un système de protection se fera en fonction de l'agressivité du milieu ambiant, de la durée de vie souhaitée, des possibilités de mise en oeuvre et d'entretien, du coût et de la préparation des surfaces.

Parmi les systèmes de protection, on distingue les systèmes de peinture et la métallisation (suivie d'un système de peinture).

2.1 Les systèmes de peinture

Tout système de peinture anticorrosion est constitué :

- . d'une couche primaire comportant un pigment inhibiteur de corrosion (minium de plomb, chromate de zinc, chromate de strontium, silicochromate de zinc, phosphate de zinc, peintures riches en zinc, en plomb, etc.). Son rôle est d'inhiber le processus de corrosion du fer. Elle doit avoir une bonne adhérence et permettre un bon accrochage des couches suivantes. L'adhérence de ce primaire peut être augmentée par phosphatation de la surface du métal nu ou faiblement oxydé (formation de phosphate de fer ou de phosphate complexe selon la composition du produit de phosphatation ; se conformer au mode d'emploi du fabricant pour son utilisation).
- . d'une couche intermédiaire comportant un pigment chimiquement inerte vis-à-vis du milieu extérieur et ayant une grande imperméabilité (graphite lamellaire, oxyde de fer micacé, mica, aluminium en poudre, etc.).
- . d'une couche de finition renforçant l'imperméabilité et comportant des pigments colorants.

Les différentes couches d'un système doivent évidemment être compatibles entre elles (compatibilité des liants). Modifier un système proposé par un fabricant risque de conduire à de graves ennuis (mauvaise adhérence, dissolution d'une couche, etc.). L'efficacité d'un système dépend, outre de la préparation du support, du respect du nombre de couches préconisées et de sa mise en oeuvre (épaisseurs, temps de séchage entre deux couches).

2.2 Le choix d'un système de protection

Confronté au choix des pigments des couches primaires et intermédiaires, le restaurateur le sera aussi à celui des liants. Faut-il préférer une peinture oléoglycérophthalique à une peinture époxy, polyuréthane ou au caoutchouc chloré ? Ces derniers, plus difficiles d'emploi, nécessitent une préparation de surface importante (sablage, grenailage), un investissement plus élevé, des épaisseurs de couches plus importantes, des intervalles entre l'application de deux couches beaucoup plus courts et ne permettront pas toujours de retouches et un entretien ultérieur. Cependant, ces peintures conduisent en général à des systèmes à trois couches, alors que les systèmes glycériophthaliques peuvent en comporter jusqu'à cinq à six.

Sur un métal dont le nettoyage n'est effectué que par brossage et dont la surface est légèrement oxydée, le choix se portera de préférence sur un système oléoglycérophthalique avec une couche primaire au minium de plomb (qui devra correspondre à la norme AFNOR T31004). Un traitement préalable du métal - phosphatation, application d'un produit de transformation de la rouille - contribuera à l'efficacité du système anticorrosion.

Des tests de vieillissement réalisés au L.R.M.H. de différents systèmes (vieillissement climatique, brouillard salin) ont montré que les protections glycériophthaliques suivantes donnent de bons résultats :

système 1 :

- . 2 couches primaires au minium de plomb
- . 2 couches intermédiaires à l'oxyde de fer micacé
- . 1 ou 2 couches de finition.

De tels systèmes font partie des systèmes anticorrosion industriels et sont malheureusement difficilement disponibles en faible quantité. Leur coût est relativement élevé, fait dû à l'emploi d'oxyde de fer micacé (oxyde de fer Fe_2O_3 lamellaire). Ils pourront être utilisés pour des restaurations importantes. Lors de la restauration des grilles de Jean Lamour de la place Stanislas de Nancy, le système décrit en annexe 1 a été employé sur la grille BARRES.

système 2 :

- . 1 couche de primaire au minium de plomb
- . 2 couches intermédiaires au silicochromate de plomb
- . 1 ou 2 couches de finition.

Ce type de système disponible en faible quantité, peut être préconisé pour des restaurations concernant le traitement de petites surfaces (grilles, ferrures de vitraux) (annexe 2).



2. NANCY, Place Stanislas
Restauration de la grille
Barres
Dorure à la feuille

3. Système de peinture anticorrosion
glycérophthalique (cf. annexe 1)

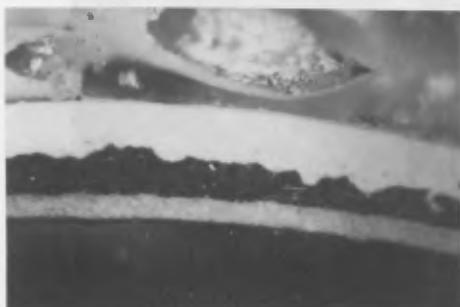
4 Mixion + dorure

3 Finition

2 Oxyde de fer micacé

1 Minium

4
3
2
1



Un métal mis à nu par sablage ou grenaillage (1) pourra être protégé par ces mêmes systèmes. L'application de peintures époxy ou polyuréthanes (primaire époxy riche en zinc, norme AFNOR 31014, intermédiaire époxy à l'oxyde de fer micacé, finition polyuréthane par exemple) ayant une bonne imperméabilité pourra également être envisagée dans ce cas, sachant que la mise en oeuvre sur de petites surfaces est délicate, celle-ci se faisant au pistolet alors que les peintures glycérophthaliques sont appliquées à la brosse et permettent ainsi une meilleure régularité dans les opérations de recouvrement.

2.3 Protection par métallisation et système de peinture

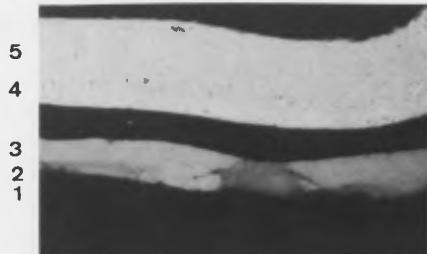
La protection des fers peut être augmentée par une métallisation, en particulier en milieu marin : projection de zinc au pistolet par exemple après mise à nu du fer. Le revêtement métallique de zinc possédant une certaine perméabilité, il est nécessaire de le colmater par l'application d'un primaire réactif : Wahsprimer, butyral polyvinyle, (+ tétraoxy-chromate de zinc, + acide phosphorique < à 2,5 % sur métallisation), l'épaisseur devant être inférieure à 8 μ environ et le recouvrement par un système de peinture exécuté rapidement. Une protection efficace pourra être effectuée de la manière suivante :



5. Système de peinture anticorrosion glycérophthalique (cf. annexe 3) sur métallisation au zinc

- 5 Mixion + dorure
- 4 Finition
- 3 Oxyde de fer micacé
- 2 Chromate de zinc
- 1 Primaire réactif

4. NANCY, Place Stanislas
Restauration de la grille de
la Fontaine de Neptune
Dorure à la feuille



1. Métallisation au zinc immédiatement après mise à nu du métal : épaisseur 120µ
2. Application d'un réactif primaire
3. Système de peinture glycérophthalique
 - . couche primaire au chromate de zinc
 - . couche intermédiaire à l'oxyde de fer micacé
 - . 1 ou 2 couches de finition

Un tel système a été appliqué pour la restauration des grilles d'Amphytrite et de Neptune de la place Stanislas à Nancy (annexe 3).

Un système de peinture époxy pourra comprendre une couche primaire au chromate de zinc ou de strontium, au chromate de zinc, une couche intermédiaire à l'oxyde de fer micacé, une couche de finition polyuréthane.

LA RESTAURATION DES ELEMENTS DECORATIFS DORES A LA FEUILLE

La dorure à la feuille d'éléments en fer ou en cuivre nécessite une protection préalable du métal à décorer par un système anticorrosion qui doit avoir une très bonne imperméabilité afin d'éviter l'apparition de piles électrochimiques dont le fer ou le cuivre sont l'anode et la feuille d'or la cathode, ces piles conduisant à une corrosion rapide du métal support (photo n° 6). Avant protection, un traitement des ornements en fer ou cuivre par un wahsprimer est conseillé.



6. NANCY, Place Stanislas
Corrosion des motifs dorés à la feuille, avant restauration
Système de peinture constitué d'une couche de minium, d'une couche de peinture à la céruse et d'une couche de finition

Des tests de vieillissement accéléré réalisés au L.R.M.H. (vieillissement climatique, essai de corrosion au brouillard salin, à l'anhydride sulfureux) sur divers systèmes de protection ont montré que le système glycérophthalique à base de minium et d'oxyde de fer micacé décrit en annexe 1 est d'une très bonne efficacité (photo n° 3). Un élément en fer métallisé par du zinc peut être protégé par le système décrit en annexe 3 (photo n° 5).

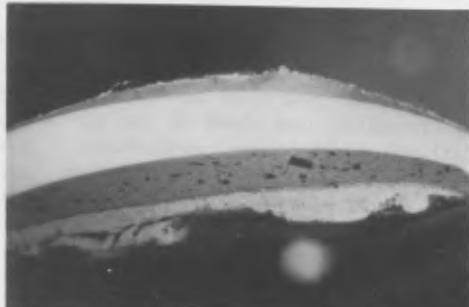
L'emploi de systèmes de peintures époxy et polyuréthanes n'est pas conseillé, car l'adhérence de la feuille d'or posée à la mixion est très mauvaise sur ce type de peinture (photos n° 7 et 8).



7. Défaut d'adhérence de la dorure sur un système de peinture époxy-polyuréthane

8. Système époxy sur métallisation

- | | |
|--|---|
| 4 Décollement de la dorure à la mixion | 4 |
| 3 Finition polyuréthane | 3 |
| 2 Intermédiaire époxy | 2 |
| 1 Primaire époxy | 1 |



L'application d'une couche de finition glycérophthalique sur un système époxy éviterait ce problème, mais les risques d'incompatibilité des liants ne permettent pas de préconiser cette solution sans étude préalable.

L'application d'une protection sur un ornement de forme complexe n'est pas facile. La régularité d'épaisseur des couches ne peut pas toujours être respectée ($30-35 \mu$ en général), mais il est impératif que toutes les couches du système existent sur toute la surface.

Une corrosion risquant d'apparaître rapidement au niveau des rivets de fixation des motifs décoratifs, l'application des peintures sera faite avec une attention particulière (des risques de corrosion galvanique, en particulier entre le fer et un ornement de cuivre, s'ajoutent aux risques de corrosion galvanique entre la feuille d'or et le métal support).

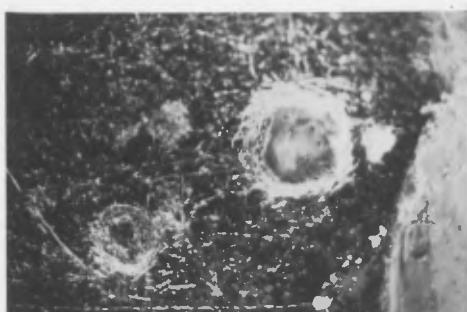
La fixation des grilles dans la maçonnerie pose également un problème. Une bonne protection peut être assurée par une peinture Brai-Epoxyde.

Nous insisterons sur les précautions à prendre lors des travaux de restauration. Un sablage ou un grenaillage, une mise en peinture réalisées dans de mauvaises conditions peuvent conduire à des catastrophes (photos n° 9 et 10).



9. Corrosion d'un élément doré à la feuille, due à un incident lors de la restauration.

Attaque de la métallisation et précipitation en surface de sels de zinc



10. La présence de grains de sable dans la peinture anticorrosion favorise la pénétration de l'humidité et la corrosion du zinc (pile électrochimique or-zinc)

La préparation de la surface du métal, le respect du descriptif d'application du système anticorrosion choisi sont aussi importants que la qualité de ce système. L'état de surface du support, sa rugosité, le nombre et l'épaisseur des couches du revêtement sont des facteurs déterminants qui peuvent et doivent être contrôlés sur le chantier à l'aide d'appareils de mesure dont certains sont facilement utilisables par tout applicateur (étalons pour mesure de la rugosité, mesure de l'adhérence du revêtement métallique et de la peinture, du nombre et de l'épaisseur des couches) (2) (5). Le choix d'un système de protection se portera de préférence sur un système ayant fait ses preuves ou ayant été testé en laboratoire (3) afin de prendre toutes les garanties nécessaires pour la restauration et la conservation des grilles ornementales (4).

L'ENTRETIEN DES OUVRAGES

Un bon système de peinture anticorrosion peut assurer une protection efficace pendant 10 à 15 ans, selon l'expérience acquise par le Laboratoire National des Ponts et Chaussées , période au bout de laquelle un entretien permettrait de prolonger sa durée : un décapage *in situ* des parties altérées et une application de nouvelles couches de peinture serait suffisante (5). Cet entretien doit tout de même être effectué après la prise de quelques mesures :

- . Diagnostic de l'état général de l'ouvrage (fissuration, oxydation, cloques, adhérence, oxydation sous jacente)
- . Analyse des peintures existantes en vue de déterminer l'application d'un système compatible
- . Essai de décapage (abrasion, brossage, lessivage)
- . Ne pas employer de peintures époxy ou polyuréthane sur un système glycéroptthalique (alors que l'inverse peut être possible).

REFERENCES

- (1) Normes suédoises SIS 05 5900/1961
- (2) Normes de contrôle des surfaces peintes :
 - T 30 120 à 125 : épaisseur
 - T 30 038 : quadrillage
 - T 30 062 : résistance à l'arrachement
 - T 30 003 : classification des peintures
- (3) . Bulletin Officiel du Ministère de l'Equipement, Laboratoire National des Ponts et Chaussées
Agrément de systèmes de peintures pour la protection des ouvrages métalliques contre la corrosion
Abonnement et vente : 26 rue Desaix - 75732 PARIS CEDEX 15
 - . Journal Officiel :
Brochure n° 5566 : fiches d'orientation pour le choix des peintures
 - . Office National d'Homologation des garanties de peintures industrielles
29 rue François 1er - 75008 PARIS
- (4) Journal Officiel :
Brochure n° 5560 : clauses de garanties applicables aux travaux de peintures
- (5) Guide de contrôle des travaux de peinture sur ouvrage métallique
Laboratoire National des Ponts et Chaussées - Ministère de l'Equipement - Avril 1978

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Monsieur D. ANDRE, Chef de la Section Qualité des Equipements, Division Exploitation - Signalisation - Peinture, du Laboratoire National des Ponts et Chaussées pour les précieux conseils qu'il nous a donnés au cours de cette étude.

ANNEXE 1

Atmosphère urbaine et industrielle

- . Acier mis à nu par projection d'abrasif (SA 2,5), rugosité 18 fin
- . Parkérisation (phosphatation)
- . Système glycérophthalique (système Ripolin-Freitag), couches de 30 à 35 μ :
 - couche primaire
 - . 1ere couche : BESSEMER G au minium de plomb NS.SR
 - . 2e couche : idem (teinté)
 - couche intermédiaire
 - . 3e couche : BESSEMER G 8195, gris 096 (oxyde de fer micacé)
 - . 4e couche : idem
 - couche de finition
 - . 5e couche : BESSEMER SUPER G (teinte au choix)
- . Mixion
- . Feuille d'or

ANNEXE 2

- Acier mis à nu par projection d'abrasif (SA 2,5), rugosité 18 fin, ou brossage
- Phosphatation ou inhibiteur de rouille
- Système glycérophthalique (système Ripolin-Freitag), couches de 30 à 35 µ
 - couche primaire
 - . 1ere couche : BESSEMER G au minium de plomb pur HD SR 711-001
 - couche primaire de renforcement
 - . 2e couche : BESSEMER SUPER G du SCP Primaire (silicochromate de plomb) ocre clair, 714-015
 - couche intermédiaire
 - . 3e couche : idem, 2e couche (teintée)
 - couche de finition
 - . 4e couche : BESSEMER SUPER G 731 (teinte au choix)

ANNEXE 3

Atmosphère urbaine, industrielle, maritime

- . Acier mis à nu par projection d'abrasif (SA 3), rugosité 18 gros
- . Métallisation au zinc 120 µm
- . Primaire réactif : Bessprimaire 9253/54 (Butyral polyvinyle) 10 µm
- . Système glycéroptalique (Système Ripolin-Freitag), couches de 30 à 35 µ
 - Couche primaire : BESSEMER G au chromate de zinc vert
 - Couche intermédiaire : BESSEMER G 8195 gris 096 (oxyde de fer micacé)
 - Couche de finition
 - . couche intermédiaire : BESSEMER SUPER G
 - . couche finale : BESSEMER SUPER G (teinte au choix)
- . Mixion
- . Dorure à la feuille

LA RESTAURATION DES GRILLES DE JEAN LAMOUR
ET DES FONTAINES EN PLOMB DE BARTHELEMY GUIBAL
DE LA PLACE STANISLAS A NANCY EN LORRAINE

Pierre COLAS*

SUMMARY

Between 1750 and 1760, thanks to the enlightened government of Stanislas Leczinski, Nancy experienced an exceptional expansion allowing the ducal city an architectural evolution of unrivalled town planning, illustrated by the harmonious combination of the "Place Stanislas", "Place d'Alliance" and "Place de la Carrière", which have recently been recorded as being of the highest universal heritage.

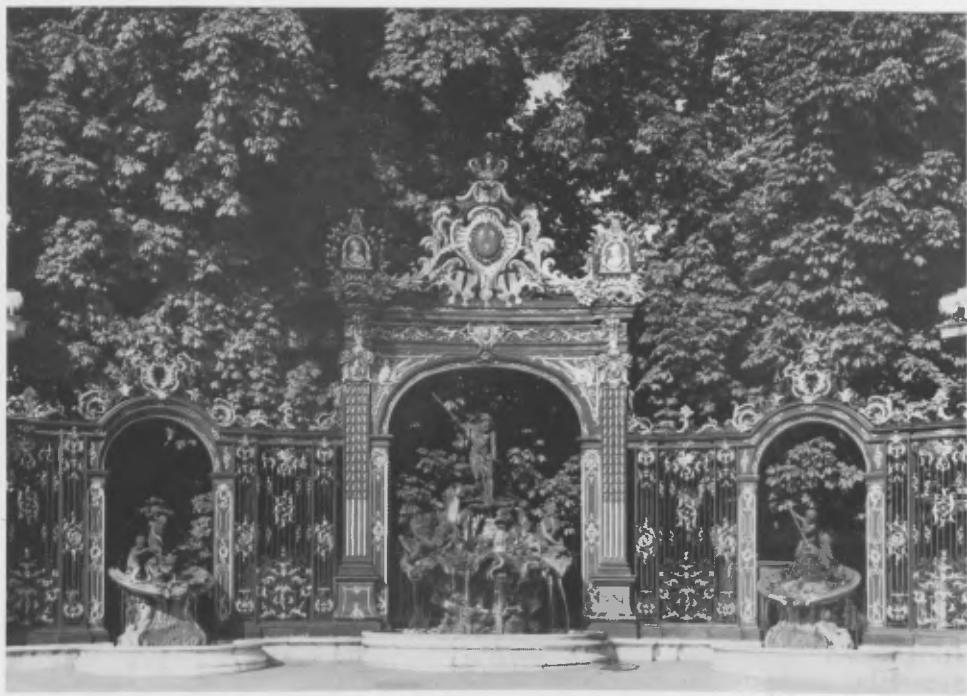
This great undertaking in which the most famous artists of the time co-operated: BOFFAND, HERE, GUIBAL, etc., permitted the creation of decorative works of art, mostly in metal, such as the gates of the three squares, produced by the master craftsman Jean LAMOUR.

These perishable works were damaged by time and corrosion, and successive repairs have altered their appearance, little by little.

In recent years, under the auspices of "La Direction du Patrimoine", "Le Ministère da la Culture" and "La Ville de Nancy", the restoration of these three related works has allowed them to be restituted as faithfully as possible and their safety assured, thanks to a thorough analysis of the material, the choice of iron, appropriate treatments, and the restitution of the original designs.

* Architecte en Chef des Monuments Historiques. D.P.L.G.

Parmain, le 29 Septembre 1986.



PLACE STANISLAS - GRILLE DE NEPTUNE



GRILLE DE NEPTUNE

ARMATURE DU GRAND FRONTON

Les grilles.

La réussite de cet ensemble de grilles et fontaines mondialement connu tient autant à la prouesse technique, à la qualité plastique qu'à son intégration à la composition architecturale créée par Emmanuel Héré.

Lorsque Stanislas, roi de Pologne, accède au duché de Lorraine, en 1737, Nancy a déjà commencé son urbanisation par la ville nouvelle. Boffrand, architecte du précédent duc ne s'accommodait pas des goûts du nouveau souverain et c'est Héré, son élève, qui devient l'architecte officiel. Stanislas lui commanda la composition de la place Royale, aujourd'hui Stanislas, destinée à célébrer son gendre Louis XV ; exemple rare d'une édification à la gloire d'un futur souverain.

Les origines tyroliennes de Héré et le goût naturel du monarque vont marquer les créations de cette époque de l'influence baroque. Influence tempérée par le classicisme français, comme le montre la leçon de Boffrand à l'hôtel de Craon, et dont s'inspira Héré pour l'ordonnance des bâtiments de la place.

Sur cette architecture qui doit beaucoup à Jules Hardouin-Mansart : ordre colossal surmontant un haut soubassement d'arcatures traitées à refends, l'influence baroque se traduit surtout au niveau du couronnement des balustrades des toitures traitées à l'italienne, dans le décor des ferronneries et des fontaines, parfaite réussite de la collaboration entre Héré, Lamour et Guibal.

Quand le ferronnier du roi de Pologne intervint dans cette opération, le problème posé à Héré était de masquer l'espace laissé entre les pavillons hauts des Fermes et de l'école de Médecine et les bâtiments bas, parallèles aux fortifications de la ville vieille. Pour des raisons stratégiques ces deux espaces devaient rester libres pour la balistique des bastions, comme l'imposait le maréchal de Belle-Isle, gouverneur pour le roi de France. L'astuce fut donc de fermer ces vides par une architecture légère de fer, masquant les bastions, liant entre eux les architectures et à l'arrière de laquelle seraient plantées des charmilles.

Ce projet de ferronnerie monumentale eut un précédent célèbre à Versailles ; c'est l'arc de triomphe métallique des Bosquets, ouvrage éphémère que nous restitue un tableau de Cotelle.

Héré et Lamour en eurent-ils connaissance ? Quoi qu'il en soit, le génial ferronnier innova pratiquement à Nancy ; d'abord du point de vue technique en mettant au point l'utilisation et l'assemblage de tôles épaisses pour la confection des coffres, tôles qu'il fallait commander spécialement et que l'on réservait surtout à la fabrication des coffres-forts.

./. .



GRILLE D'AMPHITRITE

CORROSION DES TOLES AVANT RESTAURATION

Le travail des tôles minces pour la confection des ornements posait bien des difficultés et Lamour, dans un recueil, relate qu'"il est difficile de comprendre combien ce travail a donné de sujétions".

En effet, la qualité plastique et la complexité des ouvrages de "relevure" de ces ferronneries, nécessitent des prouesses de tracé et d'assemblage.

La proximité de sources de minerai de fer de bonne qualité et l'existence de nombreux maîtres de forge de la région de Longwy et Thionville, étaient propices à la mise en œuvre de tôles et fers d'échancillons variés.

Malgré tout, jusqu'à l'apparition des laminoires, au XIXème siècle, la tôle mince était fournie en feuilles de petites dimensions. Cette situation amena Lamour à assembler de multiples éléments au moyen de rivets pratiquement invisibles afin de donner aux ornements un grand relief et exécuter des formes particulièrement compliquées, mais cependant très dégagées. De plus, il fallait recuire la tôle afin de pouvoir la repousser.

Les grilles subirent, jusqu'à nous, des vicissitudes diverses.

Si la grosse ossature a bien résisté à la corrosion du fait de l'emploi de fer pur de l'époque, il n'en a pas été de même des ornements dont la tôle mince, pourtant de même nature, est infiniment plus fragile. D'autre part, les restaurations ponctuelles successives furent faites en tôle industrielle comportant un certain pourcentage de carbone et qui résiste mal à la corrosion dans une atmosphère humide et de plus en plus chargée d'oxydes sulfureux.

Détérioration mécanique également, du fait des révolutionnaires qui arrachèrent le 13 Mai 1792, les couronnes, blasons, chiffres royaux et autres ornements dorés.

En 1814, les troupes de la Sainte Alliance bivouaquant sur la place causèrent d'autres dommages.

Une première restauration sommaire des grilles eut lieu en 1864 pour le centenaire de la célébration de la réunion de la Lorraine à la France, en 1766.

En 1871, il fallut démonter les frontons trop vétustes. Les éléments d'origine conservés depuis au Musée Lorrain, servirent de modèle à la réfection des trophées exécutés en 1879 par le serrurier strasbourgeois Lipmann.

Quant à l'emblématique, les chiffres de Louis XV disparus, furent remplacés par des palmes assez grossières. Le chardon lorrain qui remplaça alors les lys de France, fut supprimé depuis.

On note d'autres campagnes de restauration sans en connaître l'étendue : 1892, 1906-1907.

C'est à partir de 1936 que le Service des Monuments Historiques prit en main la restauration des grilles.

Durant la guerre de 1939/45, les protections faites au moyen de sacs de sable entretinrent une humidité pernicieuse qui causa de tels dégâts, qu'il fallut, dès 1946, entreprendre des restaurations importantes.

Au cours de ces interventions successives, le remplacement de la quasi totalité des éléments en altéra peu à peu l'esthétique "rocaille" originelle et il n'est que de se reporter à la facture des ornements des grilles des chapelles de la cathédrale pour s'en convaincre ; grilles qui furent exécutées exactement en même temps que celles de la place Royale (1751 - 1753).



Fontaine de Neptune : groupe latéral de droite.

Etat des armatures après démontage en 1981. (photo P. COLAS).

Ces ouvrages de l'ancienne primatiale ont été pris comme référence pour les restaurations, en ce qui concerne le style des feuillages.

Indépendamment de ce problème stylistique, les remplacements isolés d'éléments trop détériorés par d'autres, en fer moderne moins résistant, les remises en peinture et dorure successives ne réglaient jamais le problème de la rapide corrosion de l'ensemble.

Il n'est pas inutile de signaler également, s'ajoutant à la pollution atmosphérique, la présence néfaste des frondaisons, élaguées depuis, qui, en surplombant l'ensemble entretenaient une atmosphère humide et le verdissement des dorures.

C'est à partir de 1976, afin d'apporter une solution relativement durable à la bonne conservation des grilles de la Place Stanislas, que fut passée une convention entre la Ville de Nancy et le Ministère de la Culture.

Dès la restauration de la première demi-grille, très vite apparurent les difficultés d'une bonne protection des tôles et de la tenue de la dorure.

A la suite de la constitution d'une commission spéciale, présidée par Monsieur le Directeur du Patrimoine, et qui s'est réunie les 21 février et 31 juillet 1979, afin d'apporter une solution à ces problèmes, il fut demandé au Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques de Champs-sur-Marne de tester divers échantillons.

Ces recherches aboutirent à la recommandation à l'Architecte en Chef de prestations concernant la nature du métal à employer et, avec beaucoup de précision, les différentes préparations des fers, protections, peintures, mixtion et dorure à utiliser (Note du 2 août 1979 à Monsieur le Directeur du Patrimoine rédigée par Monsieur J. Taralon, Inspecteur Général, Directeur du L.R.M.H.).

Les grilles ont été traitées selon ces prescriptions, étant rappelé qu'il fut essentiel d'utiliser, pour les tôles et les rivets, du fer pur "ARMCO", plus résistant à la corrosion.

Parallèlement, les éléments symboliques supprimés en 1792 ont été restitués :

- Chiffre de Louis XV,
- Colliers des Ordres de Saint-Michel et du Saint-Esprit ceinturant les armes de France,
- Fleurs de lys des pilastres.

Les fontaines en plomb.

Ces harmonieuses compositions furent très heureusement complétées par les fontaines à groupes sculptés en plomb, dûs à Guibal : fontaine de Neptune à l'Ouest, et d'Amphitrite à l'Est.

Bathélémy Guibal qui naquit à Nîmes le 29 juin 1699, arriva à Lunéville où le duc Léopold réunissait autour de lui tout un groupe d'artistes et fut attaché au premier sculpteur du duc de Lorraine, Dumont, pour les travaux de décoration du château et auquel il succéda. Stanislas se l'attacha et lui permit de développer ses qualités.

En 1751, Guibal reçut commande de la statue de Louis XV pour la place Stanislas (alors place Royale) où s'édifiaient les bâtiments du pourtour ; il sculpta les deux statues de la France et de la Renommée de l'Arc de Triomphe et collabora avec Söntgen à la décoration de la place de la Carrière et au palais de la Nouvelle Intendance (aujourd'hui du Gouvernement).

C'est entre 1751 et 1757, date de sa mort, qu'il exécuta les groupes sculptés en plomb des fontaines; parallèlement à l'édification par Jean Lamour des grilles avec lesquelles elles composeront cette réussite monumentale exceptionnelle.



Fontaine Place d'Alliance. (P. COLAS).



Fontaine de la Place d'Alliance :
un des vieillards (fleuve) détaché de
l'entablement par affaissement. (P. COLAS).

On rapporte que Stanislas, effrayé par la dépense, hésita à faire exécuter les groupes, prévus en bronze, lorsque Guibal proposa de les faire couler dans un matériau moins noble. Son élève Cyfflé lui succédera à sa mort et exécutera également en plomb les remarquables vieillards qui soutiennent la vasque de la fontaine d'Alliance dont la restauration a été achevée cette année et qui présentèrent les mêmes détériorations et nécessitèrent les mêmes restaurations que celles de la statuaire des fontaines de la place Stanislas.

Les grilles et fontaines subirent de nombreuses altérations du fait des détériorations dues à la corrosion et aux déprédations.

Si nous sommes relativement renseignés sur les diverses réparations effectuées aux grilles, nous ne possédons aucun renseignement s'agissant d'éventuelles interventions sur les fontaines, mais il ne fait pas de doute que des réparations y furent entreprises, depuis l'origine.



Fontaine latérale de Neptune : éclatement du boudin de la vasque.
(photo P. COLAS).

En effet, les ouvrages de Guibal sont très pesants et le plomb finit par s'affaisser et se déchirer aux endroits les plus sollicités. Ce fut notamment le cas de l'ensemble des groupes. Les grandes vasques étaient parcourues de fissures par lesquelles l'eau s'infiltrait, désorganisant le remplissage en chaux des formes, et corrodant gravement les armatures internes qui les soutiennent. Les statues s'affaissaient peu à peu ; les déformations les plus spectaculaires affectant les membres inférieurs.

La restauration en 1981 du groupe latéral de droite de la fontaine de Neptune a mis en évidence, lors de son démontage, l'état d'extrême corrosion des armatures en fer ; la rupture partielle de leurs assemblages étant la cause directe de l'affaissement des ouvrages, notamment de la vasque en porte-à-faux.

La pénétration des eaux par les fissures, outre qu'elle accélère le processus de détérioration des armatures, désagrège le remplissage en maçonnerie de chaux des sculptures, tout en entretenant une humidité dommageable à l'époque des gels.

Pour la restauration, les éléments en plomb sont démontés suivant les soudures d'assemblage originelles, pour être remontés ensuite semblablement.

./. .

La tranche de restauration commencée au mois de décembre 1984 concerne le deuxième groupe latéral de la fontaine de Neptune, ainsi que la fontaine d'Amphitrite. La fontaine de Neptune proprement dite, sera restaurée l'année prochaine.

L'essentiel de cette restauration consiste à remettre les sculptures en leur forme originelle. On procède donc à leur relatif remodelage sur moule en plâtre déshydraté afin d'éviter la formation de bulles à la coulée.

Les pièces longues comme les membres, queues de dauphin, etc... sont armées par des étriers en cuivre étamé et peint d'une peinture spéciale Epoxi, afin d'isoler le métal et l'empêcher d'agir sur le plomb par l'effet de pile galvanique qui lui serait préjudiciable.

On procède ensuite au remplissage des pièces au moyen d'un mortier composé de sable de Moselle lié par de la chaux hydraulique (la chaux grasse risquant de dégrader le plomb).

Si l'ensemble de la statuaire est d'origine, nous avons constaté que les remplissages actuels étaient souvent postérieurs, confectionnés diversement et souvent composés de fragments de brique et de mortier de ciment, indiquant une réfection remontant à quelques décennies.



Fontaine d'Amphitrite : plomb déchiré. (P. COLAS).



Statue d'Amphitrite avant restauration.

Déformation des jambes, fissuration de la vasque.

(photo P. COLAS).

Ces consolidations ponctuelles ont laissé des parties de la statuaire relativement dégarnies d'armature, accentuant le déséquilibre des masses et favorisant le processus d'affaissement, notamment des statues de Neptune et d'Amphitrite sur leurs membres inférieurs. Des ouvrages moins soignés, faits de brique, plâtre et cales en bois ont une tenue catastrophique sous l'effet des infiltrations et sont, entre autres, la cause de la fissuration importante du boudin liant la face inférieure et la face supérieure des grandes coquilles formant vasques.

Une autre composition de remplissage, également moderne, faite de mortier de liant dur, noyant les armatures en fer, s'est particulièrement bien comportée, tant pour sa cohésion propre que pour l'isolation du fer. Ce dernier est en effet apparu protégé de son minium de plomb intact. Nous avons demandé l'analyse de ce liant au Centre d'Etude et de Recherches de l'Industrie des Liants Hydrauliques. Cette analyse a révélé une teneur de 71,5 % de ciment anhydre.

Concernant les armatures métalliques, le remplacement du fer vulnérable à la corrosion au bénéfice des métaux comme le cuivre ou l'acier inoxydable, n'est pas souhaitable.

En effet, le phénomène de pile électrique entre les métaux dissimilables fait que l'un devient cathode, donc protégé et l'autre anode et se dissout. Ainsi la hiérarchie des métaux dans ce sens, donnée par M.R. Soulard, Ingénieur des A.M. dans sa communication du 11 avril 1984 pour la Commission de la Sculpture monumentale est la suivante : "L'or attaque l'argent qui attaque le cuivre, ... acier inoxydable, .. plomb, ... fer, ... aluminium,... zinc".

On voit l'erreur qui consisterait à remplacer logiquement le fer par l'acier inoxydable qui condamnerait le plomb à terme. Pour résumer, la dégradation éventuelle du fer protège le plomb.

Au remontage, la jonction des pièces de plomb est assurée par soudure à l'étain. A l'origine, cet assemblage semble avoir été empiriquement pratiqué par application de fers rougis aux deux faces des pièces à joindre, simultanément à une coulée de plomb fondu sur la jonction. Au cours de la restauration, divers accidents et imperfections sont repris, telles les fissures et le plomb poreux issu de la mauvaise fusion d'origine, sur moule de sable et chaux aérienne, réagissant trop lentement et émettant des bulles.

Le nettoyage de l'épiderme du plomb vieux consiste à enlever avec précaution au ciseau fin les calcins et concréctions, brosser, poncer les rayures en rechargeant au plomb les plus profondes. Enfin, durant les ouvrages, le plomb est suiffé pour sa meilleure maniabilité. Quant à savoir si, à l'origine, ces groupes furent laissés dans cet aspect de plomb apparent, on peut en débattre comme cela a été le cas pour les plombs des bassins de Versailles, où le problème de la redorure et de la polychromie a fait l'objet de recherches et de débats.

./.



Groupe latéral de la Fontaine de
Neptune, remis en place après
restauration. (photo Atelier CHIQUET).

A Nancy, tout porte à croire que les groupes sculptés furent destinés à la dorure, alors même qu'ils s'inscrivaient dans le cadre monumental des grilles, elles-mêmes dorées. Des vestiges de dorure retrouvés derrière l'oreille et dans le creux de la chevelure d'Amphitrite, semblent bien l'attester. Le projet initial n'avait-il pas été conçu, de les fondre en bronze ? Si tel a été le cas et dans cet esprit, les rochers et la végétation peuvent avoir été peints de manière naturaliste. Rappons qu'à Versailles, au XVIII^e siècle, les plombs ayant perdu leur dorure, l'on se contenta, semble-t-il, pour des raisons financières, de les "bronzer".

Néanmoins, l'oeil contemporain habitué à la matière de ces fontaines et au contraste qu'elles offrent avec l'or des grilles, est surtout sollicité par l'harmonieuse plastique de l'œuvre et le prestigieux ensemble rocaille des ferronneries monumentales qui l'accompagne. Pour l'anecdote, signalons que le triton de la fontaine d'Amphitrite vient d'être moulé afin que sa reproduction serve à la restitution des génies aquatiques de la fontaine de Vénus du domaine royal de Het Loo, aux Pays-Bas.



Fontaine d'Amphitrite restaurée. (photo P. COLAS).

L'édification des fontaines de la place Stanislas, de la place d'Alliance, comme celles plus modestes de la place de la Carrière, sont à l'image de celles dont le Bernin dota Rome au siècle précédent : une contribution à la scène urbaine, comme un supplément d'esprit à une réussite d'urbanisme.

Auparavant, les fontaines avaient un caractère et un vocabulaire architectural. Avec celles issues de l'inspiration anthropomorphique de leurs créateurs, la qualité spécifique de la fontaine est associée à l'apothéose de l'eau.

Les fontaines de Nancy procèdent bien de cet esprit dont elles reprennent les mêmes sujets mythologiques et le souci de l'effet d'eau adroitement associé aux "mouvements de la statuaire" comme contribution incomparable au spectacle urbain de Nancy.

Cet ensemble prestigieux, mais vulnérable, n'en rend que plus impératifs sa préservation et les efforts d'y parvenir durablement.

-o-o-o-

Nota :

La réalisation de ces opérations, achevées ou en cours, a été rendue possible grâce aux efforts financiers de la Ville de Nancy, subventionnée par l'Etat - Ministère de la Culture (Direction du Patrimoine).

Les ouvrages de ferronnerie réalisés par les Métalliers Champenois et ceux de restauration des sculptures en plomb par l'Atelier Chiquet, les travaux de maçonnerie étant confiés à l'Entreprise France-Lanord & Bichaton.



PROBLEMS IN THE CONSERVATION OF ZINC SCULPTURE
IN OUTDOOR EXPOSURE

Phoebe Dent Weil*

Zinc became very popular as a material for mass producing sculpture during a relatively brief period during the latter part of the nineteenth century. Finishes included a wide range of possibilities, most of which were imitations of other materials. Surfaces could be sandblasted and left to weather in imitation of stone, plated and patinated to imitate bronze, or painted to simulate marble, bronze, wood or naturalistic polychromy.

Its brittleness, structural weakness and poor resistance to weathering and outdoor exposure hastened its demise as a popular sculptural material.

Several case studies are presented illustrating problems of structural repair, technical examination, surface restoration and protection. A brief history of the genre is given.

*Chief Conservator, Washington University Technology Associates,
St. Louis, MO, USA

September 1986
revised March 1987

Historical background of artistic works in zinc

Zinc is rarely used today in the fabrication of artistic works, however during a relatively brief period, between 1851 until shortly after the beginning of the twentieth century it enjoyed great popularity as an inexpensive material for producing large quantities of statuary and decorative objects. (Historical material here summarized is taken largely from Grissom, 1982) Its advantages were praised at the 1851 Crystal Palace Exhibition in London: the raw material was plentiful and easy to obtain from the ore; melting point was low making it an easy metal to cast; bronze molds coated with a resinous soot as a parting agent could be used to make multiple slush castings (*moulage au renversé*); zinc could be plated easily with, for example, copper to imitate bronze, or painted to imitate stone or even wood. It was light in weight to lessen shipping costs of, say, large sections to be used as decorative building façades. Its use as a material for sculpture and architectural ornament is a fascinating chapter in the history of metals, both from the point of view of metal technology and from the undeniable popular appeal of the objects themselves.

In the United States, the period of popularity of zinc sculpture coincided with a great demand for decorative, inexpensive sculpture of all kinds. Civil War memorials were a major part of the market as was stamped sheet zinc and sculptural architectural ornament that could be painted to imitate marble, stone or wood and a whole range of decorative figures used indoors or outdoors in gardens (e.g. hunting dogs, sphinxes, fountains), or as advertising "show figures" such as cigar store Indians. The range was almost infinite judging from the catalogues of manufacturers that marketed these works which were produced in industrial fashion. (see Grissom, 1982, for a list of the catalogues of the principal American manufacturers)

The vogue for these zinc works ceased rather abruptly after the turn of the century primarily because of its poor durability out-of-doors. Plated coatings quickly succumbed to pitting attack. The vulnerability to breakage was no doubt the downfall of many sculptures. Further, a new sensibility toward "truth to materials" lessened the popularity of cheap imitations.

Zinc (*Zink*) was named by Paracelsus early in the sixteenth century, though the Chinese had produced the metal by the ninth century and were using it in coinage by 1402. Zinc works were established in Bristol, England around 1700. Production was low until the early nineteenth century when Henry Cort of Sheffield discovered a method of rolling zinc into sheets at temperatures of 100-150° C. Roofing could thereby be produced at a lower cost than copper.

An association for promoting industry in Prussia offered a prize in 1825 for new uses for zinc, which seems to have given impetus for developing its use as an inexpensive sculptural medium during the 1830's. Its use in galvanizing sheet iron to prevent rusting was discovered by I.M. Sorel in 1836.

In America, sheet zinc was imported from Belgium in the 1820's and 1830's to be used as roofing. The production of statuary in zinc began in the mid-nineteenth century stimulated by promotion given at the Philadelphia Centennial Exposition in 1876. Yet by 1874 sculptors who had experimented with zinc quickly found that the material presented great limitations in

durability and in achieving a satisfactory coloration and finish that could be maintained over a long period outdoors. John Quincy Adams Ward advised his younger colleague, the sculptor Daniel Chester French: "There is no way of keeping zinc in presentable condition except by painting or electroplating with copper--go for the bronze." (Shapiro, 1985) French then decided to cast his famous Minute Man in bronze in 1874.

French later visited the Royal Foundry in Munich and made note of his observations of zinc castings there: "The zinc foundry did not impress us favorably. We saw some figures that had been bronzed and apparently exposed to the weather and their condition did not raise our respect for the metal. The bronzing had nearly all worn off and the surface was quite rough and unseemly. Whether the zinc would stand without bronzing, I do not know, and we did not know German enough to enquire." (Shapiro, 1985)

Principal foundries producing zinc sculptural and ornamental works were the Vieille-Montagne Co. near Liège in Belgium established as a rolling mill by 1812; the Geiss foundry in Berlin; in Paris the firms of Coupier, Drouard, Roy and Ranvier, Miroy Frères; and in the United States the J.L. Mott Co., the W.H. Mullins Co. of Salem, Ohio, Monumental Bronze Co., and the William Demuth Co.

Principal deterioration problems

1. Structural: creep, cracking, brittleness, intergranular corrosion due to impurities, corrosion of internal ferrous armatures, recrystallization due to heat
2. Surface: galvanic attack on outdoor exposure of plated zinc, deterioration of coatings from weathering, corrosive attack from atmospheric sulfur resulting in pitting

Technical examination techniques

Classic metallography, atomic absorption, X-ray fluorescence, other

Conservation treatments

1. Structural repair
 - a. where structural strength is required: welding using "Aladdin 3 in 1" rod (93% Zn, 4%Al, 3%Cu) with oxygen-propane for a clean flame, hydrochloric acid flux. Extreme care must be taken not to exceed 800° F.
 - b. traditional joining method for mold sections, using lead-tin solder
 - c. tin-zinc-lead solder (Kapp Alloy and Wire, Inc., Oil City, PA)
 - d. replacement armatures of stainless steel or aluminum, suitably isolated from the zinc

- e. replacement parts: either cast in zinc and welded or soldered in place or modeled in epoxy putty (Pliacre, Philadelphia Resins, P.O. Box 454, Montgomeryville, PA 18936)

2. Surface treatments

- a. Cleaning: controlled low-pressure blasting techniques using possibility of a variety of media (corn cobs, walnut shell,, glass microspheres) to suit demands as appropriate. Organic solvents may be all that is required. Surface preparation should be suited to safety of object and to adherence of protective coating chosen.
- b. Coating: must be selected according to indoor or outdoor display. Choice may range from exceptionally durable polyurethane systems (U.S. Paint Co.) to various acrylics, pigmented or unpigmented (Rohm and Haas Acryloid B48N, for example).

REFERENCES

- AITCHISON, L., A History of Metals, New York, 1960, vol. 2.
- BECKMANN, J., A History of Inventions, Discoveries and Origins, London, 1848, vol. 2, 32-45, 290-296.
- ANON., Zink in Nederland, Amsterdam, 1983.
- ANON., The Crystal Palace Exhibition, Illustrated Catalogue, London, 1851; reprint, New York, 1970.
- GAYLE,M.- LOOK, D.- WAITE, J., Metals in Historic American Architecture, Washington, D.C., 1980.
- GRISSEOM, C.A., The Conservation of Zinc Sculpture, unpublished report, National Museum Act Grant to the Center for Archaeometry, Washington University, St. Louis, MO, 1982.
- HARTMANN, C.F.A., Das Kupfer und das Zink..., Weimar, 1883, 288-290.
- HIORNS, A.H., Metal Colouring and Bronzing, London, 1911.
- HOFMAN, H.O., Metallurgy of Zinc and Cadmium, New York, 1922, 33-34.
- MATHEWSON, C.H., Zinc, the Science and Technology of the Metal, its Alloys and Compounds, New York, 1959.
- MORGAN, S.W.K., Zinc and its Alloys, London, 1977.
- POIRE, P., La France industrielle ou description des industries françaises, 3rd ed., Paris, 1880, 623-625.
- RICHTER, K., Zink, Zinn und Blei, Vienna, 1883, 22-46.

RIGG, G. -MORSE, H.E., The effects of the common impurities in spelter upon slush castings, in Transactions of the American Institute of Metals, vol. 9, 1916. 26-59.

ROSELEUR, A., Galvanoplastic Manipulations, a Practical Guide for the Gold and Silver Electroplater and Galvanoplastic Operator, Philadelphia, 1872.

SHAPIRO, M.E., Bronze Casting and American Sculpture 1850-1900, Newark, Delaware, 1985, 79-80.

SMITH, E.A., The Zinc Industry, London, 1918.

TOMLINSON, C., Cyclopaedia of Useful Arts, London, 1852, vol. I, xcvi.



Figure 1: Cigar Store Indian (Indian Chief N°53), Samuel A. Robb, manufactured by William Demuth and Co., 1869, patented in 1874, from the Alpiner Tobacco Shop, Kankakee, Illinois. The piece had been repeatedly vandalized, repaired and repainted. Old deteriorating ferrous internal supports were removed and replaced with new stainless steel armatures. Polychromy was documented and surfaces were cleaned using glass microspheres at 40 psi. Broken pieces were rejoined using Aladdin 3-in-1 rod where structural strength was required, and a tin-zinc-lead solder in other areas. Missing parts were few and these were reconstructed using an epoxy putty (Pliacre). Following structural re-integration and cleaning, the piece was repolychromed first with an acrylic gesso sanded smooth and then with acrylic paints and gold leaf according to the earliest remaining polychromy layer previously documented.



Figure 2: Frederic-Auguste Bartholdi, *Liberty Enlightening the World* (1875), H. 1.23 m, zinc slush cast by Avoiron, copper plated and patinated to imitate bronze. One of an unknown number cast to register the design with the U.S. Patent Office and to sell in order to raise money for the large version installed in New York harbor in 1876. This piece had been subsequently painted with gold paint. The original torch was missing as were several of the sheet brass spikes on the crown. The surfaces were corroded in the typical speckled pattern found on plated zinc sculptures. Corrosion pits contain white zinc sulfate corrosion products. Old painted coatings were removed to reveal remains of original plating using glass microspheres. A new torch was fabricated in cast bronze following photographs of the original design (including flame). Broken diadem spikes were replaced in sheet brass. Surfaces were repatinated with a cold solution of potassium sulfide. Corrosion pits were colored to visually blend in with the patina using pigmented wax. A final protective coating of Acryloid B48N was applied. View shown here before treatment.



Figure 3: detail of figure 2 showing characteristic surface pitting attack.



Figure 4: Captain Jack, H. 4 feet, a boundary marker for the state of New Hampshire, M.J. Seelig (?), copywrited by W. Dermuth of New York in 1874. Slush cast zinc. The original polychromy to imitate bronze had weathered away and the surfaces were suffering from corrosive attack. After repair for structural damage caused by vandals the piece was superficially cleaned, lightly patinated, and coated with an acrylic resin (Acryloid B48N). It was returned to its original location outdoors. Two years later the piece was again vandalized but to an even more serious extent with numerous breaks, losses and distortions. Surfaces were cleaned using glass microspheres at 40 psi, structural repairs were made with Aladdin 3-in-1 rod or tin-zinc-lead solder, missing parts were modeled and cast in a zinc-aluminum alloy (89%Zn - 11%Al). The piece was coated with acrylic gesso, sanded and painted with acrylic paint to imitate a red-brown bronze patina. It was given a final coating of Acryloid B-72 and microcrystalline paste wax. The piece is now displayed indoors in a museum. Front view, detail, showing damage with characteristic broken edges of missing feathers.



Figure 5: detail of figure 4, top view of head showing losses.



Figure 6: detail of Captain Jack showing broken off and distorted right arm.

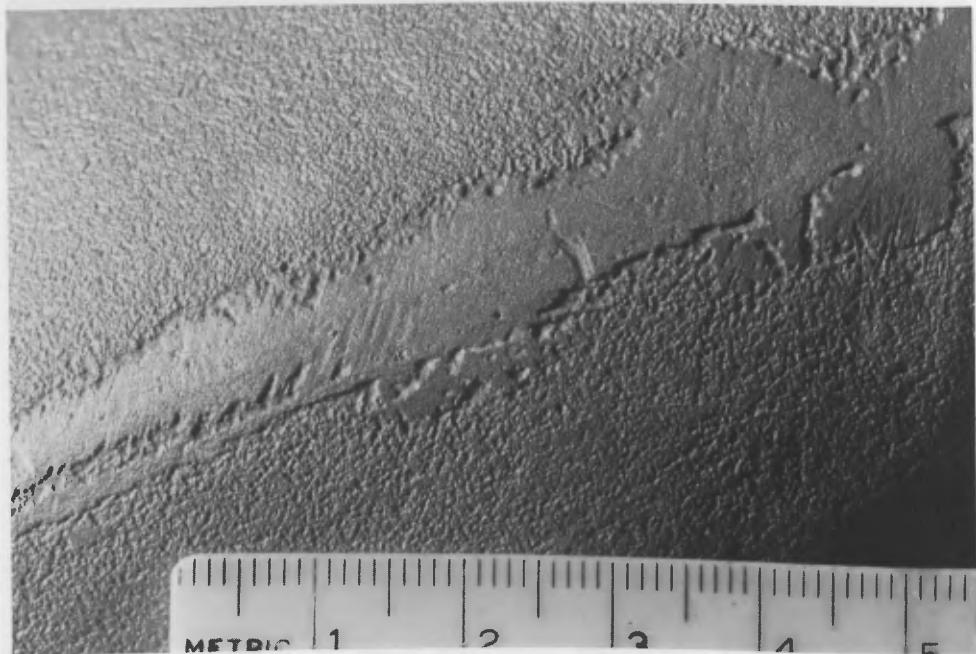


Figure 7: surface detail of Captain Jack at a lead-tin solder join between cast sections. Note pitting attack on zinc surfaces from exposure to atmospheric pollution. Join is relatively unattacked. Principal corrosion products formed are zinc sulfates. Surface shown after cleaning.



Figure 8: Captain Jack shown after treatment.



Figure 9: The Goddess of Liberty, Friedly and Vosshart, installed 1888, H. 14 feet, cast zinc statue, painted to imitate white marble, from atop the dome of the Texas State Capitol in Austin, Texas. The piece was removed from the dome by helicopter in the Fall of 1985. Metallographic study revealed both intergranular and transgranular cracking due to intergranular corrosion and stress corrosion cracking. There was evidence of mechanical deformation and creep, as well as partial recrystallization from the heat of the sun. The piece was cleaned using organic solvents and light air-abrasive cleaning with glass microspheres. It was then replicated in aluminum. The original was structurally reinforced and repainted for indoor display and the replica was replaced on the dome by helicopter in May 1986. The piece is shown here before treatment. Arms have been removed at seam lines to prevent damage.

LA RESTAURATION :

- DU QUADRIGE EN BRONZE DE L'ARC DE TRIOMPHE DU CARROUSEL
- DE LA VIERGE EN PLOMB DORE DE LA CHAPELLE DU CHEVET DE LA CATHEDRALE DE ROUEN

DUVAL Georges

Inspecteur Général Honoraire des Monuments Historiques

Architecte en Chef des Bâtiments Civils et Palais Nationaux et
des Monuments Historiques

Architecte en Chef, Conservateur du Domaine National du Louvre
et des Tuilleries

Septembre 1986

CHAPITRE I - RESTAURATION DU QUADRIGE EN BRONZE DE L'ARC DE TRIOMPHE DU CARROUSEL

L'Arc du Carrousel fut conçu par Percier et Fontaine ; les travaux furent dirigés par Denon de 1801 à 1808. Ils coutèrent un million et furent payés sur les contributions de la Grande Armée en l'honneur de laquelle il était élevé.

"Les chevaux grecs de Venise" provenant de la basilique St Marc, saisis comme butin de guerre par Napoléon en 1797, furent d'abord entreposés aux Invalides, puis transférés sur quatre piliers de la grille du Palais des Tuileries et enfin installés sur l'Arc du Carrousel ; à partir de 1807, le groupe sera complété par un char accompagné de deux Renommées dues à Lemot.

En 1808, Denon qui dirigeait les travaux de l'Arc du Carrousel (1) voulut, par flatterie, faire placer dans le char une statue de Napoléon 1er, réalisée également par Lemot en plomb doré ; ce qui déplut à l'Empereur qui, trouvant la chose "inconvenante" ordonna "que le char si l'on a rien de mieux à y mettre reste vide et que les deux victoires, qui conduisent les chevaux, soient seules posées sur le monument" (2).

Le char resta vide pendant toute la durée du règne ; la statue en plomb doré de Lemot est aujourd'hui déposée à la Malmaison (3).

- (1) Directeur de la Monnaie, Denon fit frapper une médaille représentant la façade de l'Arc du Carrousel avec cette inscription "Denon Direxit" avec, plus bas, en petits caractères "Fontaine Arch", ce qui n'arrangea pas leurs rapports
- (2) Archives du Louvre ; cité par Marie Louise Biver "C'est une chose inconvenante ... Otez cette statue ... Jamais, je n'ai voulu, ni ordonné que l'on fit de ma statue l'objet principal d'un monument élevé à la gloire de l'armée que j'ai eu l'honneur de commander. Que l'image de ma personne fasse partie d'un bas relief ... représentant une action dans laquelle j'ai figuré, cela est juste ; mais que je prenne, ou que je me fasse donner les honneurs de l'apothéose dans un édifice public, rien n'est plus inconvenant"
- (3) Geneviève Bresc Bautier et Anne Pingeot "Sculpture des jardins du Louvre du Carrousel et des Tuilleries".

C'est en 1815 que le groupe fut démantelé et que l'Empereur François Ier d'Autriche fit restituer les Chevaux à la Cité des Doges.

En 1825, les relations diplomatiques entre l'Autriche et la France ayant évolué, sous l'égide du Comte de Forbin, Directeur Général des Musées Royaux, le Vicomte de la Rochefoucault, chargé du Département des Beaux Arts et aide de camp du roi, demanda l'autorisation "de faire mouler à Venise les Chevaux de Corinthe".

Cette autorisation obtenue, le travail fut réalisé par Jacquet en 1826 ; ces moulages conservés dans la Collection de l'Ecole Nationale Supérieure des Beaux Arts de Paris ont été transférés en 1970 au futur musée des monuments antiques de Versailles.

Louis XVIII avait projeté de remettre en place le groupe sculpté de l'Arc du Carrousel ; c'est avec Charles X que le projet prit corps : "Le char détruit serait reconstitué d'après les dessins de Percier, les deux Renommées de Lemot miraculeusement conservées, remises à leur place de chaque côté des chevaux" et un modèle de la statue de la Restauration ou de la Paix guidant le char fut demandé à Bosio, premier sculpteur du roi.

Les chevaux devaient être coulés en bronze à partir des moulages de Jacquet ; influencé par le Comte de Clarac, Charles X décida de demander à Bosio de nouveaux modèles s'inspirant toutefois des chevaux antiques.

C'est le groupe actuellement en place qui comporte :

- les quatre chevaux en bronze, œuvre de Bosio, inspirés des chevaux de St Marc (1826)
- le char également en bronze, réalisé en 1827 par Crozatier d'après les dessins de Percier et sur le modèle de celui de plomb qui avait été fondu
- la statue de la Restauration ou de la Paix de Bosio fondue par Crozatier
- les deux victoires ou Renommées en plomb de Lemot.

Cet ensemble était en très mauvais état : le timon était tombé, les brides des quatre chevaux n'existaient plus, la lance de la Restauration avait disparu, des trous et fissures apparaissaient sur les bronzes.

Des fissures très importantes sur les sculptures en plomb (peintes en vert) faisaient craindre pour leur conservation.

Pour des raisons budgétaires les travaux de restauration furent réalisés en deux tranches : la première concerna les chevaux en bronze et les deux Renommées en plomb. Un parapluie en tôle, assez disgracieux, il faut bien le reconnaître, permit leur restauration en place.

Les deux Renommées en plomb de Lemot, qui étaient à l'origine dorées, comme l'était l'ensemble du groupe sous l'Empire et sont inscrites comme telles sur les inventaires du Louvre (MR 3459 et 3460) ont été redorées sans métallisation au plomb sur le plomb originel après rebouchage des fissures et réparation de quelques accidents, sur le nez en particulier, et sans remédier aux petits accidents de surface à l'exception de celui qui marquait le visage de la Renommée Sud.

Les chevaux, fondues en bronze par Crozatier d'après les modèles de Bosio, ont reçu après restauration une patine décidée, après de nombreux essais, en accord avec MM. Gaborit, Conservateur en Chef du Département des sculptures du Musée du Louvre et Christian Prévost Marcilhacy, Inspecteur Principal des Monuments Historiques.

Les harnais et brides des chevaux ont été dorés à la feuille au titre de 980.

La seconde tranche de travaux de restauration avait pour objet la statue de la Paix et le char ; il était indispensable d'effectuer des sondages indispensables à une reconnaissance permettant de s'assurer de l'état des ossatures métalliques. Ces sondages furent réalisés et permirent de cerner d'une façon précise les restaurations à envisager.

Un atelier provisoire fut implanté au Sud de l'Arc de Triomphe et la statue de la Paix et le char y furent transportés.

- ETUDE DE L'ETAT DU GROUPE CHAR ET STATUE DE LA PAIX

Ce groupe est une structure composite qui comporte :

1 - une statue en bronze symbolisant la Paix de 1.80 m de hauteur et d'un poids pouvant être évalué entre 800 et 1.000 kg, armature comprise

2 - un char composé de trois parties principales :

- a) la caisse du char
- b) le châssis composé lui-même d'une poutre limon et d'une poutre essieu assemblées en croix et sur lequel repose la caisse
- c) deux roues fixées à l'extrémité de la poutre essieu.

Leur examen a permis de constater une altération des structures en bronze, en cuivre et en plomb, consécutive à une altération de l'armature métallique.

Cette altération était due à un phénomène d'électro-corrosion provenant du contact entre deux métaux présentant une forte différence de potentiel ; en atmosphère agressive urbaine, le métal le plus fragile, le fer, était ainsi corrodé, oxydé et pratiquement détruit.

L'armature étant détruite, c'est l'ensemble de la structure qui était menacé d'effondrement à brève échéance.

C'est un phénomène en tous points identique à celui qui a contraint à traiter d'urgence la statue de la Liberté de New York.

Le poids de la caisse du char fut estimé, en première approximation, armature comprise entre 1.600 et 2.100 kg. Le poids propre de la partie de la poutre essieu, sous la caisse du char, non compris le timon actuellement désolidarisé fut estimé, armature comprise, entre 500 à 600 kg.

C'est donc un poids de l'ordre de 3.000 à 3.500 kg qui était supporté par les deux roues, soit 1.500 à 1.750 kg par roue ; ces charges étant transmises au sol principalement par les rayons inférieurs voisins de la verticale de chaque roue.

- DIAGNOSTIC DU PROCESSUS CONSERVATION - ALTERATION

1 - La statue de la Paix

Elle ne présentait que très peu de piqûres ou de défauts susceptibles de permettre à l'humidité de pénétrer à l'intérieur. L'auscultation au son fut plutôt rassurante. Il apparut que si l'armature intérieure était corrodée, le processus était moins évolué que sur la base du char ; il devait donc pouvoir être traité sans démonter la statue. Cela fut confirmé par l'examen direct du pied des armatures verticales qui transmettaient les charges sur l'essieu. On reconstitua en tubes cuivre la hampe du bâton de commandement qui avait disparu.

Furent dorés à la feuille : la couronne de lauriers, la palme de paix, les brides et harnais.

2 - Le garde corps du char

Le degré d'évolution de la corrosion de l'armature de la caisse du char ne put pas être observé ; il ne put être que déduit de l'observation ; sans être dramatique, il est certainement évolutif.

3 - Le plancher du char

La feuille de plomb séparée du bas de la statue par une longue fissure indiquait des contraintes internes importantes.

En soulevant l'extrême Ouest de la feuille de plomb, on aperçut la structure du plancher et on constata l'évolution avancée de l'électro-corrosion des armatures en fer : la tôle galvanisée était détruite, les attaches du plancher du char à la poutre détruites à 80 %, les pieds droits intérieurs de la statue corrodée à 75 %.

L'altération physico-chimique était augmentée d'une altération chimique provoquée par une forte épaisseur de débris organiques et d'excréments acides d'oiseaux.

Sous le char, on observa une déformation des feuilles de bronze ; elle attestait que les armatures ne remplissaient plus leurs fonctions mécaniques, leur degré d'altération et les poids qu'elles supportent, conduisent à un diagnostic de conservation extrêmement pessimiste.

Les parties des armatures de la traverse essieu étaient corrodées.

Les rayons verticaux inférieurs des roues étaient le siège d'un processus d'altération avancé. Le bronze du rayon de la roue droite avait éclaté sous les contraintes de corrosion de l'armature, or ce rayon supporte une charge de 1.500 à 1.750 kg.

Le risque d'effondrement du char était très important.

- PRINCIPE DE TRAITEMENT

Il était indispensable de prévoir le démontage de toutes les armatures en fer dont la corrosion était trop évoluée pour assurer une résistance mécanique suffisante.

Il fallut également envisager de recréer une armature appropriée pour qu'aucun phénomène d'électro-corrosion ne puisse se produire quelle que soit les conditions atmosphériques.

Cette armature devait assurer ses fonctions mécaniques en évitant de provoquer des contraintes physiques ou physico-chimiques.

Il fut, en outre, envisagé de redresser les parties en bronze déformées, braser ce qui devait l'être, supprimer l'altération superficielle du bronze, et repatinier l'ensemble après restauration.

La nouvelle armature put être réalisée en aciers spéciaux inoxydables mais elle dut être séparée de la partie en bronze par une armature intermédiaire en résine époxyde chargée de fibre de verre. Cette armature avait pour fonction secondaire d'absorber les contraintes de dilatation différentielle et de renforcer les structures faibles.

On a pu envisager de traiter l'armature interne de la statue in-situ, après l'avoir retournée tête en bas, par sablage et passivation chimique, soit par réduction des oxydes à l'acide tannique, soit par phospho-chromatation.

BIBLIOGRAPHIE

Marie Louise BIVER - Pierre Fontaine - Paris Plon 1964

Marie Louise BIVER - Le Paris de Napoléon - Paris Plon 1963

Geneviève BRESC BAUTIER et Anne PINGEOT - Sculptures des Jardins du Louvre du Carrousel et des Tuilleries - Edition R. M. N. Paris 1986

REMERCIEMENTS

Cette restauration n'aurait pas été possible sans les conseils de Monsieur Gaborit, Conservateur en Chef du Département des Sculptures du Musée du Louvre et de Madame Geneviève Bresc Bautier, de Monsieur Christian Prévost Marcilhacy, Inspecteur Principal des Monuments Historiques.

Je tiens, par ailleurs, à remercier pour leur compétence et leur intelligente collaboration Monsieur Sassenus, restaurateur et la Sté ARCOA représentée sur le chantier par Monsieur Bassier.



La chape de plomb n'est pas jointive, indice d'une détérioration intérieure.
La statue a bougé à la base.



La pointe du tournevis indique la ligne de rupture.



La chape de plomb a été retirée; la plaque de fer qui la soutenait est complètement rongée par la corrosion.



Etat avant restauration



On aperçoit les structures d'attache qui relient la statue au char.



Etat avant restauration



La plate-forme du char est découverte, une pourriture composée de parties métalliques désagrégées et d'excréments de volatiles recouvre le fonds du char. La structure d'attache de la statue présente un état de corrosion très avancée. La base des piliers de soutien est réduite de 60 à 80%. Un goujon de fixation a cédé, rongé par la corrosion (partie droite de la photographie).



Etat avant restauration



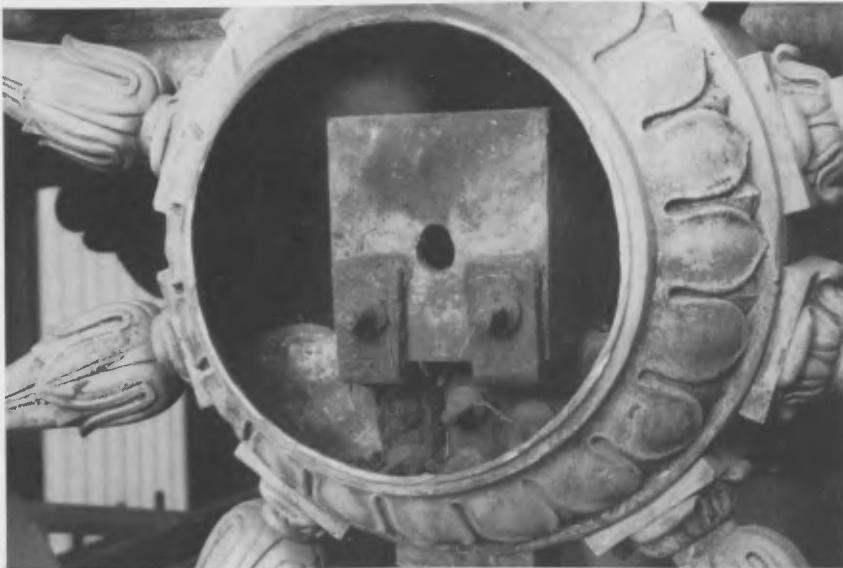
Pour les raisons analogues qui ont fait céder les plaques d'habillage inférieures (sous le char) les différents éléments de recouvrement latéraux intérieurs du char ont également été endommagés.



Etat avant restauration



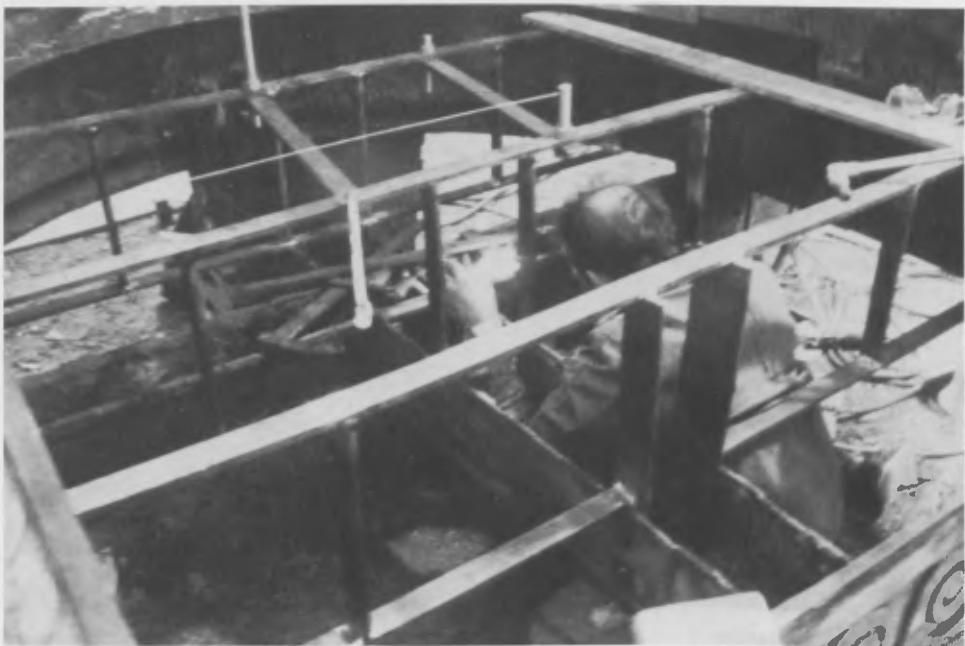
Contre toute logique, chaque cache moyeu représenté par une tête de lion en bronze fondu séparément était retenue par un long goujon soudé à l'intérieur de la tête empêchant tout démontage extérieur. Il a fallu découper à l'outil le pourtour de l'ensemble. On ne peut s'expliquer ce montage que par souci d'éviter le vol de cette pièce? On remarque que l'inextricable fouillis de nids de pigeons s'étendait jusque dans les roues du char!

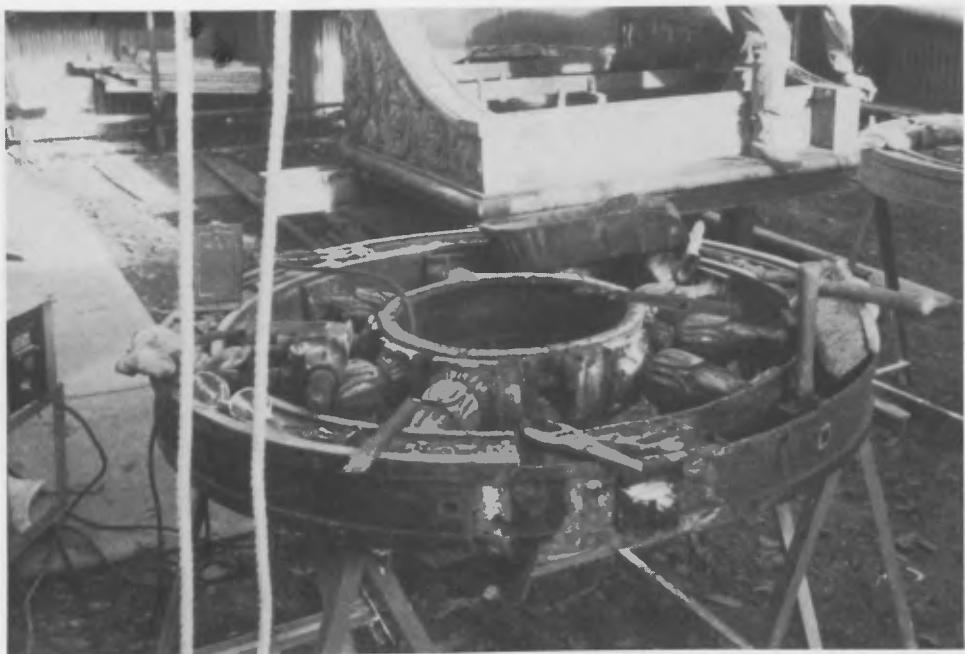


Etat avant restauration



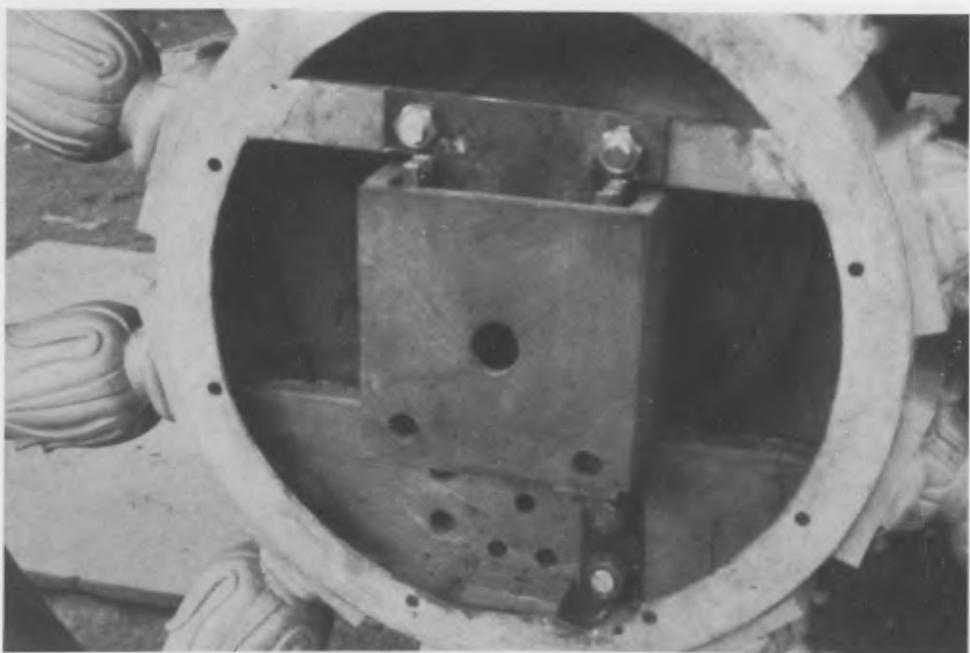
Restauration





Restauration





Restauration





Remise en place du char et de la statue de la paix

Ensemble restauré





CHAPITRE II - RESTAURATION DE LA VIERGE EN PLOMB DORE DE LA CHAPELLE DU CHEVET DE LA CATHEDRALE DE ROUEN

Lorsque l'on parcourt les parties hautes des édifices au moyen âge et plus particulièrement celles de nos cathédrales on ne peut qu'être frappé de la richesse du décor : balustrades ouvragées, dais, pinacles sculptés, statues, etc... Décor gratuit pourrait-on penser puisqu'il n'est perceptible que pour le petit nombre de visiteurs qui y ont accès ; souci de l'ouvrage bien fait ou perfectionnisme d'un âge de foi que nous découvrons et qu'il est indispensable de conserver.

Ce même souci se retrouve dans les superstructures des toitures : faîtages, crêtes et épis, et c'est peut être en Normandie que nous pouvons en retrouver aujourd'hui les vestiges les plus prestigieux. Bien sûr les guerres, les incendies ont fait leur œuvre de destruction. E. de la Querrière dans son "Essai sur les girouettes, épis et crêtes" publié en 1846 le déplorait déjà. L'usure du temps, la valeur du métal et les événements de 1940-1944 ont encore aggravé la situation qu'il décrivait.

Pour ces multiples raisons, les crêtes et les épis du Palais de Justice, de la tour St-Romain de la Cathédrale et de combien d'autres édifices civils de Rouen ont disparu. Il faut espérer que les travaux de restauration entrepris depuis quarante ans permettront de reconstituer l'apport qu'ils présentaient.

En effet, couronné par ses toitures le monument ne participe vraiment à l'atmosphère lumineuse qui l'environne que par la transition que représente ces "accessoires" indispensables.

Examinons en effet les façades de la Cathédrale de Rouen : édifiées en pierre de Vernon d'un blanc nacré, surmontées de leurs couvertures en plomb dont le gris représente une subtile transition avec le ciel nuageux de la Normandie, passage facilité par les ornements qui le complète.

A la Cathédrale de Rouen la profusion de ce décor monumental était exceptionnelle ; elle était dans l'esprit sans doute de celui de la chapelle du Château de Gaillon que nous connaissons par le dessin de la collection Cronstedt au Musée de Stockholm. Un Saint-Georges et le dragon surplombait l'abside ; il disparut malheureusement au cours de l'incendie qui vit la destruction de la flèche de la croisée du transept. Les récents travaux de restauration de la couverture en plomb de la chapelle de la Vierge viennent de nous permettre de redécouvrir deux épis exceptionnels qu'il importe de restaurer et de conserver en place.

La chapelle axiale entièrement reconstruite en 1302 est imposante par ses dimensions avec une longueur de 25 m pour une largeur de 9 m ; elle abrite sous ses voûtes le tombeau du Cardinal Georges 1^o d'Amboise mort en 1510 ; pour son successeur et neveu Georges II, cette chapelle

dédiée à Notre-Dame, vue des jardins de l'Archevêché devait paraître bien pauvre avec son toit de tuiles alors que s'élève sur la tour lanterne de la Cathédrale la nouvelle flèche en bois recouverte de plomb abondamment doré qui va remplacer celle disparue en 1514. Dès 1540, Georges II fait reprendre toutes les parties hautes de la chapelle du XIV^e siècle et malgré les réticences du chapitre qui s'effraie de ces nouvelles dépenses, le comble sera surélevé de 10 pieds et couvert de plomb ; c'est Robert Becquet, charpentier de la flèche, qui fut chargé de l'ouvrage. La nouvelle couverture s'accompagna d'un décor d'épis aussi riche que celui de sa résidence d'été de Gaillon. Si la crête couronnant le faitage a disparu, deux beaux éléments pouvant être datés, d'après les textes, entre 1540 et 1545, subsistent.

Le premier de ces épis implanté à l'Ouest est d'une hauteur de 3.15 m.

Le second est situé au droit de l'abside de la chapelle ; il présente sur une base triangulaire portant les Armes des Amboise, une statue de la Vierge portant l'Enfant Jésus exécutée par Nicolas Quesnel entre 1540 et 1545.

La Vierge d'une hauteur de 2.63 m est coiffée d'une couronne à fleurs de lys, elle tient dans ses bras l'enfant Jésus et repose sur une base triangulaire de 3 m de hauteur, ce qui porte sa hauteur totale à près de 5.65 m au-dessus du faitage. La corniche supérieure du socle triangulaire supporte trois angelots qui déplient des guirlandes de fleurs et de fruits.

On aurait à priori pu penser que cette statue de plomb était maintenue en place par une ossature métallique fixée sur le poinçon de la charpente, ossature de même nature que celle des Renommées de l'Arc du Carrousel.

Les sondages effectués après la mise en place des échafaudages ont confirmé les textes et révèlent qu'il s'agit bien d'une statue de bois recouverte de feuilles de plomb. Cette sculpture d'une grande qualité a permis de mater le métal directement sur elle et donner ainsi une grande tenue au revêtement de plomb, mais elle a eu l'inconvénient d'en amollir les reliefs ; ce qui explique l'imprécision de certains détails et, il faut bien en convenir par ailleurs, l'expression peu harmonieuse du visage de la Vierge. Défauts peu perceptibles puisque cette statue est située à plus de 35 m de hauteur.

La statue était dorée - nous le savons par des textes - et on peut en observer encore les traces ; le socle était peint.

La statue est reliée à la charpente du comble par un énorme tenon de 2.20 m de longueur qui la prolonge, il est rendu solidaire du poinçon de la charpente par des pièces moisées de sections triangulaires et rectangulaires qui descendent jusqu'à l'entrait retroussé et sont réunies par deux frettes métalliques.

Les travaux de restauration du plomb ont été précédés d'une analyse du métal effectuée par la Sté Pénarroya qui a donné les résultats suivants :

Désignation de l'échantillon	Eléments dosés	Teneur g/t
Echantillon de plomb provenant de la Vierge de la Cathédrale de Rouen	Bi	≤ 1 Bismuth
	Sn	≤ 2 Etain
	Cu	110 Cuivre
	As	≤ 2 Arsenic
	Sb	31 Antimoine
	Ag	69 Argent
	Zn	7 Zinc
	Te	≤ 3 Tellure
	Tl	≤ 1 Thallium
	Cd	≤ 1 Cadmium
	Ni	9 Nickel
	In	≤ 1 Indium

Pour le socle les planches de plomb ont été déposées, l'ossature bois restaurée, consolidée et enfin protégée par une peinture au mi-nium, les éléments de plomb déposés ont été remis en forme et reposés par agrafage et soudure.

La guirlande a été déposée, l'armature de fer remplacée par une armature en bronze ; des prises d'empreintes de la guirlande restaurée ont été réalisées pour permettre la reconstitution des deux autres guirlandes et leur remise en place sur une armature en bronze.

Les angelots ont été déposés et leur armature en fer remplacée également par une armature en bronze ; la restauration du plomb a été réalisée par battage du plomb déformé et par apport de métal pour les trous les plus importants et une finition par brossage.
Ces travaux sont maintenant achevés.

La restauration de la statue de la Vierge, par contre, n'a pas encore été réalisée ? Un traitement fongicide et une consolidation par injection de résine sera effectuée ; elle se fera in situ, la dépose de l'élément

en bois nécessiterait en effet le démontage de la charpente correspondante ce qui n'est pas envisageable et sera complétée par une dorure de l'ensemble.

Ces travaux ont été menés à bien jusqu'ici grâce à la compétence des Charpentiers de l'entreprise Lanfry et au savoir faire des spécialistes du plomb de l'entreprise Marçais à qui l'on doit tout récemment la reconstitution des deux épis du pavillon d'entrée du Château de Gaillon.



Statue de la Vierge



Epi et faitage de la chapelle de la Vierge, côté Ouest



Epi des faitages de la chapelle de la Vierge, côté Ouest, détail





Ensemble des épis de la chapelle de la Vierge



Statue de la Vierge, détail





Angelots du socle





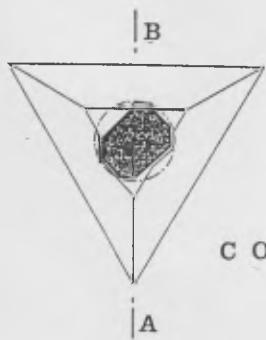
Armoiries du Cardinal d'Amboise



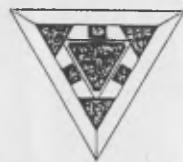


Statue en bois et son revêtement de plomb





COUPE EF



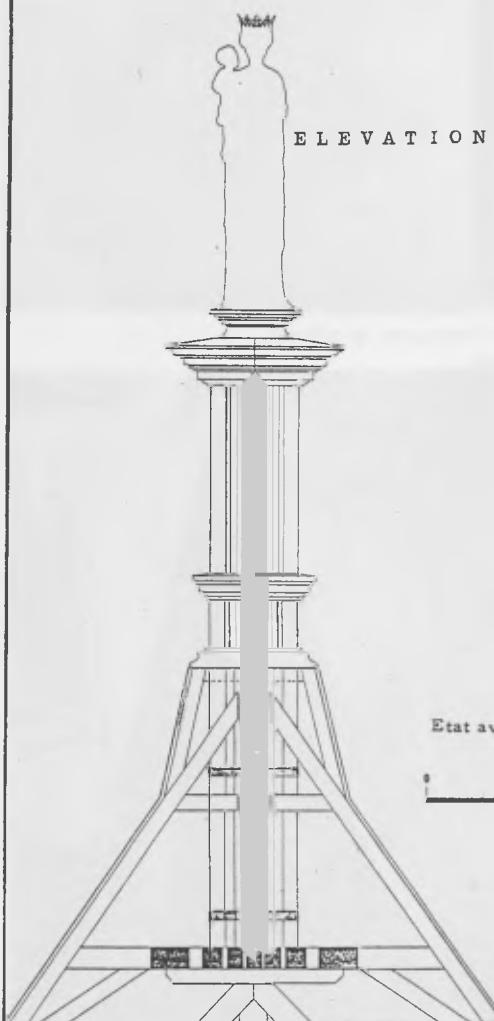
COUPE CD



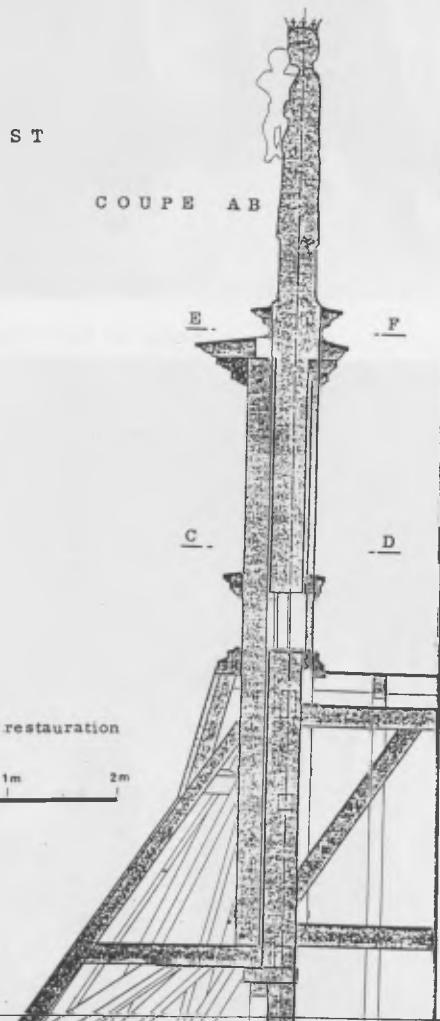
ELEVATION EST



COUPE AB



Etat avant restauration



C.

D.

E.

F.

L'ARCHANGE DE LA FLECHE DU MONT SAINT MICHEL

Pierre André LABLAUDE*

SUMMARY

The bell tower that tops the abbey of Mont Saint Michel (Normandy) was fully rebuilt in 1897 by the architect, Victor Petitgrand. At the peak of the spire, 144 m above sea level, is a statue of St. Michael Archangel, taken from a model by the sculptor, Emmanuel Frémiet. A combined historical and technical study has recently been carried out in order to investigate the processes of workmanship used in the statue (hammered copper leaves, stainsoldered and assembled over an iron frame). Aerial inspection by helicopter also permitted examination of various types of deterioration and evaluation of the importance of iron-copper electrocorrosion phenomena on this work in order to prepare for a further restoration campaign, scheduled for 1987.

* Architecte en Chef des Monuments Historiques
16 Rue Plumet, 75015 Paris, France

26 Décembre 1986

*Photographie d'époque montrant
la statue originale en cuivre
avant sa pose sur la flèche
(Roger-Viollet)*



L A G E N E S E

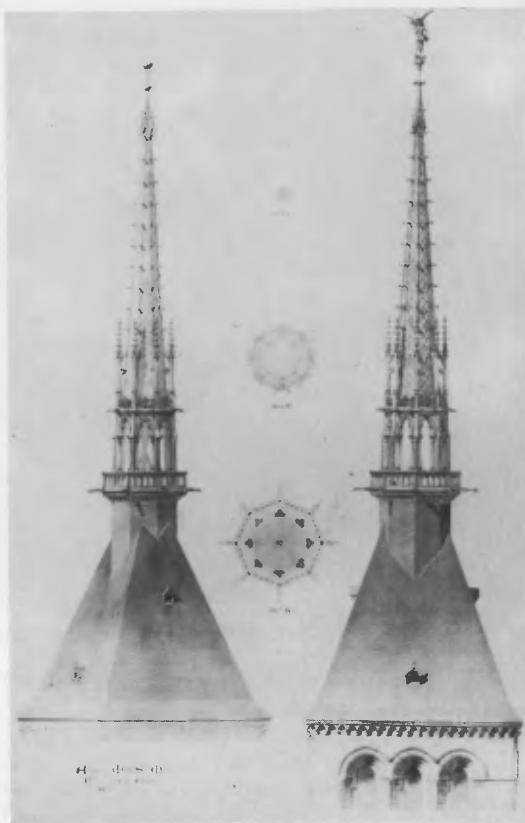
En 1879, Emmanuel Frémiet (1824-1910), neveu et élève de Rude et déjà célèbre à l'époque en tant que sculpteur animalier, présente au Salon une statue en bronze doré intitulée "Saint Michel". L'Archange est représenté selon l'iconographie traditionnelle, dressé, en armure, le casque auréolé de rayons, les ailes déployées, et brandit vers le ciel l'épée qu'il va bientôt abattre sur le Démon, serpent hideux à visage humain, qu'il écrase sous son pied.

L'œuvre était brillante, bien enlevée et eut grand succès auprès du public. Elle figura vite au catalogue d'édition de l'artiste, entre un Saint Louis et un Saint Georges, et se vendait en trois dimensions (14,5cm, 27 cm, 55 cm), deux finitions (bronze naturel ou bronze doré) et à un prix variant de 125 à 400 francs, selon la taille.

En 1894, l'architecte Victor Petitgrand, chargé depuis 1889 des

travaux de restauration de l'abbaye du Mont-Saint-Michel, soumet à l'administration des Beaux-Arts son avant-projet de flèche en charpente destinée à couronner le clocher dont il effectue alors la reconstruction à la croisée du transept de l'abbatiale. Sur la souche en granit conçue dans le style du XIII^e siècle et couverte d'un pavillon en ardoises s'élève une fine flèche en cuivrerie que surmonte, en épi, une grande figure de Saint Michel rappelant la statue dorée, tournant au souffle du vent, qui selon la tradition couronna jusqu'au XVII^e siècle le clocher de l'abbaye. Curieusement, le dessin de la statue porté au projet de Petitgrand reproduit très exactement l'illustration du Saint Michel figurant au catalogue d'édition de Frémiet et qui lui a de toute évidence servi de modèle.

La Commission des Monuments Historiques accueille favorablement le projet et l'approuve le 4 mai 1894, les seules réserves émises par Selmersheim, Inspecteur Général rapporteur, portant sur le couronnement "qui devrait être terminé par un fleuron au lieu du Saint Michel proposé



*Avant-projet de flèche en charpente et cuivrerie,
par l'architecte Victor Petitgrand, Juin 1895 (Archives Photo.)*

qui, à distance, donnera une silhouette molle et indécise". Petitgrand adresse cependant au Ministre le 9 avril 1895 la "soumission souscrite par le Sieur Frémiet, statuaire, membre de l'Institut, en vue de l'exécution du modèle en plâtre de la statue de Saint Michel qui doit surmonter la flèche projetée sur la tour centrale", la rémunération de l'artiste étant fixée forfaitairement à 8.000 francs. L'oeuvre réalisée entièrement selon la technique du plâtre modelé sera présentée par Frémiet au Salon de 1896, sous l'intitulé "Saint Michel terrassant le Dragon", figurera à l'"Exposition Décennale" de 1900 et sera publiée dans la Gazette des Beaux-Arts et dans l'Illustration.

Du petit "presse-papier" commercialisé par édition au grand archange voulu par Petitgrand, les variations de détail restent minimes : découpe de l'auréole, visière du casque, forme de la rondache, dragon à tête de serpent. Le changement d'échelle confère en revanche à l'oeuvre une puissance exceptionnelle correspondant parfaitement au caractère monumental qu'ont voulu lui conférer le sculpteur et l'architecte. C'est à partir de ce modèle que sera réalisé l'original de 4,15 mètres de hauteur destiné au Mont-Saint-Michel et ici qu'intervient, avec les ateliers Monduit, un nouveau participant à la genèse de l'oeuvre. On appellera en effet que Louis-Honoré Monduit (1824-1893) contemporain, collaborateur et ami de Viollet-le-Duc, créa un atelier de plomberie et de cuivrerie d'art et participa à ce titre aux grandes restaurations du XIX^e siècle. C'est ainsi qu'il intervint à Vézelay, à la flèche de Notre-Dame de Paris, à la cathédrale de Lausanne et au château de Pierrefonds, chantier où l'on retrouve déjà la participation de Frémiet. Meilleur spécialiste de son temps de la sculpture monumentale en métal, il réalisa, par exemple, les Quadriges du Grand Palais ou les motifs du pont Alexandre III à Paris et participa, pour le sculpteur Bartholdi, à la cuivrerie de la statue de la Liberté à New York ou à la fonte du Lion de Belfort.

C'est donc tout naturellement qu'il fut chargé de l'ensemble des travaux de cuivrerie et couverture au Mont-Saint-Michel, et en particulier du façonnage, d'après le modèle en plâtre, de la statue en cuivre doré qui sera enfin érigée en 1897 au sommet de la flèche achevée et que La Varende verra, resplendissante au soleil couchant "comme une flamme en haut d'une bougie".

D I A G N O S T I C

Aujourd'hui, près de quatre-vingt-dix ans plus tard, et si l'on excepte un échafaudage monté à l'été 1936, personne n'avait pu contempler de près cette oeuvre ni en vérifier l'état. Exposée à 144 mètres au-dessus de la mer, à des tempêtes fréquentes pouvant atteindre des vitesses de 180 km/h et à une activité exceptionnelle de la foudre tenant à l'isolement du Mont au centre de la baie, elle suscitait des inquiétudes graves quant à sa stabilité et l'on avait vu, à la suite d'un récent orage particulièrement violent, son épée, autrefois dressée vers le ciel pour former paratonnerre, rester dangereusement pointée vers l'Angleterre.

Devant le coût d'un échafaudage d'accès, prohibitif pour un simple examen, il fut décidé de procéder à une reconnaissance aérienne par hélicoptère. Le vol, réalisé le 12 Avril 1984, permit en une série de



Echafaudage monté en 1936 à partir du lanternon pour l'accès aux parties supérieures de la flèche et vérification des fixations de la statue de l'archange. (Archive de l'auteur).

rotations lentes autour de la flèche, à différents paliers et à différentes distances, d'effectuer un examen visuel, un enregistrement vidéo et plus de 200 photographies dont certaines prises à moins de 15 mètres du sujet, mais toujours "en mouvement" afin d'éviter, par un effet de "point fixe", le soufflage des couvertures inférieures par le rotor.

Une enquête parallèle menée pour tenter de réunir le maximum d'informations sur les modes de fabrication et de montage permit d'apprendre l'existence d'un deuxième exemplaire de la statue. Consciente de l'intérêt exceptionnelle de l'œuvre qui lui était demandée,



*Vue aérienne de l'archange réaliséée à partir d'un hélicoptère
en avril 1984 (Photo de l'auteur)*

l'entreprise Monduit avait en effet réalisé en 1897, à ses frais, une réplique qu'elle conserva dans ses ateliers et présenta, à titre de référence professionnelle, dans de nombreuses expositions. Lors de sa récente cessation d'activité, ses plus beaux modèles, dont le grand Saint Michel, furent légués à l'Etat, déposés au château de Pierrefonds et classés Monuments Historiques.

Récemment extraite de ce dépôt pour restauration, la réplique a permis par un examen en cours de démontage de mieux comprendre la structure de l'original et les modes d'assemblage de ses différentes parties constituantes : la statue est entièrement réalisée en tôle de cuivre rouge d'épaisseurs variées, travaillée selon une technique s'apparentant à la dinanderie ou à la chaudronnerie fine : sur des matrices façonnées d'après l'original en plâtre, les feuilles de métal sont repoussées en creux par martelage au maillet de bois ou au poinçon

jusqu'à obtenir les formes désirées. Elles sont assemblées entre elles à bords francs par soudures brasées à l'étain et polies pour former les pièces majeures de la statue (socle et dragon, jambe gauche, jambe droite, tronc, bras droit et épée, bras gauche et rondache, aile gauche, aile droite, tête, casque, auréole). Ces onze éléments viennent ensuite se répartir sur une ossature en fers plats forgés, montée en différentes parties boulonnées, les pièces de cuvrerie s'assemblant entre elles par des emboîtements manchonnés. Des vis en cuivre à tête plate permettent le blocage de ces assemblages dont l'étanchéité aux joints est assurée par un cordon de soudure à l'étain, poli par abrasion pour donner une finition parfaite. L'estoc de l'épée est réalisé en laiton et non en cuivre rouge pour former pointe de paratonnerre et protéger ainsi l'abbaye et l'ensemble du Mont des centaines de décharges de foudre qui s'y abattent chaque année.

On remarque enfin indépendamment des qualités formelles incontestables de la sculpture initiale de Frémiet, l'extrême raffinement et la parfaite technicité de la mise en œuvre ainsi que le modelé tout à fait particulier, et très différent de celui d'un bronze coulé, propre au travail du cuivre repoussé.

L'existence de la réplique de Pierrefonds permet donc de mieux comprendre et interpréter les différentes déformations et altérations que les photos aériennes nous montrent sur l'original. Trois types de dégradations peuvent être constatées : les déchirures dues à la foudre, éclats sur le fil de l'épée, déformation de l'auréole et surtout rupture de la poignée de l'épée qui ne tient encore en place que par l'appui de secours qu'elle s'est trouvé sur l'aile droite ; les impacts de balles, courants sur les coqs de clocher de villages, mais étonnantes sur un édifice resté à l'écart des combats de la dernière guerre ; les oxydations diverses : taches noirâtres sur les parties courantes, piquetage continu des soudures d'assemblage en étain, efflorescences ponctuelles de rouille au droit de certains emboîtements.

La corrosion des brasures à l'étain peut, à l'évidence, se traduire à moyen terme, comme cela est déjà le cas pour l'auréole, par un détachement progressif des différentes feuilles de cuivre façonné le long de leurs lignes de soudure. La détermination de l'origine des autres oxydations reste plus complexe. Une analyse fine de leur localisation permet cependant, par comparaison avec les dispositions de montage de la réplique de Pierrefonds, de constater leur apparition en plusieurs points où la coque extérieure de cuivre se trouve au contact direct de l'ossature interne en fers plats. Les taches noires signalées pourraient donc être attribuées à un ralentissement de l'oxydation naturelle verte du cuivre, au contact du fer. Or, nous savons que ce contact fer-cuivre génère en milieu humide et salé un couple électrolytique, un effet de pile se traduisant par la destruction du fer, anodique par rapport au cuivre, ce phénomène pouvant de plus être accéléré par la fréquence des décharges électriques dues à la foudre. La rouille, en proliférant, foisonne treize fois le volume du métal sain et provoque l'arrachement des pattes de fixation de l'enveloppe sur l'ossature si ce n'est même, pour les parties étroites, la déchirure de la coque extérieure en cuivre, d'où vraisemblablement les coulures de rouille constatées sur le poignet droit et la poignée de l'épée. Ces symptômes inquiétants laissent craindre une détérioration très avancée de la structure interne pouvant se traduire à

court terme, compte tenu de la fragilisation générale de l'enveloppe due à la corrosion des soudures, des différentes perforations et déchirures aggravant les condensations internes et oxydations des contrefaces, par un début de déformation de l'ensemble de la statue par fluage de la coque en cuivre. Ils justifient une intervention rapide, programmée pour 1987, et



Mont-Saint-Michel : l'Archange sommant la flèche (Photo de l'auteur)

qui devra permettre la révision des ouvrages de cuvрerie de la flèche, la dépose de la statue, son démontage pour restauration, le remplacement de son ossature intérieure par un matériau inoxydable, son remontage avec remise en dorure, enfin sa repose en place, opération à coup sûr très spectaculaire compte tenu des conditions d'intervention et de la configuration générale du site.

Elle permettra, plus d'un siècle après la conception de son premier modèle, d'admirer de près l'oeuvre originale de Frémiet, et de revoir enfin le visage de l'Archange qui, caché sous la visière de son casque doré, veille depuis plus d'un millénaire sur le Mont et sa baie.

*Texte paru dans le N° 138
avril-mai 1985 "Sculpture
Monumentale" de la Revue
MONUMENTS HISTORIQUES.*

CHARACTERIZATION AND CONSERVATION PROBLEMS OF OUTDOOR METALLIC MONUMENTS

Maurizio MARABELLI*

SUMMARY

The study of outdoor metallic monuments must be conducted along three principal lines: examination of the structures, identification of the corrosion processes, and refinement of intervention methods.

Recent examples of applications in these sectors will be illustrated, with particular reference to the techniques acquired or being standardized by the Istituto Centrale del Restauro.

* Istituto Centrale del Restauro
9 Piazza San Francesco di Paola, Rome, Italy

INTRODUCTION

The conservation of metallic artifacts in outdoor exposure requires an initial study of the processes of deterioration; indeed, for these objects, which are frequently of considerable size and subject to significant mechanical and chemico-physical stresses, it is almost always necessary to carry out a structural examination and an evaluation of the corrosion processes in order to define:

- typical damage
- the chemico-physical interactions between the environment and the monument.

In recent times, the evolution of some non-destructive tests (NDT) has considerably expanded the sector of structural investigation, thus facilitating the study and documentation of the phenomena of decay (see Proceedings of the 1st International Conference on NDT in Conservation of Works of Art, Rome, 1983). With regard to systems for cleaning and protection of the surface, the choice must be preceded by dX examination of the patinas and by observation of micro-samples of alloys under a metallographic microscope or with the aid of more sophisticated techniques (SEM, XPS, Auger spectroscopy).

This paper, which summarizes the measurement and conservation procedures prevalently adopted by the Italian Central Restoration Institute (ICR), thus begins with the consideration that in restoration it is not correct to propose - tout court - an intervention plan, but that one should define a project articulated in three phases:

- NDT/structural examination;
- analysis and documentation of the corrosion processes;
- conservation proposals.

ULTRASONIC NDT

Ultrasonic control is used primarily for the following purposes:

- to carry out surveys of thickness in areas of particular interest, or maps of thickness over the entire surface of the artifact; the aim is to obtain data pertaining to the manufacture and modelling of the waxes;
- to locate critically thin areas, porosity, missing material, patches;
- to examine the soldered joins to verify their structural continuity or lack thereof with the assembled parts.

The first example (Fig.1) shows the thickness histograms of the four legs of the horse of Marcus Aurelius and the measuring lines along four directions: one can deduce from the diagrams the notable homogeneity of the castings, all of virtually constant thickness (4-7 mm). This homogeneity is probably due to the wax technique used

Figure 2 shows a band of soldering that joins two sections of the statue: the thickness values are such as to indicate a substantial structural discontinuity between the castings and the joins (Canella, Marabelli, Marano, Micheli, 1984).

Another example is represented by the statue of Neptune by Giambologna (Fig.3, Table 1). Here ND measurement has permitted us to identify an extensive void occurring at a depth of 5-9 mm inside the structure (Marabelli, Micheli, 1982).

The two main objectives in the evolution of this type of test are:

- to optimize the type of probe, depending on the type of problem. In general the probe must be transmitting and receiving, have a diameter <10 mm, be centered and have enough energy to penetrate at least 15-20 mm;
- to computerize the thickness values, using a program that permits immediate statistical elaboration of the data.

The best complement to U.S. measurements is obtained with radiographic examination: the ultrasonic data, together with all other information of a structural and mechanical nature, can be used to elaborate a mathematical model of the behavior of a structure, using the method of finite elements (Dahl, Rice, 1984).

RADIOGRAPHY AND ENDOSCOPY

Radiographic investigation is essential, together with ultrasonics, in defining the typical defects of any given structure and in identifying the seams and constituent parts of a complex assemblage, as well as restoration inserts.

This technique can be used, with optimum results, for bronze artifacts up to 20 mm thick; beyond that it is necessary to use gamma sources (Ir192, Cs137, Co60).

An example of the information one can draw from X-ray examination is given by the radiogram of the left rib area of the horse of Marcus Aurelius (Fig.4) (Micheli 1983): one can see clusters of large blowholes, around which radio-opaque rounded granules of lead accumulate.

The explanation of this structure is as follows: the areas where gas bubbles are trapped under pressure are also the areas towards which the lead is pushed; when the pressure of the trapped gas declines during solidification, the low melting point components are expelled from the interdendritic spaces inside the blowholes, which are partially filled with them (blowhole segregation). One can also see inclusions dispersed in the mass.

In radiogram 165 of the same artifact (right rear thigh), one can still see the gas blowholes and typical cavities and ramified cracks, probably due to shrinkage, many of which are connected to the large defects present at the center of the radiogram; a clear joint line is also visible (Fig.5).

In another radiogram, which documents a patch in the horse's right flank, one can clearly see the seam corresponding to a patch; a view of the same area from the inside is also shown (Figs.6-7). The dark line at the edge indicates a partial filling of the interstitial space along the joint between the patch and the cast metal.

Finally, for the radiographic examination of a bronze (angel from Orvieto Cathedral), full of the original casting core, one sees the use of a LINAC-type accelerator of 7.5 MeV Varian, which belongs to the Terni Society. The internal form of the casting core is clearly visible in the radiogram, as well as a discontinuity in the head, probably due to casting in two stages (Fig.8).

X-ray examination is often combined, where possible, with endoscopic observation and documentation of the interior.

In this sense it is very practical to use a television videoprobe (Model 2000, Welch-Allyn Comesa) which has the great advantage (compared to a normal fiber-optic viewer) of having an autofocus and a non-retinated view.

In Figure 9 one can see the bronze pin of the raised foreleg of Marcus Aurelius's horse (Fig.10), partially sunk in a bed of lead and covered with corrosion products.

This technique seems quite promising for future applications, especially for the information it provides about the construction details of large bronze statues.

THERMOVISION

As we know, with this ND technique it is possible to visualize the infra-red energy emitted by an object. Normally one uses the band between 2 and 5.6 microns (short wave), with resolution around 0.2°C; under optimum circumstances, the survey is done in the absence of direct solar light, when the artifact is cooling down. In this way it is possible, for example, to identify structural dishomogeneity in a metallic casting, corresponding to thick or thin sections, empty or still filled with the core.

The interpretation of data should naturally be carried out with caution, as the measurements can also be influenced by variations in composition, specific heat, and heat dispersion of the various parts of the monument (Accardo, Bottoni, Fabretti, Santini, 1983).

To illustrate this point, we have given three thermograms of the equestrian monument of Marcus Aurelius (Figs.11,12,13) (Accardo, Bottoni, Fabretti, Santini, 1984). From the two thermograms of the horse's legs, one can deduce:

- the homogeneity of filling of the two weight-bearing legs: the left foreleg and the right hind leg;

- the absence of a homogeneous filling in the raised leg;
- the presence of a cavity in the left hind leg.

The thermogram of the right side of the monument in a nocturnal phase shows that the upper part of the statue is the coldest due to radiation toward the sky, while the lower part is warmer due to radiation from the base of the statue (Accardo, Bottoni, Fabretti, Santin, 1984).

ACOUSTIC EMISSION

The acoustic emission technique can be useful in cases where it is necessary to survey, in real time, events of structural damage such as plastic deformation and the formation/propagation of microcracks.

Since 1982, the Chemistry Laboratory of the ICR, in collaboration with the Institute of Applied Chemistry, Faculty of Engineering (Prof. C. Caneva), has carried out a series of measurement campaigns on outdoor metallic monuments.

In general, a greater amount of information is obtained by combining the acoustic emission technique with surveys of the microclimate (which determines or at least influences phenomena of mechanical stress) and measurements of the surface temperature of the artifact.

We give as a specific example the E/time graphs obtained for the portal of San Zeno in Verona (Fig.14), in clear and cloudy weather, from the beginning to the end of the cycle of direct radiation, and, for comparison, the recording corresponding to the nocturnal period (Figs.15,16,17) (Caneva, Marabelli, 1983).

From the graphs one can deduce that the maximum emission occurs as follows:

- in the morning, during the dynamic phase of maximum heating and drying of the wooden support on which the panels are hung;
- at sunset during the inverse phase;
- during the hours of maximum insolation, between 2:00 and 3:00 p.m., with a cloudy sky and intermittent direct illumination. Vice versa, at night the emission is reduced to the minimum.

With regard to the equestrian statue of Marcus Aurelius in the Capitoline Square in Rome, the emission is at maximum in the morning (first direct insolation) and at sunset (end of direct insolation), due to the sharp dilation and contraction of the fixed metallic structure (Fig.18) (Accardo, Caneva, Massa, 1983).

Structural examination constitutes a fundamental exploratory phase prior to restoration in order to answer questions such as the following:

- what procedures were used to cast and assemble the monument?
- is the casting core present inside, and would it be desirable to remove it or not?

- is it necessary to intervene on the attachments to eliminate recurring stress?
- is it necessary to intervene, particularly in the case of lesions in the supporting elements, to provide a "safety factor" in the monument's stability?

CORROSION AND INTERVENTION CRITERIA

A project for intervention on the surface should be preceded by a series of tests based on metallographic examination of alloy samples, on dX examination of the corrosion patinas, and on the resulting "interpretation" of some typical corrosion patterns.

As examples of the latter, we provide some micro and macro photographs of the surface of the Marcus Aurelius monument (Leotta, Marabelli 1984):

- galvanic couple gold-bronze: the gold is partially encapsulated by the corrosion products and is raised above the surrounding patina (Figs.19,20);
- uniform accelerated corrosion of a patch due to galvanic coupling with the surrounding bronze (Fig.21): the patch corrodes uniformly and the corrosion products form typical drip lines underneath;
- geodetic lines of rainwater: light stripes (areas of anodic behavior) alternating with dark ones (areas of cathodic behavior) (Fig.22). There is a typical alternation between cathodic and anodic zones (zebra striping).

Through dX examination it is possible to highlight the crystalline compounds of corrosion patinas. The formation of the various compounds depends on the composition of the alloy, on the exposure and orientation of the surface and on air pollutants (including marine particles).

The principal compounds are as follows:

- brochantite $\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$
- antlerite $\text{Cu}_3(\text{OH})_4\text{SO}_4$
- calcantite $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- anglesite PbSO_4
- tin dioxide (cassiterite) SnO_2
- cuprite Cu_2O
- atacamite $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$
- paratacamite "
- copper oxalate $\text{Cu}(\text{COO})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

The list of different corrosion products, to which we can also add amorphous copper sulphides, carbon particles and gypsum as components of s.p.m., etc., give rise to corrosion patterns that differ greatly from zone to zone, with drip lines, encrustations, stains, and notable discrepancies of surface coloration.

As a general criterion for cleaning, one eliminates deposits of particulate, stains and encrustations in order to highlight the actual corrosion patina itself; through careful use of mechanical means, one also "lowers" the corrosion patterns that stand out too strongly, cautiously thinning the patina itself.

The only exception to this procedure could be the identification of an original artificial patina, deliberately applied by the artist and still largely in contact with the metallic alloy. This would call for radical removal of the corrosion products.

CONSERVATION OF BRONZES

The standard intervention procedure for bronzes is summarized below as a very general outline which would have to be adapted to any specific case.

- 1) Mechanical cleaning (scalpels, brushes, dental drills, micro-peening);
- 2) Degreasing with trichloroethane;
- 3) Cleaning with compounding solutions;
- 4) Washing with deionized water;
- 5) Washing with a solution of sodium sesquicarbonate at 5-10%;
- 6) Washing with deionized water and a surfactant;
- 7) Final washing with deionized water;
- 8) Drying;
- 9) Final treatment, generally with an inhibitor and a protective surface coating.

For phase 3, we have listed in Table 2 the reagents most frequently used by the ICR, depending on the type of deposit one wishes to remove (1,2,3. Fiorentino, Marabelli, Massa, Moles 1981; 4. recent ICR experimentation; 5,6. Diana, Fiorentino, Marabelli, Santini 1977).

Special attention should be given to acid and mixed-bed ion-exchange resins, which have been found effective in the cleaning of gilded areas. In particular, Figure 23 shows comparative graphs of the specific conductivity of washing water after the application of three reactives (mixed-bed ion-exchange resin, Rochelle salts, and trisodium EDTA) (Fiorentino, Marabelli, Matteini, Moles 1981). The tests were carried out on a panel of the gilded "Door of Paradise" (Baptistery of Florence). From the graphs (Fig.23) it is easy to deduce that the mixed-bed resin, acting as a contact reagent, hardly requires washing after the treatment, in contrast to the other two types of pads.

For phase 9, Table 3 lists the protective coatings most frequently used and proposed, according to bibliographical data (1. Jack 1951; 2. Socha 1980; 3. Tatti 1983; 4. Lafontaine 1980; 5. routine formulation for many uses; 6. Fitzgerald 1977; 7. Weil, Gaspar, Gulbransen, Lindberg, Zimmerman, 1982; 8. Stambolov 1985).

In general, protective surface treatment is an especially delicate phase, for various reasons:

- if one uses, for example, a corrosion inhibitor such as BTA, it must be applied with caution to avoid staining the surface;
- the protective coating (of the "Incralac" type) must have a minimum thickness (>20 microns) to provide sufficient long-term insulation and protection (Cigna, Gusmano, Marabelli, Massa 1980);
- the coatings currently in use do not generally guarantee duration and reversibility for more than ten years (Erhardt, Hopwood, Padfield 1984);
- the aesthetic result is not always satisfactory.

The deterioration of acrylic surface coatings (especially "Incralac") is caused, at least partially, by mechanical stress, due to the different dilation coefficients of the resin and the bronze alloy (5:1) (Erhardt, Hopwood, Padfield 1984).

It thus seems evident that research should be oriented towards the formulation of a multi-layer system capable of assuring (together with adequate maintenance) a longer period of protection of outdoor bronzes.

INTERVENTION ON IRON-CARBON ALLOYS

In the case of artifacts made of iron-carbon alloys, one should generally proceed with a preliminary inspection (using mechanical cleaning tests or ultrasonic measurements), especially where there are superimposed elements, welds, bolts, rivets, hollow elements, etc. When the corrosion is deep and widespread, it is preferable, if possible, to opt for replacement of the corroded section.

To remove rust, mechanical cleaning (preferably with micro-peening) should be as complete as possible, thus assuring better adhesion of the protective coating to the metal. Nevertheless, in the case of historic artifacts of particular value or importance, and for thin elements, one must often limit oneself to removing the rust scales and non-adherent iron oxide powder - in addition to any residues of previous surface treatments - until one reaches a compact surface. The surface can then be treated, with good results, with rust converters such as Actan or Fertan.

For the final protection, one should choose paints that permit long-term maintenance interventions: phenolic paints generally combine a good life span with the possibility of later intervention.

Recently, a satisfactory result was obtained in laboratory tests at the ICR on samples of grey cast iron and puddled steel taken from the Ponte Sisto in Rome, using a protective coating (SIAM IVIS) composed of:

- 2 coats of primer Etokat epoxy (yellow), 10% in thinner;
- 3 finish coats of polyurethane resin Nuvovern (opaque black), 30% in thinner.

The different colors of the primer and the paint facilitate visual inspection of the treated artifact (ICR thesis, XXXIV Course, 1982).

CONCLUSIONS

At the end of this brief review one can draw some operative indications in the various sectors.

1. Methods of analysis and measurement. One can say that the techniques described constitute a well-articulated experimental procedure for the study and on-going checking of metallic materials and their related deterioration processes. The NDT used to date are in a phase of refinement, with regard to procedures as well as to possibilities for new applications.
2. Cleaning techniques. A better understanding of the processes of surface corrosion and the refinement of some selective chemical treatments form a sufficient base of reference. Nevertheless, some uncertainties and difficulties persist in this sector, especially in the treatment of vast areas of encrusted and stained surfaces with differences in the composition of the patinas.
3. Protective surface coatings. For outdoor bronzes we have not yet reached the formulation of products that are valid for a long enough time (15-20 years). Thus, research and testing must be intensified in this sector, in order to perfect coatings with better characteristics than those currently available.

ACKNOWLEDGMENTS

Figs. 4,5,6,7,8,9,10: photos by M. Micheli.

Figs. 11,12,13: photos by G. Accardo

We are grateful to M. Micheli for his collaboration on the section on "NDT - Radiography, and Endoscopy".

BIBLIOGRAPHY

- ACCARDO, G., M. BOTTONI, G. FABRETTI, and V. SANTIN. "Esame delle disomogeneità strutturali in manufatti metallici mediante termografia." *Proceedings of the 9st International Conference on N.D.T. in Conservation of Works of Art, Rome, October 27-29, 1983*, I/1.1-15.
- ACCARDO, G., M. BOTTONI, G. FABRETTI, and V. SANTIN. "Sistema termodinamico struttura-ambiente." *Marco Aurelio - Mostra di Cantiere. Le 9ndagini in Corso sul Monumento*. Rome, 1984, p. 74.
- ACCARDO, G., C. CANEVA, and M. MASSA. "Stress monitoring by temperature mapping and acoustic emission analysis: a case study of Marcus Aurelius." *Studies in Conservation*, Vol. 28 (1983) 67-74.
- CANELLA, G., M. MARABELLI, A. MARANO and M. MICHELI. "Esame delle zampe e delle saldature del cavallo." *Marco Aurelio - Mostra di Cantiere. Le 9ndagini in Corso sul Monumento*. Rome, 1984, p.53.
- CANEVA, C., and M. MARABELLI. "L'emissione acustica per la diagnostica negli interventi di conservazione: il portale di S. Zeno a Verona." *Proceedings of the 9st International Conference on N.D.T. in Conservation of Works of Art, Rome, October 27-29, 1983*, IV/6.1-22.
- CIGNA, R., G. GUSMANO, M. MARABELLI, S. MASSA. "An electrochemical testing method for corrosion resistance evaluation of organic coatings for copper." *Proceedings of the 5th European Symposium on Corrosion Inhibitors, Ferrara, September 15-19, 1980*. pp. 41-53.
- DAHL, J.S., P.E. RICE and P.F. RICE. "Engineering oriented applications for conservation. Finite elements analysis." *11th Annual Conference of International Institute for Conservation, Canadian Group, Halifax, 1985*.
- ERHARDT, D., W. HOPWOOD and T. PADFIELD. "The durability of Inralac: examination of a ten-year-old treatment." *Proceedings of the 7th Triennial Meeting of ICOM Committee for Conservation, Copenhagen, September 10-14, 1984*, 84/22.1-3.
- FIORENTINO, P., M MARABELLI, S. MASSA, and A. MOLES. "The condition of the Door of Paradise by L. Ghiberti. Tests and proposals for cleaning." *Studies in Conservation*, Vol. 50 (1951) 231-236.

FITZGERALD, P. Answer to question 22. *Corrosion and Metal Artifacts. A Dialogue Between Conservators, Archaeologists and Corrosion Scientists*. Proceedings, Washington, 1977, p.226.

JACK, J. "The cleaning and preservation of bronze statues." *Museums Journal*, Vol. 50 (1951) 231-136.

LAFONTAINE, R.H. "The use of stabilizing wax to protect brass and bronze artifacts." *Journal of IIC-Canadian Group*, Vol. 4, N°2 (1980) 46-48.

LEOTTA, M., and M. MARABELLI. "La microstruttura." *Marco Aurelio - Mostra di Cantiere. Le Indagini in Corso sul Monumento*. Rome, 1984, p.54.

LEOTTA, M., and M. MARABELLI. "Le forme di corrosione." *Marco Aurelio - Mostra di Cantiere. Le Indagini in Corso sul Monumento*. Rome, 1984, p.81.

MARABELLI, M. and M. MICHELI. "ICR Report 800 - 27.9.82."

MICHELI, M. "Indagine radiografica della statua equestre di Marco Aurelio." *Proceedings of the 9st International Conference on N.D.I. in Conservation of Works of Art. Rome, October 27-29, 1983*, I/20, 1- 20.

"Ponte Sisto: prove di applicazione di cinque protettivi per strutture in ferro." ICR Thesis, XXXIV Course for restorers, 1982.

SOCHA, J. et al. "Oxide coating in the conservation of metal monuments." *Studies in Conservation*, Vol. 25 (1980) 14-18.

STAMBOLOV, T. *The Corrosion and Conservation of Metallic Antiquities and Works of Art*. Amsterdam, 1985, p.113.

TATTI, S.A. "Bronze conservation: Fairmount Park, 1983." *Sculptural Monuments in an Outdoor Environment. Proceedings of the Conference, Philadelphia, November 2, 1983*. pp. 58-66.

WEIL, P.D. "Conservation of bronze sculpture; a series of case studies." *Sculptural Monuments in an Outdoor Environment. Proceedings of the Conference, Philadelphia, November 2, 1983*. pp. 67-77.

WEIL, P.D., et al. "The corrosive deterioration of outdoor bronze sculpture." *Science and Technology in the Service of Conservation. Proceedings of the IIC Washington Congress, September 3-9, 1982*. pp. 130-134.

TABLE 1: THICKNESSES

Area	Thickness (mm) with ultrasonics	Thickness (mm) with microsampler
1	9	17
2	7-10	24
3	13-16	16
4	5-6	24
5	8	23
6	7-9	26

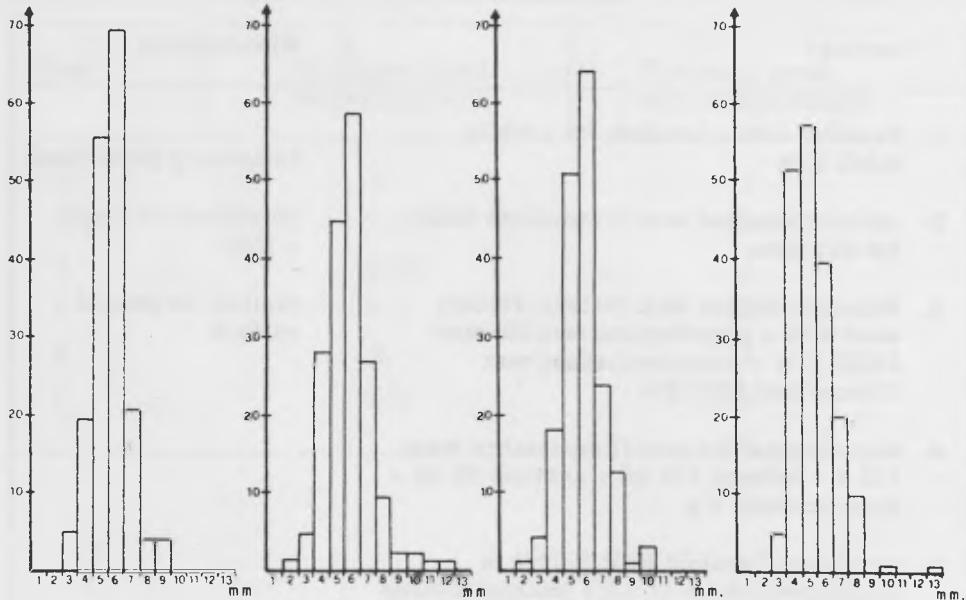
TABLE 2: REAGENTS

Reagents	Observations
1. Na_3EDTA 0.5 M + micronized silica	complexing reagent
2. Na, K tartrate 40% + micronized silica	complexing reagent
3. mixed-bed resin (in H^+ and OH^- form)	contact reagent
4. cationic resin (in H^+ form)	contact reagent
5. $(\text{NH}_4)_2\text{tartrate}$ (saturated solution + NH_4OH to pH 8) + micronized silica	reagent for lead encrustations
6. $\text{K}_2\text{oxalate}$ 5% + oxalic acid to pH 5 + micronized silica	reagent for iron oxides

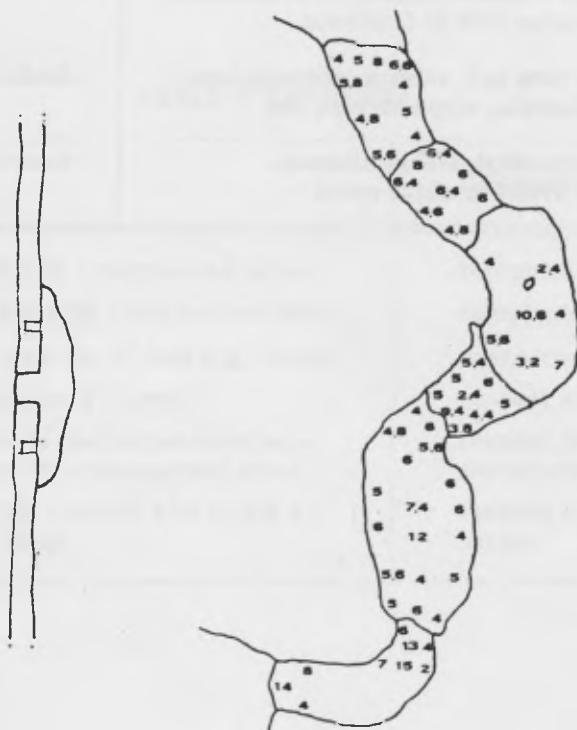
TABLE 3: COATINGS

Coatings	Observations
1. Paraffin 40% + lanoline 7% + white spirit 53%	temporary protection
2. microcrystalline wax (Cosmolloid 80H) 5% in xylene	on patinas of Cu ₂ O + CuO
3. microcrystalline wax (Bareco Victory wax) 85% + polyethylene wax (Bareco 2000) 10% + microcrystalline wax (Cosmolloid 80H) 5%	melted, on heated surface
4. microcrystalline wax (Renaissance wax) 100 g + toluene 100 ml + acetone 20 ml + benzotriazole 5 g	
5. acrylates (Paraloid B72) 5-10% in trichloroethylene or 1,1,1 trichloroethane	
6. acrylates + benzotriazole 1.5% (Incralac) 10% Incralac 10% in I. solvent	
7. Incralac 10% in I. solvent; polyethylene resin + Incralac dispersion on top	double layer coating
8. oligomeric alkyl-alkoxy siloxane (Wacher 090L) in white spirit	consolidant

FREQ.

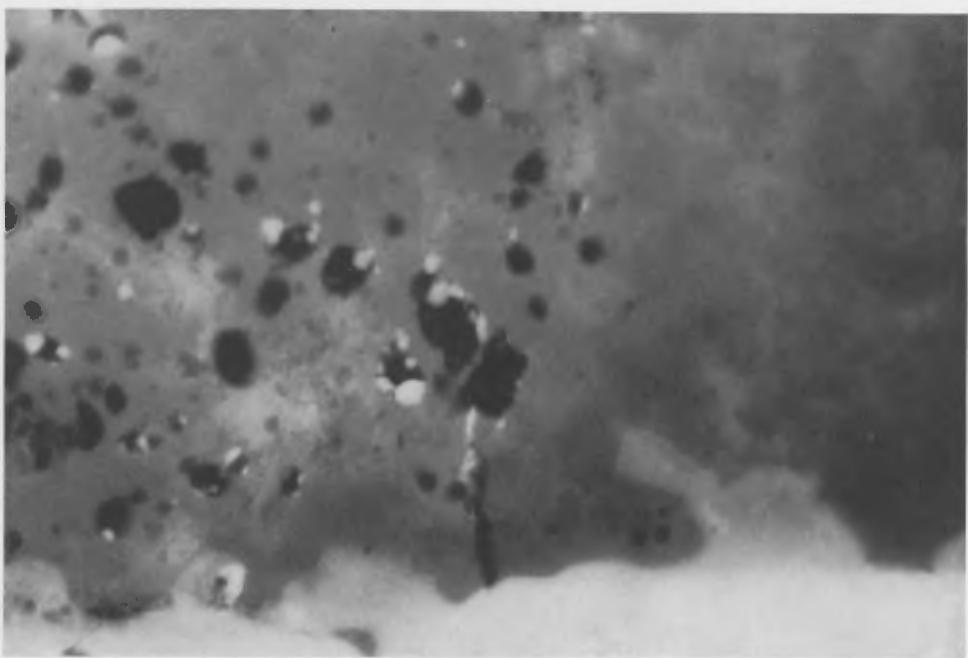


.1

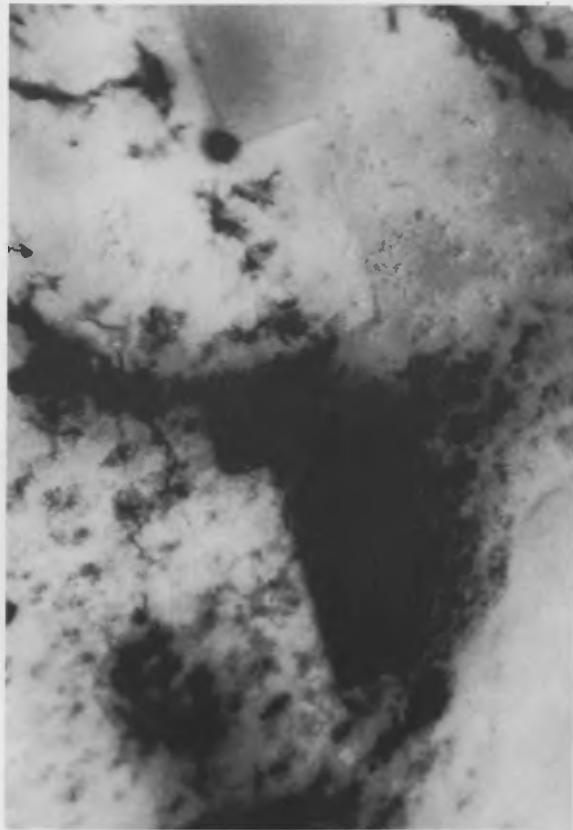


2

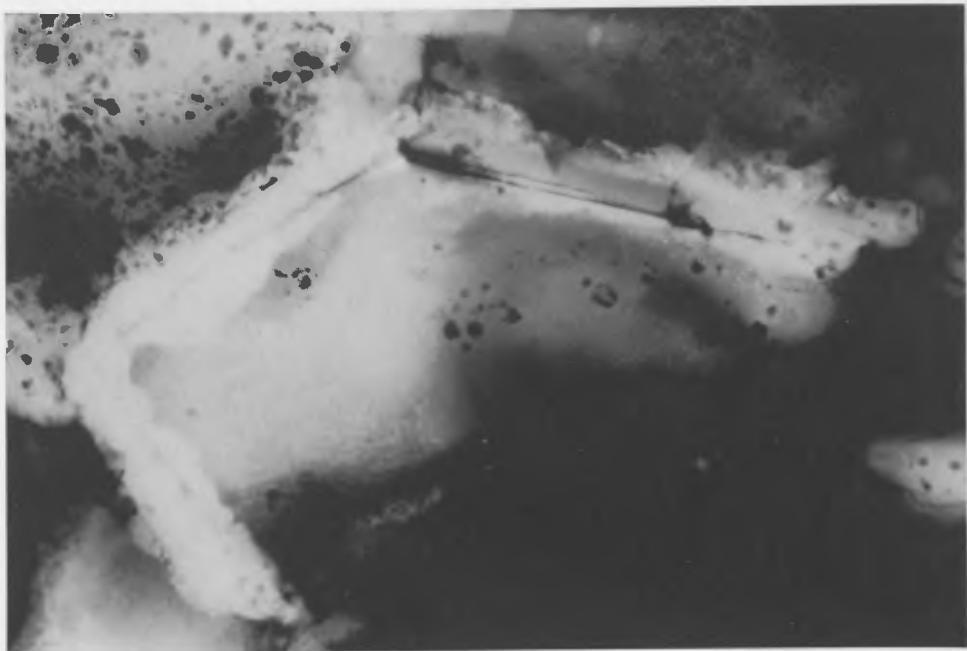




4



5



6



7



8

VIDEOPHOTO 2888 WELCH HELYN COMESH

EE

Cavallo
di Marco
Aurelio

05/16/85

WA

Prova
dimostra
tiva.

11:32:12

zampa
post. sx
imm. 001

Istituto Centrale del Restauro
- ROMA -

9

10



11



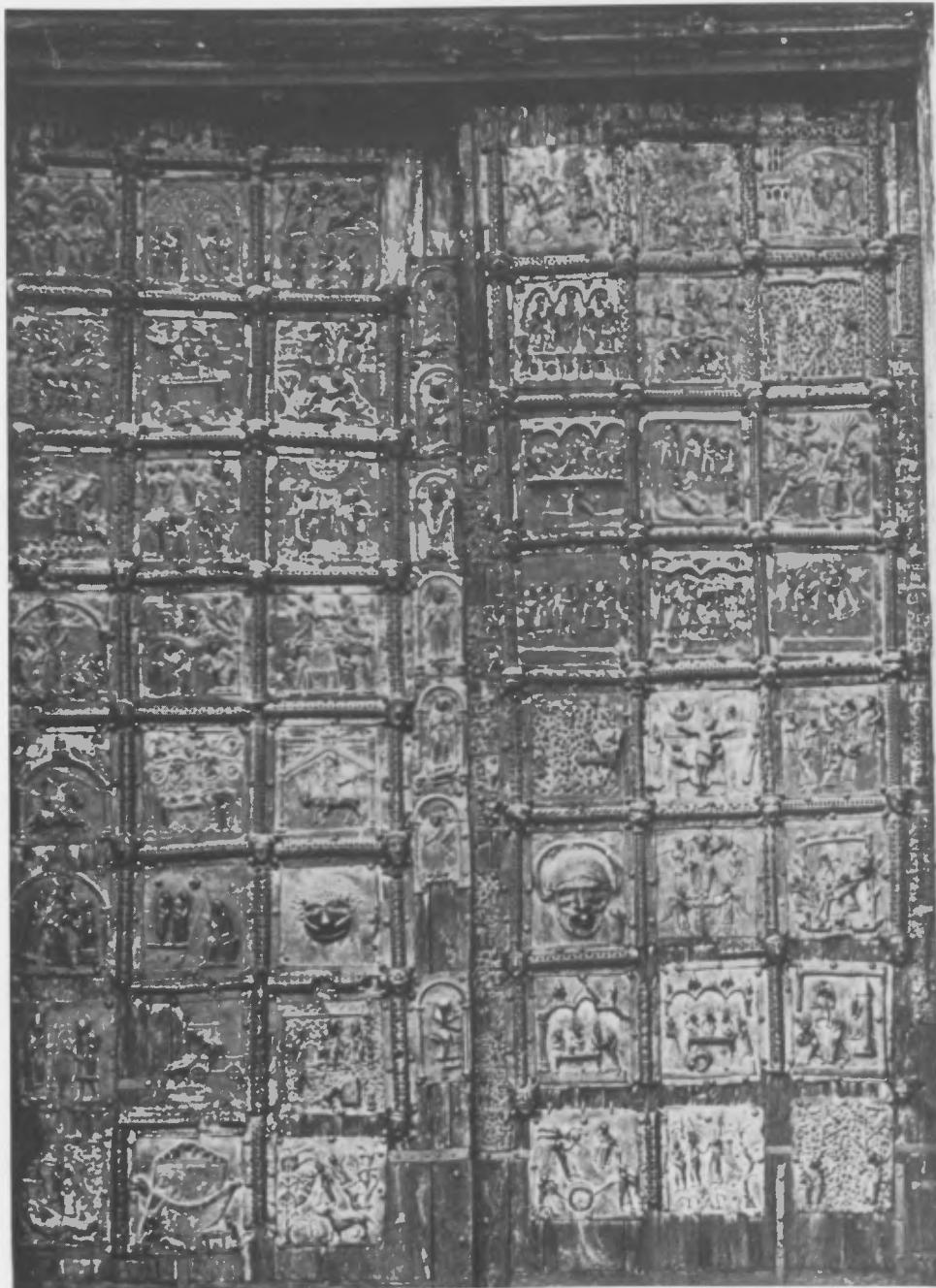
227



12

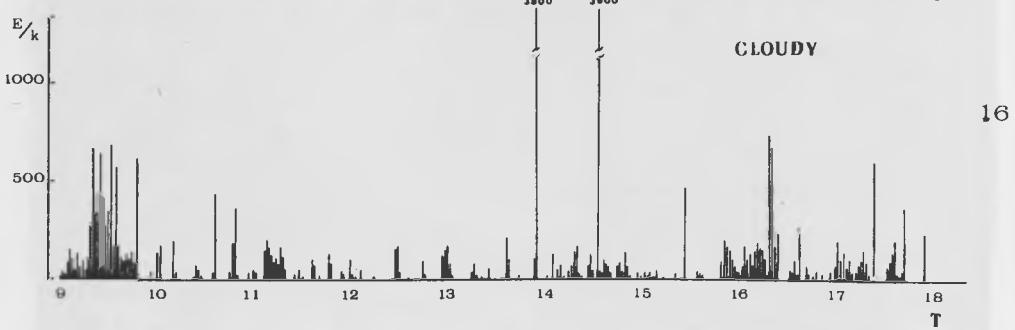
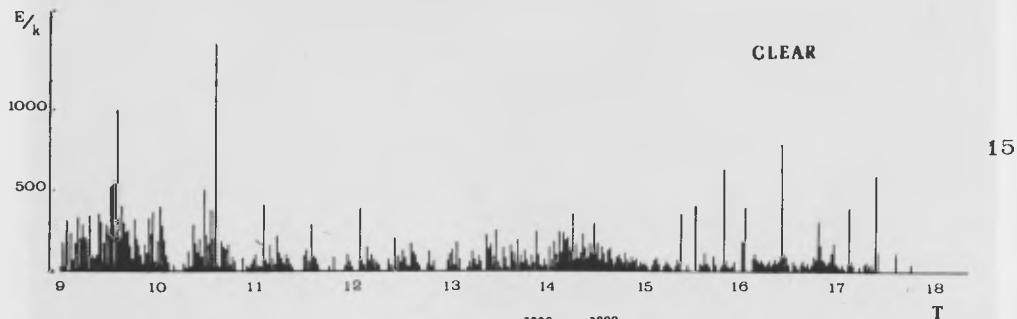


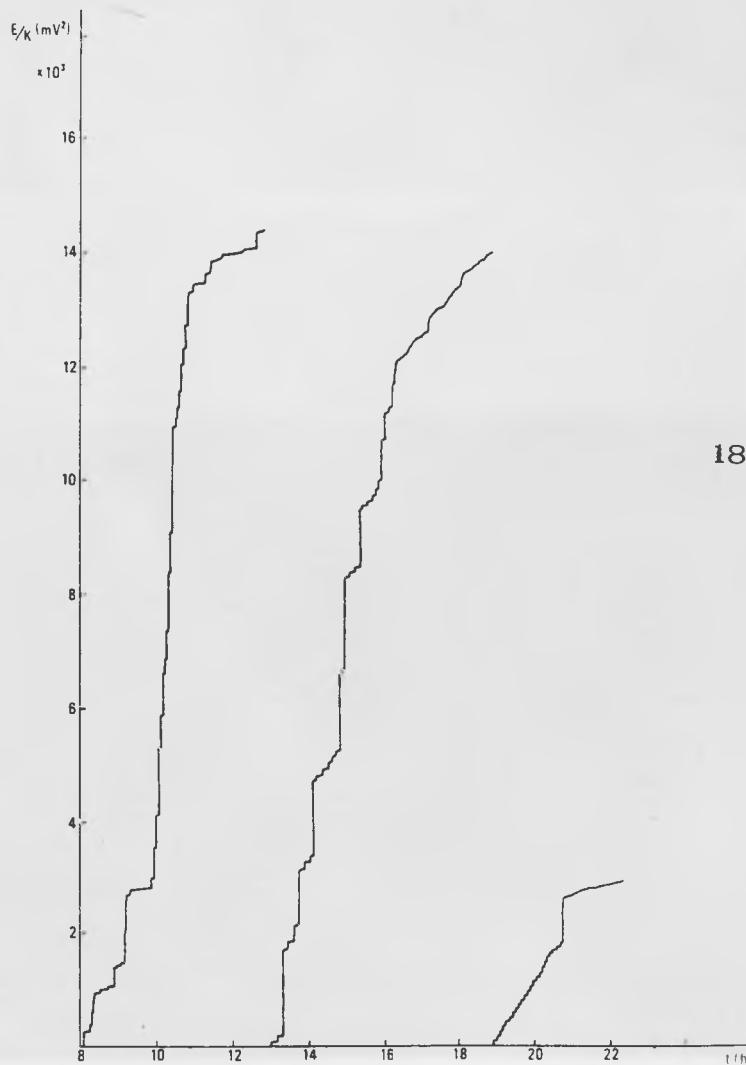
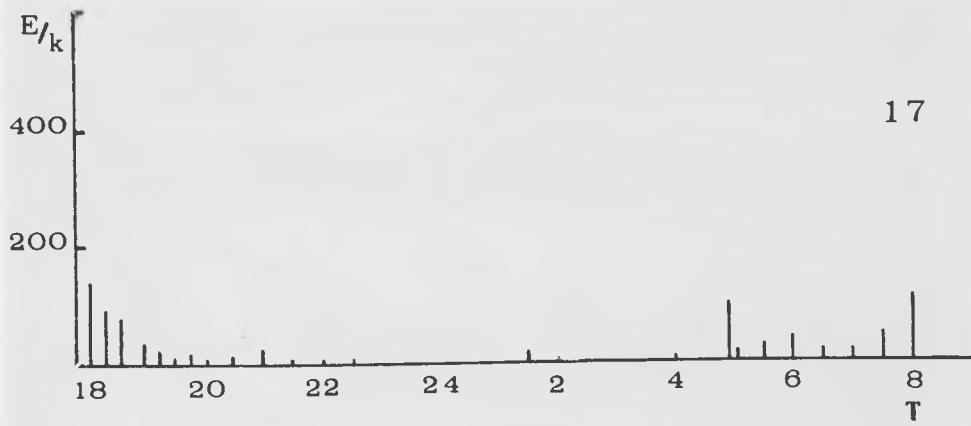
13

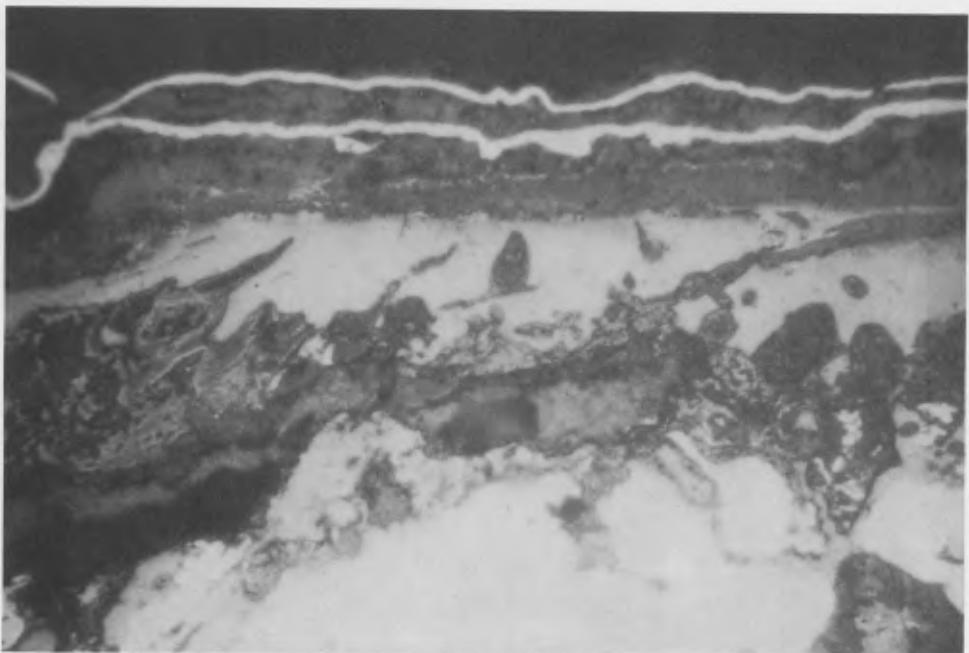


14

229







19

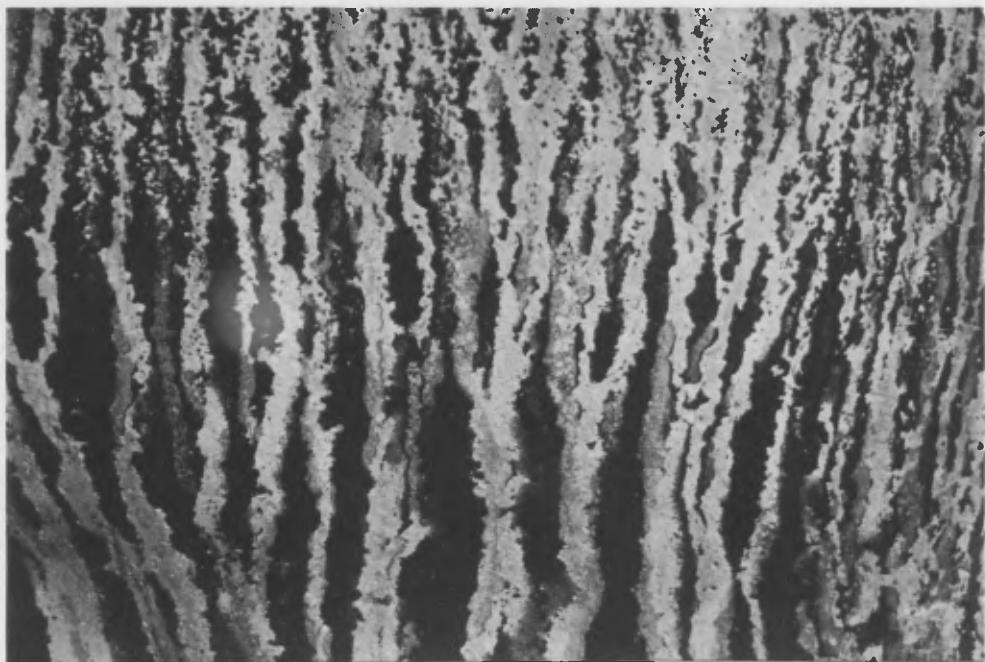


20

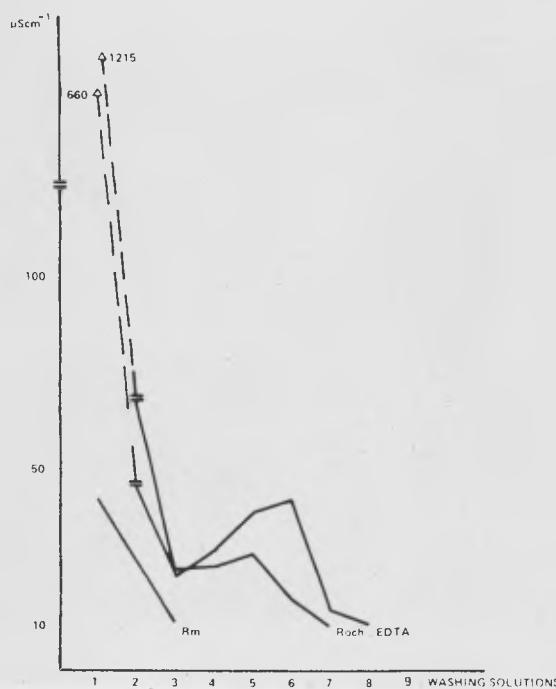


21

233



22



23

NAYLOR CONSERVATION - RECENT WORK OF A SPECIALIST
CONSERVATION SERVICE

Andrew NAYLOR*

SUMMARY

The paper is concerned with the activities of a private conservation practice, specialising in metal sculpture. These activities are illustrated mainly by reference to one recent and two current projects. These are: a life-sized, lead, equestrian group of Fame Riding Pegasus, (early 18c) by Andrew Carpenter; a larger-than-life-sized bronze monument to Sir Robert Peel (1853) by Mathew Noble; a larger-than-life-sized tin statue of St. John the Baptist (1894) by William Goscombe John.

* Partner - Naylor Conservation
Unit H3, Halesfield 19
Telford, Shropshire TF7 4OT
United Kingdom

The Naylor Conservation partnership has been specialising in the conservation of outdoor metal sculpture and ornament for sixteen years. During that time a wide variety of individual sculptures, complete collections and items of ornament have passed through the workshops. The three specific sculptures described in this paper, either recently completed or currently in hand, provide a fair illustration of the service provided by the partnership, its methods and conservation policy.

The initial stage of each project is to survey the object(s) and, where necessary, we will consult other specialists such as metallurgists, paint analysts, structural engineers and historians. This process culminates in the production of a comprehensive report and has proved to be an invaluable approach because the report explains fully, for the benefit of the client, the problems and the recommended treatment. It sets out a clear specification and provides a sound basis from which to calculate an estimated cost of the treatment. Often there then follows a period of consultation between Naylor Conservation, architects, authorities, contractors and grant-aiding organisations.

We believe that the best, most thorough treatment should be carried out in the controlled environment of the workshop and so the entire project usually encompasses uplifting, packing, treatment, return and re-siting. This often entails long journeys, overnight accommodation, tailored insurance and the hire and co-ordination of specialist equipment and operatives. Special permission may have to be arranged to erect scaffolding or to close areas to the public. There may be the additional complications of Custom permits and VAT clearance, etc, if the object is outside the UK. The logistics must be planned and co-ordinated by an efficient administration, which must also control vital day-to-day functions and maintain commercial viability.

When Naylor Conservation were first called in to prepare a report on "Fame Riding Pegasus", an eighteenth century life-sized group in cast lead by Andrew Carpenter, the group had already been moved on several occasions and was in a very dismal state of disrepair. In 1906 an unsuccessful attempt had been made to provide new reinforcement and support; a new "rock" had been made to conceal a new cast iron support under the belly of Pegasus, but over the years the group deteriorated and continued to collapse. The back had broken and as the body sagged the belly had folded inwards over the rock. At a later date a further attempt had been made to provide a support by fitting a prop under the breast-bone. This too was ineffective and the sculpture continued to collapse, causing further damage to the chest of Pegasus. The figure of Fame had dropped forward and was resting on the back of the head of Pegasus. Since the sculpture was set directly into a lawn, it had the appearance of a rather

ridiculous horse, clumsily galloping along, with its rider, about to fall off.

Lead sculptures consist of a number of separate castings, taken from plaster and sand moulds, and jointed together. The moulds were not always completely dried and the individual castings invariably have areas of porosity caused by gasses (mainly steam) escaping from the core through the molten metal. In other areas the gasses became trapped between the inner and outer surfaces of the casting creating a frozen bubble. Corrosion products can amass in these bubbles, distending and often bursting the metal. A lead sculpture would also deform under its own weight if it were not provided with additional support and so the interior was originally filled with a plaster and sand core with wrought iron reinforcement. Rising damp and water, penetrating porous sections of the casting, cause the break-down of the core and corrosion of the reinforcement. Corrosion products from the iron increase, then deform and burst the casting, allowing in more water which exacerbates the problem. Once the internal support is weakened, total collapse, causing extensive and serious damage, is the ultimate consequence.

"Fame" had all these problems; iron-oxide jacking had burst the casting in several places, corrosion within the casting had pushed out "blisters" and additionally, the deformed sections were affected by extensive stress corrosion. The group was much too weak to lift in one piece and so it was dismantled on site and transported to the workshop in sections. Lead statues at an advanced stage of decay are usually unstable, the lead itself may be weak, unsupported and the core broken down, friable and heavy with absorbed moisture. Centres of gravity may be unpredictable because earlier attempts at repair may include partial emptying and/or filling with concrete or lead. Uplifting must be carried out with a great deal of care; incorrectly positioned lifting equipment could be disastrous, causing great damage to the sculpture and potentially great danger to staff.

Further dismantling of "Fame" to enable removal of all the old ironwork, earlier repairs and patches continued in the workshop and it became apparent that open fractures in the casting had merely been patched over; no attempt had been made to close them. When the castings were lifted back into position, re-aligned and the fractures closed, the overall appearance of the sculpture changed dramatically. The front of Pegasus was raised by almost a metre to reveal that the original conception was very similar to Coysevox's Renommé and Mercure; bold, dramatic and baroque. Dismantling also uncovered conclusive evidence that the badly modelled 1906 "rock" was far bigger than the original. This, combined with the baroque nature of the sculpture suggested that the original was also more baroque. Work ground to a halt whilst extensive research was undertaken to discover evidence of

the original design, but to no avail. There then followed a lengthy period of discussion with the client to determine the best way forward. Of primary importance was the need to provide adequate support, and this has been made difficult by the form of the sculpture. Carpenter achieved a sense of tension and flight by pushing the support as far back down the belly as possible; most of the horse and rider is a cantilvered structure in front of the support. The new support, designed and engineered by the partnership, will consist of a rigid, fabricated, stainless steel pylon. In purely conservation terms, this is all that is necessary, however it would be startlingly obtrusive and aesthetically unacceptable to the client and so it was agreed that a replacement for the 1906 rock should be made to hide the pylon. In these circumstances, our preferred approach is to keep the design low-key; compatible but unobtrusive. We favoured a sympathetically modelled rock, on the grounds that the 1906 version may have been a poor interpretation of the original. The client favoured a copy of the Coysevox "armorial" support on the grounds that Carpenter may have based his design on Renommé and Mercure. The replacement will be based on Coysevox's design and cast in lead. The stainless steel pylon concealed within the casting is an integral part of the complex supporting armature that extends through the entire sculpture and is fitted closely to the inner surface of the casting, in order to avoid point loading. Point loading of the casting to the armature is extremely detrimental, we have worked on statues that have been crudely repaired in the past where the point-loaded armature has completely pierced the casting. Further load distribution is achieved by filling the interior of the sculpture with polyurethane foam, which offers further support for the lead whilst flexing sufficiently to allow for thermal movement of the metal. At the time of writing, the winged horse and the figure have been almost completely reassembled within a rigid, purpose-built, steel framework. At the moment the framework is merely supporting the sculpture, but it has been designed and constructed to allow the sculpture to be turned over and re-positioned without stressing, to allow completion of the lead-welded repairs. It will also provide support and protection during transportation and act as a lifting cradle and temporary support during relocation.

Naturally, 250 year old lead is fragile and susceptible to further decay in an outdoor environment, but the resources are not available to make replicas for external display and to move the originals into the controlled environment of a gallery. The compromise solution arrived at by the partnership is a complex balance between overall preservation, selective loss, practicality, economics and safety at work.

The attractive natural patina of lead sculpture is largely made up of oxides, carbonates, sulphides and the remains of degraded lead paint. Research indicates that seventeenth and eighteenth century lead statues were customarily painted and all those treated by Naylor Conservation

have had traces of stone coloured or polychrome lead-based paint. Unfortunately, the patina is very fragile and a proportion, along with an underlying layer of corrosion products, becomes detached during treatment to form a fine, toxic, air-bourne dust which constitutes a serious health-hazard to the conservator. In order to circumvent this problem it is removed at a primary stage in treatment; but even if the patina could be retained it would not, alone, prevent the re-absorption of moisture through the porous lead. Eventually it may prove feasible to consolidate and make safe the patina whilst at the same time sealing the surface of the metal, but for the present, we have reached the conclusion that a cleaned and painted surface fulfills the widest criteria. It seals effectively; when applied with sensitivity it is unobtrusive within the context of a landscape; it is justifiable (if tenuously) on historical grounds. In one case it is also fun. One of our clients is the owner of an eighteenth century lead statue of Bacchus which had several coats of polychrome, built up over many years re-painting. The partnership agreed to re-paint the statue, reproducing the colours of the lowermost paint layer. The result is startling but delightful.

Work on "Fame" has been punctuated by long delays, but it is hoped that re-siting will take place in October 1986. Micaceous iron oxide paint will be used as a sealer and will be over-painted on site with traditional lead based paint, mixed and toned in with the surroundings.

Lead sculpture is also very susceptible to vandalism and theft. Such a soft metal is tempting to the graffiti engraver, although even greater damage is caused by high-spirited members of the shooting fraternity, who seem to derive great glee from using lead sculpture as a target. The greatest destruction, however, is caused by lead thieves who will risk injury and detection to steal a sculpture, or part of a sculpture, to sell to scrap metal dealers. This is precisely what happened to Jan Van Nost's group, David and Goliath from Seaton Delaval. The figure of David was hacked into fifteen pieces with an axe and then flattened with a heavy hammer. By a stroke of good fortune the police retrieved the pieces. The modelling was completely ruined and we deviated from our normal policy by suggesting the complete restoration of the "David". We felt this was justified because, without David the composition of the group was lost and the figure of Goliath did not read as a sculpture in its own right. The client agreed and the figure is now essentially a copy, taken from detailed photographs of the original, using the original material.

Another problem particularly associated with lead is "creep", the slow flow of the metal at even quite low ambient temperatures. Whilst Naylor Conservation make every attempt to ensure that the rate of creep is reduced to the minimum, the technology to halt it has not been developed. Whilst

the complete transmutation, due to creep, of all lead sculpture into amorphous blobs is not by any means imminent, careful recording or reproductions in more durable materials to act as three dimensional records is an issue which conservators and custodians must begin to consider seriously.

Lead sculpture seems rarely to have been used, or perhaps has rarely survived, as urban public sculpture; its popularity was for use in the great gardens of the seventeenth and eighteenth centuries. The nineteenth century was the peak period for urban, bronze sculpture. In the UK alone, almost every old-established industrial town has its portrait figure of a local dignitary, aristocrat or a monarch, almost all of them are gradually dissolving in our polluted atmosphere. The monument to Sir Robert Peel from the Midlands Town of Tamworth is typical of many; competently modelled, solidly made, but with numerous blow-holes, flaws, repairs, a number of large core pins penetrating the bronze and a considerable amount of iron core supports remaining inside. The statue had the typical appearance of urban bronze, with pale, dusty green streaks and patches of dense black encrustations. The right side of the face and neck were unusually well sheltered and here could be seen the remnants of a rich brown patina.

The sulphates, sulphides and concretions were removed by careful glass bead peening to reveal the etched surface of the bronze. Sheltered areas where droplets of water had gathered are scalloped with hundreds of small indentations. Upper surfaces have developed a lizard-skin texture, caused by the criss-crossing of rivulets of acidic rain-water. Foundry patches and repairs are etched differentially to the main castings, some are obviously a different alloy to the main casting. This type of surface erosion of bronzes is well-documented and evident throughout the World in areas affected by industrial pollution. Nevertheless the public, owners and custodians are blissfully ignorant of the damage that is occurring, day in, day out, before their eyes. The belief that bronze should be green and black, and that this patina is 'protective', remains depressingly firmly entrenched. Recently we were asked to survey some bronze street furniture dating back to the sixteenth century. The bases are partially set in concrete, detailing has been almost worn away, pollution and dog's urine is corroding the surface, frost action is bursting the flooded casting; but the city official in charge remains convinced that filler will mend the fractures and that the various greens and black are protective. Everyone with any interest in conservation can doubtless cite similar horror stories and experience has taught me that there is still a desperate need for all of us concerned with conservation to take an almost evangelical approach to educating our clients, employers and the public at large before conservation can become a generally accepted concept. Thankfully however, the message does penetrate, another administrative department in charge of sculpture

in the same city has seen the light!

Ironwork inside the statue of Sir Robert Peel has been removed and the interior will be flooded with a benzotriazole solution. The exterior blow-holes will be filled with a resin/bronze powder filler and the surface re-patinated to a rich brown, mottled and shaded with green. We have found that pure brown is far too much of a shock to the sensibilities of the UK public and the green forms a link, a continuity with the pre-conservation appearance. Finishing is carried out in the workshop with Incralac, buffed over with microcrystalline wax. The wax visually softens the gloss of the Incralac and, like the green patina, is carried out mainly for aesthetic reasons.

Bronze and Lead sculpture form the bulk of our work but many other metals associated with sculpture and ornament, aluminium, spelter, cast-iron, wrought iron, brass, copper, are also treated. Recently we faced a new problem in the form of William Goscombe John's cast tin sculpture of St. John the Baptist. Initially, we were doubtful that pure tin was used as the medium; an alloy, perhaps including zinc and lead seemed much more likely. However, metallurgical analysis proved the material to be 98% pure tin.

It was an exciting piece to work on, beautiful in its own right and made at the time when a small group of sculptors were rebelling against the rigid discipline of Victorian sculpture. They were experimenting with freer modelling, daring concepts, new techniques and new materials. The St. John, made in 1894 was the centrepiece for a dramatic approach to the Marquess of Bute's house, St. James' Lodge. The statue was originally burnished and placed in the centre of a reflecting pool set immediately before the house's burnished tin doors. At night, the pool, statue and doors were illuminated by electric light.

When the Marquess moved out of St. James' Lodge, he presented the statue to the Bishop of Cardiff, who sited it in the palace grounds and there it stayed for many years, gently decaying and corroding. At some point an unsuccessful attempt was made to prevent further decay by painting the statue. Eventually the Palace and its site were sold for re-development and our client bought the sculpture at auction, bidding against scrap metal merchants! By the time of our survey, "creep" had caused the base to sag, tipping the figure forward to such an extent that the sculpture was unstable and had to be propped up with a heavy timber baulk. The paint was a dirty, metallic grey and salts were leaching from joints and crevices. Much of the surface was covered in pustules and eruptions caused by active corrosion cells under the paint. None of the surprisingly high number of internal iron core supports had been removed by the foundrymen and they had become extremely corroded causing oxide-jacking deformation and fracturing around the ankles.

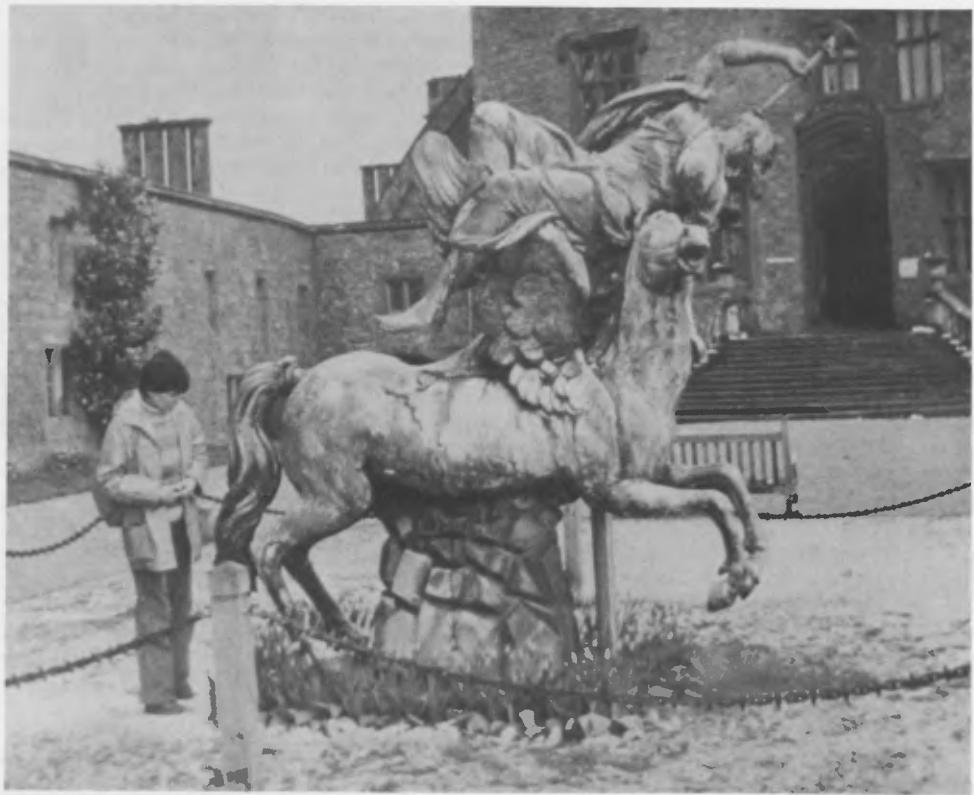
Initially, at the time of the survey we assumed that the paint would present no problems, it seemed hard, but degraded and was flaking in some places. It was, in fact, an early application of twin-pack polyurethane paint. Despite lengthy research and testing by ourselves, paint manufacturers and paint solvent manufacturers, we could find no effective solvent. Air driven glass bead simply bounced off large areas of well-bonded paint. This presented us with a dilemma; we were confident that a fine, sharp, abrasive shot would remove the paint, but inevitably it would abrade the surface of the metal to a minor degree, however the alternative was to leave the paint, but somehow reduce its detractiveness. It obscured fine detail, deadened the form and encapsulated corrosion cells. Following consultation with the client it was agreed that we should remove the paint. Fine copper oxide proved effective at fairly low pressure, minimising detrimental abrasion to the metal.

Cleaning revealed the true beauty of the metal and the full extent of the pitting. Polyester resin and tin powder filler made a fairly good colour match, but would have been noticeable on the face, arms, hands and legs, which it was decided should be brought back closer to the original finish. As a result we developed a technique for welding in spots of tin filler-wire to build up the craters so that the repairs blended in completely. Building up and dressing back the repairs took many weeks of patient, painstaking work.

Removal of all the ironwork entailed splitting the statue at the roman joint at the figure's waist, which also allowed thorough removal of corrosion cells in the joint; and temporarily removing small sections at the elbows. Creep and oxide-jacking had stretched the metal of the base to such an extent that it was necessary to remove a small section to allow the deformation to be re-shaped. The left ankle was so deformed and stress-corroded that most of the affected section had to be removed. A tin plate was formed to the approximate profiles, fitted, welded in and then built up to the appropriate shape by beads of weld which were then dressed back to the correct profile and finish. A purpose-built jig incorporating a hydraulic jack was constructed for the subsided base which was carefully jacked out until the pose of the figure was corrected. Tin is highly susceptible to creep and so a very carefully fitted armature has been provided.

Complete restoration of the surface was not attempted, but polyester resin and tin powder filler was used to fill the most unsightly remaining craters. Selected areas were re-polished and the statue given a subtly coloured finish, protected by lacquer, buffed with microcrystalline wax. As the statue is unique, very valuable, highly susceptible to damage by vandalism and corrosion, the client has now installed it in a large, dry, well-lit hall.

A significant number of the objects that pass through the Naylor Conservation workshops undergo a degree of restoration, in addition to conservation treatment. In the case of lead statues to be displayed outdoors, we are bound by hard, practical and economic limitations; effective, long-term, low maintenance conservation would be difficult and costly to achieve without at least limited restoration. In many other cases it is because the client needs the visual reassurance that restoration provides. Often the client is not aware of the distinctions between restoration and the underlying objectives and philosophy of conservation, he or she simply wants the object to look nice. Whilst it is our policy, for instance, to recommend not restoring missing sections of a sculpture (a limb perhaps), it is often necessary to strike a compromise in order to arrive at a specification acceptable to both the client and ourselves. Most of our clients, we find, would prefer to have a missing arm or leg restored, but we have recently detected a marginal shift towards a better understanding and appreciation of conservation. Restoration will no doubt continue to be an important and, within reason, justifiable part of the work of busy conservation practices for many years to come; for the future, Naylor Conservation will continue to operate in an open and flexible manner. We regard communication, dialogue and consultation with our clients and colleagues as paramount and will endeavour to maintain and develop contact with a wide range of consultants. With this policy and resources, coupled with the selective employment of reputable firms providing more general facilities, we are confident that we shall continue to provide a comprehensive service and, respond to the requirements of our clients, no matter how logically complex, technically demanding or large in scale the project may be.



1. Lead sculpture of "Fame Riding Pegasus" at the time of the survey carried out in 1979.



2. Fracturing and deformation to the chest of "Pegasus" due to the collapse of the sculpture over the 1906 rockwork.



3. Sketch maquette for the replacement to the 1906 rockwork.



4. "Fame Riding Pegasus", reassembled in its purpose-built structural steel supporting framework.



5. Bronze statue of "Sir Robert Peel", survey photograph.



6. An example of one of the pale green and black streaked and etched areas on the statue.



7. The completed statue, ready for crating, transport and replacement.



8. The tin statue of "St. John the Baptist", survey photograph.



9. Disfiguring chloride salts erupting through the dense layer of dark lacquer.



10. The effects of corrosion jacking at the ankles.

11. Treatment completed,
detail.



12. Treatment completed,
sculpture in situ.



CONSERVATION OF OUTDOOR ZINC MONUMENTS

Elzbieta Maria NOSEK*

SUMMARY

The paper describes in some detail the treatment of an 18th century zinc fountain at Szymanow in Poland. The fountain is made in imitation of a bronze one. The chemical and metallographical analysis as well as the technology of manufacturing is presented. It was probably of Italian origin as it is conch-shell shaped. Some parts are made of stamped zinc while the small bowl and nodus are made of cast zinc. It was badly damaged in 1944. Cracking, leaning, sagging and distortion were visible. Several small parts as well as the upper nodus were missing. The conservation treatment consisted in correcting the shape, filling the missing parts and reconstructing the internal support and lips of the fountain.

* BSc. ScD. - Keeper of the Research and Conservation Department
Archaeological Museum, Kraków, Poland.

20th May 1986

INTRODUCTION

Up to the present, only a few outdoor zinc objects have been surveyed in Poland.

They include three fountains, one large one in the shape of a conch-shell and two small ones representing a child and a swan. The latter two are zinc copies of the bronze fountain in the garden surrounding the Wilanow Royal Palace. There are also two statues and a few vases in the residential gardens of the splendid palace in Lancut.

Almost all the architectural details in the northern part of Poland were destroyed during the Second World War.

As far as we know, the fountain from Szymanów is the oldest outdoor zinc object in Poland. On the lower part of its base there is the sign "FELIKS LUBIENSKI - 1782". The workshop is unknown. It was probably made in Italy, and brought over to Poland to the residence of Count Lubienski. Later he offered this fountain to his fiancée and moved it to the residence in Szymanów, where it greatly enhances the garden.

The general state of preservation of the fountain was very poor. The object was badly damaged so it was decided to treat it. The conservation treatment was done during the years 1982-1984.

This paper describes in some detail the treatment procedure as well as attempts at chemical analysis of the composition of metal and technology of manufacturing.

MANUFACTURING TECHNIQUES

The fountain was made in the shape of a conch-shell with an external diameter of about 3 m, and 4 m high.

It consists of five main parts. Starting from the top: there is a small bowl, 1 m in diameter, cast in zinc. The external surface was beautifully decorated with floral and leaf motives.

The bowl is supported by a small nodus made in cast zinc with a similar decorative motive on its surface.

The main bowl, conch-shaped, was made of 21 vertical segments. Each of them consists of five pieces, stamped in zinc. The thickness of the metal varied from 1 to 1.5 mm. The metal was thinner in the areas of greater relief.

Most of the bowl seems to have been stamped in dies. The upper part, the so-called lips of the fountain, were initially stamped in dies, then finished

by hammering. The surface retained original tool marks. After shaping, the sections were joined together at the back with lead-tin solder in such a manner as to make the joint invisible.

The bowl was strengthened at the back by several vertical and horizontal bands of zinc, 5 cm wide.

The design of the fountain, illustrating both the internal and external parts is shown in Figure 1.

The conical nodus with a fluted surface which supports the conch bowl was again made of stamped zinc. It was made of two segments stamped in dies and joined with lead-tin solder. On the lower part there is the sign "Fund. Feliks Lubienski 1782" which dates this fountain to the second half of the 18th century.

The base is cylindrical in shape and consists of three segments. In the middle part, classical geometrical ornaments were stamped. The thickness of this part was 2-3 mm. The other parts of the base were shaped of zinc sheet by hammering.

The internal support was made of three iron cones joined together according to a special system. The central pipe 27 cm wide joined all the pieces of the fountain together and served also for the water system installation.

The fountain was made to imitate a bronze one. The plating on the fountain had the dark reddish tone of bronze. The analysis showed the presence of copper and zinc, but it is not clear whether the zinc came from the matrix or was added intentionally.

It seems to us that copper was deposited without the use of current, with chemicals and then patinated to obtain the appearance of artistic bronze.

The electroplating of zinc was well known in Europe only from the nineteenth century. Therefore, we have arrived at the conclusion that the technique of copper plating was effected without the use of current, which was not applied practically until the 19th century.

INVESTIGATION

Several samples of the fountain were taken from two bowls, nodus, base and joints. They were analyzed both by emission spectroscopy and atomic absorption spectroscopy. Table I presents the results of the analyses.

The zinc used for the shaping of the bowl, lower nodus and base was relatively pure. Stamped zinc fragments contain from 0.1% to 0.15% of lead, 0.09 - 0.12% of tin and a small amount of copper (0.05% Cu).

TABLE I: Atomic Absorption Spectroscopy of Fountain

Sample	Elements %							
	Zn	Fe	Pb	Cd	Mn	Sn	Cu	Total
Small bowl 1	97.3	0.21	1.2	0.02	0.01	1.15	0.10	99.9
2	93.3	0.20	1.1	0.04	0.01	2.55	0.80	98.1
3	84.8	0.26	6.5	0.02	0.01	8.2	0.20	99.9
Joint	1.55	0.20	39.8	0.10	0.01	45.7	0.1	87.5
Conch-shell	99.3	0.1	0.2	0.11	0.01	0.09	0.06	99.8
Base	99.4	0.15	0.10	0.01	0.01	0.12	0.05	99.8
Nodus	99.2	0.15	0.25	0.01	0.01	0.08	0.07	99.8

The soldering material was characterized by 39.8% of lead and 45.7% of tin.

Zinc used for casting fragments was alloyed with tin and lead. The samples taken from the upper bowl showed a wide variation in lead and tin content. The concentration of these two elements varied from 1 to 8 percent. Probably lead and tin were added intentionally to zinc for better casting.

Samples of corrosion products were identified by means of X-Ray diffraction analysis, followed by infrared spectroscopy. The analysis provided the evidence of basic carbonate $ZnCO_3 \cdot 3Zn(OH)_2$ and cuprite Cu_2O . No zinc sulphate was detected.

Observation of polished samples under the microscope revealed microcracks as well as corrosion products along the grain boundaries. It was more evident in the cast zinc. Brittleness of metal was due to corrosion and stress caused by leaning of the bowl.

DETERIORATION OF FOUNTAIN

The fountain was very badly destroyed. There were several sources of that destruction.

First of all, the central iron pipe that joined the object together had deteriorated due to the corrosion process and had collapsed, causing the cracking, breakage, sagging, distortion and leaning of all parts of the fountain, keeping them under stress.

The object also suffered during the Second World War. The upper nodus was missing; several holes remained as evidence of some military action (Fig.2).

Corrosion of copper zinc is more drastic than zinc alone, mainly because of preferential corrosion of zinc in electrochemical cell zinc-copper. The copper deposit was partially lost, especially in joint areas.

The presence of lead and tin in the cast zinc accelerated the intergranular corrosion of metal.

The upper part of the conch-shell bowl, the so-called lips, was almost completely destroyed. Large holes, missing areas and cracks were observed (Fig.3). This part plays a very important role in the proper functioning of the fountain as it closes the bowl, as well as being a decorative element. Several small parts of the conch-shell bowl as well as the upper nodus were missing (Fig.4).

The zinc bands inside the bowl, which were used to strengthen it, were broken in several places.

The central part of the base was lost (Fig.5) due to the corrosion process and vandalism.

As a result of corrosion, the entire surface of the metal was whitish-grey with typical "polka dots". Some parts revealed a typical "hair" pattern (Fig.4.). Pits were observed on the entire surface (Fig.6).

TREATMENT

For many reasons it was decided that the fountain would remain in its former place, i.e. in the garden, after treatment and would serve again as a fountain.

The treatment was started by dismantling the whole object. It was found that the upper part of the internal support was in good condition. We decided to reconstruct the lower cone only. The new cone was made of stainless steel. The upper part was mechanically cleaned, followed by tannic solution treatment. Cortanin F - the commercial de-ruster was used for that purpose. Afterwards, the three protective layers were coated, one with red lead and the others with lacquer.

The surface of the bowl and base were very carefully cleaned by the air abrasive method. The original bronze surface was revealed (Fig.7).

The small missing parts were filled with lead-tin solder. The metal was strengthened in those places from the back with fibreglass textile and polyester resin.

The missing upper nodus created some problems. The recent owner - the Nuns of the Order of the Immaculate Conception - replaced it with a new wooden one which was quite out of character with the style of the fountain. Fortunately, there was a photo in the archives in which the missing part was visible.

The model of the nodus was made in clay and then cast in zinc alloyed with a small amount of lead and tin, i.e. the same composition as the upper bowl. In order to solve the practical joining problem, the nodus was made of seven pieces.

Leaning and distortion of the stamped part was corrected by careful light hammering with a wooden hammer. Before the treatment was started, the zinc sheet was heated up to 150°C.

The reconstruction of the fountain lips proved to be the greatest dilemma, because of their strongly-pronounced convex shape (Fig.8). There were 21 segments of lips. Each of them consisted of three differently-shaped parts.

The models were made of clay and then plaster moulds were taken from the models. The dies were made separately for each part. The lower die was made of cast aluminium, the upper one of lead.

The sheet of very pure zinc was covered with oil, heated up to about 150°C. This procedure is very commonly used by modern craftsmen. Then the metal was placed between the dies and pressed together.

After all the pieces were properly assembled, they were joined together by means of tin lead soldering (Fig.8).

Shaping all the lips of the fountain took us about four months.

Figures 9 and 10 illustrate the technique of assembling the fountain in the garden.

As mentioned above, the surface partially lost its original copper deposit. It is very difficult to replate the corroded zinc. From the aesthetic point of view, it was necessary to reconstruct the surface coating.

Once the corrosion products were removed from the surface of the metal, the layer of varnish was applied, followed by a layer of adhesive mixture used for gluing the gold leaf. The dark bronze powder was applied with a soft brush.

Two protective coatings were applied. At first hydrophobic silicone resin was sprayed onto the surface, which was then coated with wax.

The fountain, after conservation treatment, is shown in Figure 11. Twice a year, the fountain is lightly polished. No corrosion products have been observed on the surface. The fountain still serves as a beautiful decorative element in the garden.

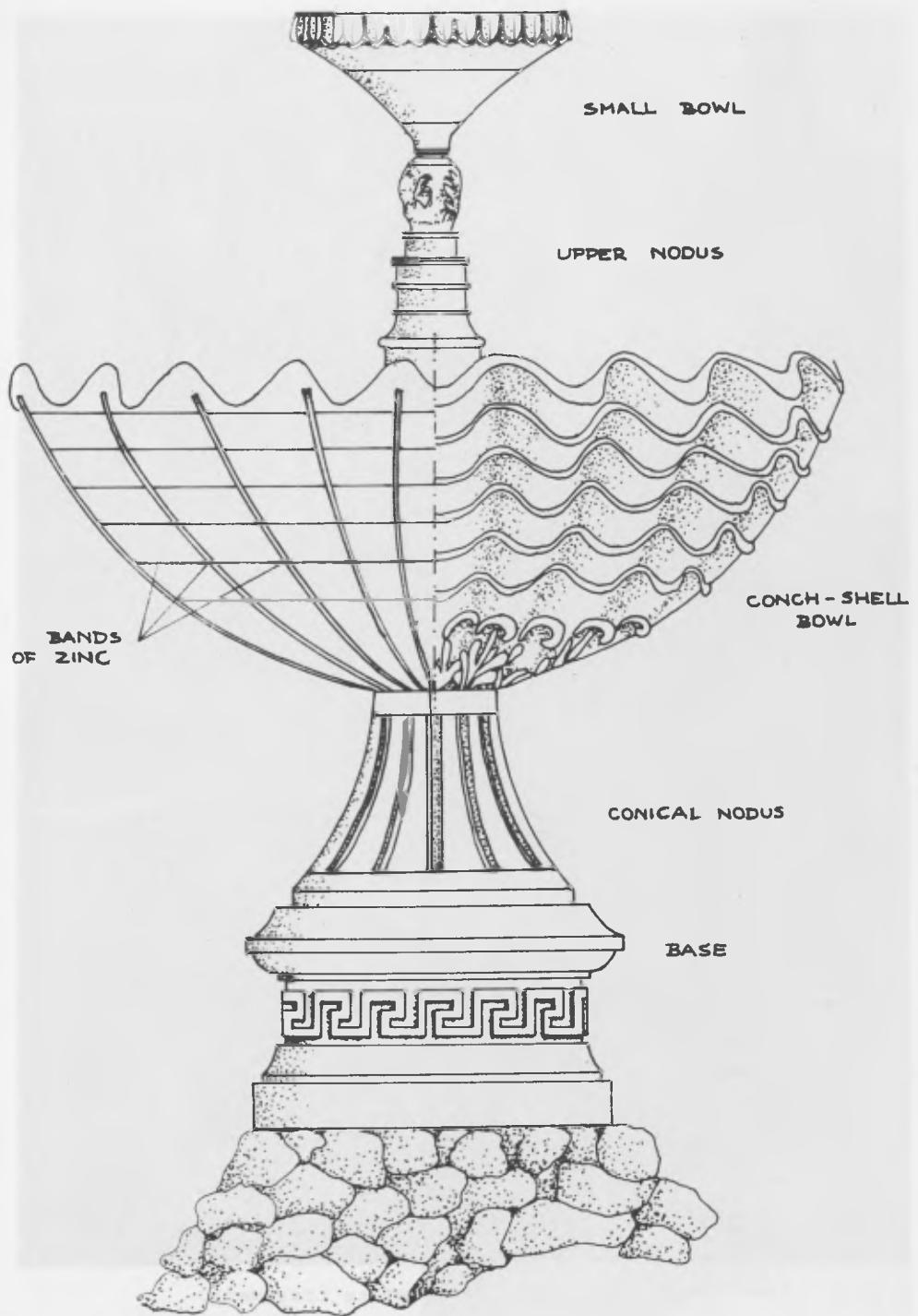


Fig. 1. The design of the fountain at Szymanów, showing both the internal and the external parts.



Fig. 2. Fountain at Szymanów, 1960: before treatment.



Fig. 3. Lips of fountain almost completely destroyed.



Fig. 4. Conch-shell bowl.
Missing areas and cracks
are visible.



Fig. 5. Szymanów. The base of the fountain. The central part is lost due to corrosion and vandalism.

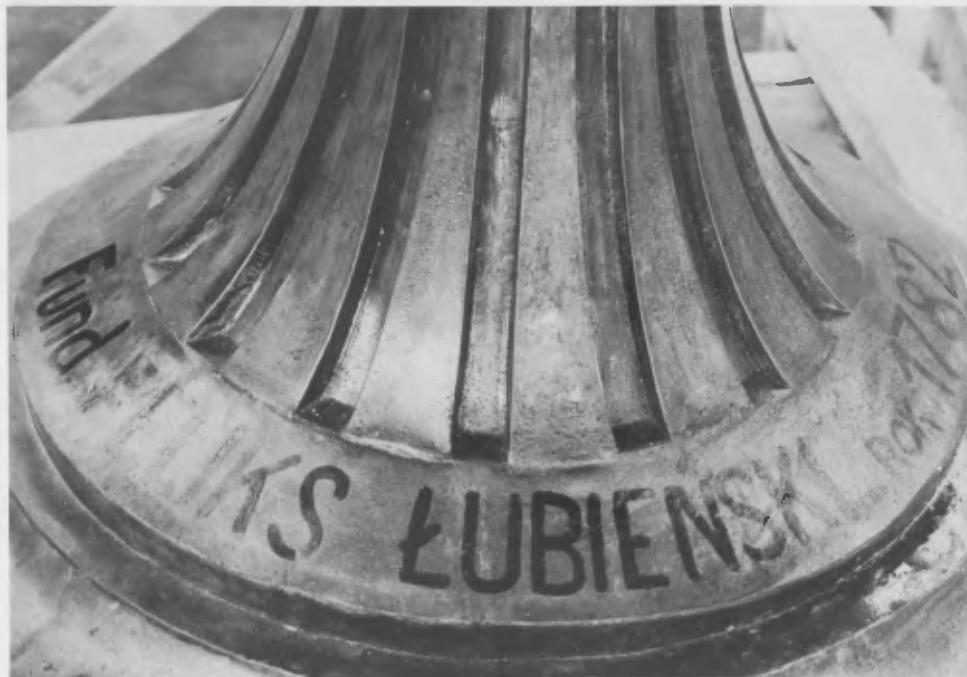


Fig. 6. Szymanów. Pits on the surface of the nodus.



Fig. 7. Szymanów. After corrosion products were removed, the original "bronze" surface was revealed.



Fig. 8. Szymanów. Reconstruction of the lips of the fountain. After all the pieces were properly assembled, they were joined together by means of tin/lead solder.



Fig. 9. Technique of assembling fountain.



Fig. 10. Technique of assembling fountain. The internal iron support is visible with conical nodus.



Fig. 11. Fountain after conservation.

BRONZE MONUMENTS OF THE RINGSTRASSE IN VIENNA - A PROJECT

B. Pichler

SUMMARY

The research programme intends - as one of the primary goals - to explain the various corrosion symptoms by systematically analysing the different patina layers on the basis of the alloy compositions of the monuments. Apart from this problem suitable experiments are carried out in a fully computerised climatic chamber simulating corrosion procedures under selected accelerated conditions. A second main point of the examination of various protective coating systems centres around solutions based on products which are available on the market, first on specially-chosen bronze plates of different alloy composition and heat treatment. Data-logger systems and stationary monitoring networks for air pollution measurement will be set up.

Assistant, Dipl.-Ing., Dr.
University of Applied Arts in Vienna
Institute for Technical Chemistry

1986 06 20

1. INTRODUCTION

Metal works of art are impaired in their outward appearance by the influence of corrosive substances. The damage is greatest - just as in the case of the problems connected with stone corrosion - to objects in the open air. I cannot deal here with museum exhibits or objects brought to light by excavations. However, the damage caused to the objects which, in a very simplified manner, is often attributed to the high level of SO_2 , can, in extreme cases lead to the destruction and subsequent loss of the work of art.



Fig. 1: Demon figure on St. Stephen's Cathedral, Vienna, 1st District



Fig. 2: Stone deterioration (St. Stephen's Cathedral)

If one accepts the argument that the content of corrosive substances in the atmosphere is unlikely to be reduced to a tolerable level in the near future, it then becomes necessary to introduce suitable measures to preserve monuments. This should proceed on a scientifically sound basis and concentrate primarily on bronze materials. Within the framework of any investigation to clarify the reasons for signs of corrosion one must consider the effects of various deposits - road dust, solid particle emissions from fuel combustion, for example. Going somewhat further, one must then examine how such substances, which transform the surface of metal objects, impair different sub-sections of bronze objects. With such an intention in mind it is necessary to take exact measurements of parameters which influence patina formation - e. g. temperature, humidity. During such an examination one concentrates on small sub-sections of the monument's surface.

When one realises the urgency of such tasks it seems contradictory that no scientific body in Austria, with the exception of the Bundesdenkmalamt and its laboratory, engages in serious basic research concerning the preser-

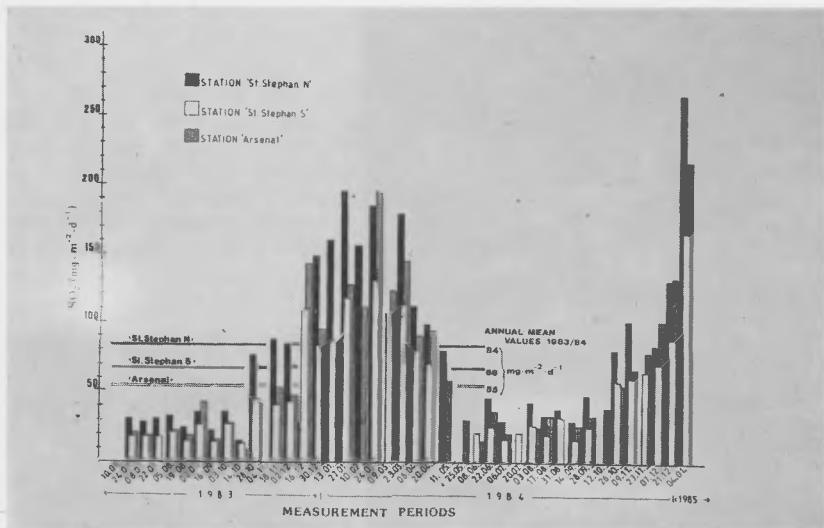


Fig. 3: SO₂ immission rates [J. Weber, Natural and Artificial Weathering of Austrian Building Stones due to Air Pollution; Vth International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Lausanne, 25. - 27. 9. 1985]

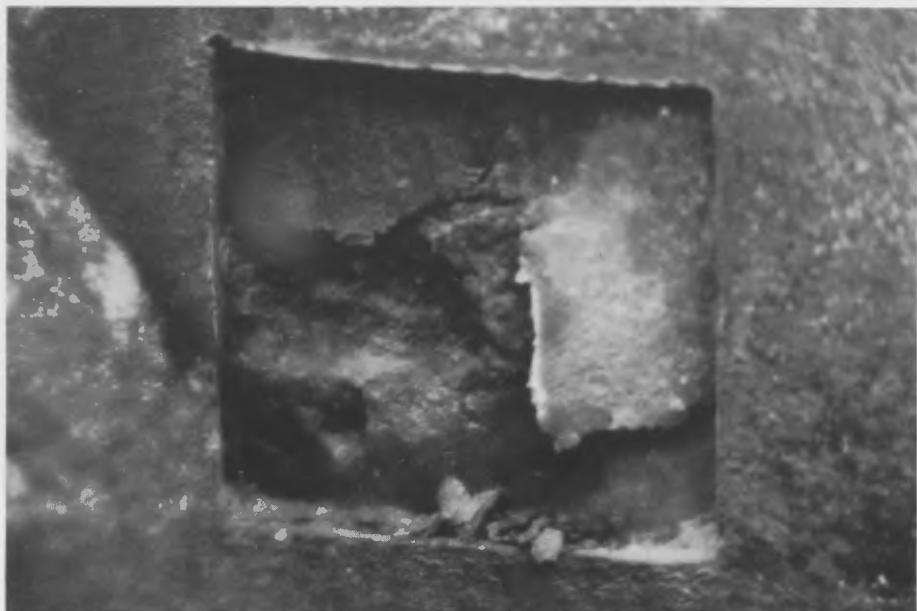


Fig. 4: Slab broken away (Emperor Francis I Memorial)

vation of these metal objects, and especially bronze ones, which were erected on open spaces. In contrast, however, efforts are being made to record the effects of chemical substances on the weathering of stone objects, while at the same time taking all other ecological factors into account. Such ongoing undertakings are financially aided through the fund "FWF" which was launched to promote scientific research. The full title of this project is: "Investigation of the effects of chemical weathering on works of art made from natural stone material", Project No. P 4839.

With financial assistance from Vienna Corporation our project-team has been systematically scrutinizing Vienna's metal monuments for the past two years. From the results of the inspections carried out to date on these monuments we can say that not only the actual alloy composition, but also the specific environment (build-up contra open spaces) and climatic peculiarities around each monument play essential roles. For the purposes of the project we want to confine the examination, based on the results mentioned above, to a single monument and its surroundings.



Fig. 5: Emperor Joseph II Memorial (Vienna, 1st District)

2. AIM OF THE PROJECT

The planned project is divided into several work areas and is intended to supply us with data which can be employed in the general work of preserving monuments - and in our specific case - of protecting metal objects. A work programme has been devised with the following focal points:

- Registering the extent of the damage, examination of
 - a) alloy composition
 - b) appearance of corrosion products on the monument
- Laboratory experiments: recording the corrosion phenomenon by means of artificially produced climates of different pollutants in a climatic test-box.
- Choosing available synthetic materials for the production of protective coating: examining the dependability of such protection systems, in the first instance, on bronze test plates in the laboratory and out of doors.



Fig. 6: Prince Eugen of Savoy Memorial, Vienna, Heldenplatz, 1st District



Fig. 7: First inspection

The degree of environmental stress to which a monument is subjected represents a very complicated process and depends on a series of factors, viz. the alloy - composition, the structural constitution and macro- as well as micro-climatic conditions.

The following points are contained in the preparatory phase of our inspection programme and show similarities to work already carried out to prevent stone disintegration:

- To erect exposed platforms for the execution of weathering experiments out of doors, taking the monument's siting into consideration, especially with regard to the environmental surroundings and climatic factors such as wind etc.
- To attempt to establish a correlation between various factors causing damage to the monument by making an exact picture of the extent of the damage and by examining climatic conditions in the immediate surroundings.

- The results concerning the extent of environmental stress due to chemical substances are used to work out parameters for weathering tests in the laboratory. These tests, if correspondingly varied, should help us to describe the development of the damage and to devise prophylactic measures.
- To work out conservation measures which promise long term efficacy, i.e. do not hinder later restoration work and, in general, do not damage the outward appearance of a work of art.

The wide scope of open questions which often earn but a phenomenological descriptive response, relate especially to insecurity in the choice of suitable protective systems or to the estimation of the damage extent itself.

I would like to demonstrate some of the manifold problems of metal conservation by giving a brief example from the bronze sector. During his work on conservation measures for bronze monuments J. Riederer e. g. considers, after the first phase, three different methods:

- Employment of protective paint.
- Use of wax protective coatings
- Cleansing the monument by supportive mechanical means and by using protective curtains.

In the case of monuments which display a solid patina one must take into account the preservation of the outward state when drawing up the cleansing procedure. This can done by the final employment of wax or paint.

The choice of protective coatings- made of wax or artificial polymers- is, however, connected with a series of problems which arise when one uses protective coatings to prevent metal corrosion:

- strong fluctuations in temperature.
- detachment as a result of different expansion processes.
- embrittlement as a result of reactions caused by warmth.
- reduction of viscosity when the temperature rises.
- influence of pollutants.
- repeated coatings.
- resistance in the face of pollutants with simultaneous influence of solar radiation and high humidity.

If we employ wax coatings we also have the following problems:

- minute thermal stress capacity.
- minute ductile capacity.

In addition to these very briefly sketched critical points there also appear during all coating procedures (application of protective films by employing electric fields etc.) problems which are inherent to the experiment itself. The use of suitable corrosion-inhibitors in conserving bronze objects presents us with a whole range of specific problems. An additional measure here would be to carry out.

3. PLANNED INVESTIGATIONS

3.1 Choice of Object



Fig. 8: Map of Vienna (with insert of 1st District) [Reproduced from: Österreichischer Städteatlas]



Fig. 9: City map with monuments (Green: City of Vienna; yellow: Burghauptmannschaft) [Reproduced from: Österreichischer Städteatlas]

Monument	Short Description	Abbreviation
Maria-Theresia Memorial Maria Theresien Denkmal	Situated at Maria-Theresien Platz. 1873 competition between J. Benk, K. Kundmann and K. Zumbusch. Pedestal design influenced by K. Hasenauer, bronze sculptures according to programme by Arneth von K. Zumbusch (sitting figures - the Empress, allegorical representation of Wisdom, Power, Justice and Mercy. Group figures in relief of important men in the era of Maria-Theresia - statues of Count Wenzel Kaunitz, count Haugwitz, Prince Wenzel Liechtenstein, van Swieten, equestrian figures with riders-Laudon, Daun, Khevenhüller and Traun). Model 1874, completion 1887.	MT
Emperor Francis I Memorial Kaiser Franz I-Denkmal	In the "Burg", erected 1842-46, bronze sculptures by Pompeo Marchesi (statue of Emperor, allegorical figures representing Faith, Strength, Peace and Justice. Allegorical reliefs of the Sciences, Trade and Industry, Mining and Smelting, Tillage and Cattle-Breeding, Art and Heroism.	I
Archduke Charles Memorial Erzherzog Karl-Denkmal	At Heldenplatz, erected 1853-59, equestrian bronze statue with rider by Anton Fernkorn. Pedestal by Eduard van der Null. Model thereof in Schloß (castle) Dobersberg.	E
Emperor Joseph II Memorial Kaiser Josef II,-Denkmal	At Josefsplatz- equestrian bronze statue with rider by Franz Anton Zauner, erected 1795-1807. On pedestal remarkable reliefs for the promotion of Commerce and Tillage, medallions on the corner pillars.	KJ
Prince Eugene of Savoy Memorial Prinz Eugen von Savoien-Denkmal	At Heldenplatz. Erected 1860-65. Bronze equestrian statue by Anton Fernkorn and Franz Pönninger, pedestal by Eduard van der Null. Model 1861.	P
Beethoven Memorial Beethoven-Denkmal	At Beethovenplatz. Bronze sculpture (with Beethoven sitting, Prometheus in chains, Genius and Putti) by Kaspar Zumbusch 1880. Was originally placed with back facing Wien river.	B
Anton Bruckner Memorial Anton Bruckner-Denkmal	In the Stadtpark. Erected 1899. Bronze bust by V. Tilgner, pedestal with Muse of Music by F. Zerritsch.	BR
Moses Fountain Moses-Brunnen	At Franziskanerplatz. Moses figure (zinc alloy). Relief work with Jews in the desert by Johann Martin Fischer 1798.	M
Josef Ressel Memorial Josef Ressel-Denkmal	In Resselpark. Bronze statue by Anton Fernkorn 1862.	R
Andromeda Fountain Andromeda-Brunnen	With picture reliefs Perseus and Andromeda by Raphael Donner 1741.	A
Deutschmeister Memorial Deutschmeister-Denkmal	At Deutschmeisterplatz. Erected 1906. Architectonic sections by A. Weber, bronze sculptures by Johann Benk - Deutschmeister famous Austrian regiment - colours bearer, Vindobona, the staunch comrade, the Grenadier from Landshut, two reliefs representing the Battles of Zenta and Kolin).	DM
Marien Column Mariensäule	In "Am Hof" Square. Praised by Emperor Ferdinand III in 1644, upon whose order the column - made of marble - was erected in 1646. [Johann Jak. Bock (Poch)] In 1667 the column was removed and re-erected in Schloß Wernstein am Inn (Upper Austria). A second column for the site "Am Hof", based on the original, was cast in bronze by Balthasar Herold in the years 1664-67 (contract 1666).	MS
Mark Anthony Group Marc Anton-Gruppe	In the Friedrichstraße beside the Sezession. Bronze sculpture by Artur Strasser 1899-1900, at that time provisionally erected on this site.	MA
Anzengruber Memorial Anzengruber-Denkmal	At Schmerlingplatz. Erected 1905. Bronze sculptures by Johann Scherpe [statue of the poet, the "Steinklopferhannes" folklore figure, portrait of the actor Martinelli].	A

Tab. 1: Monuments

The bronze monument should be recorded in an initial exact description
(site, age, history to date, condition, environmental stress)



Fig. 10: Damage to Marc Anton Memorial- caused by bomb during world War II.
(Reproduced from: Gerhardt Kapner, Die Denkmäler der Wiener Ringstraße)

3.2 Examinations to be executed on the monument either at its present site or nearby.

3.2.1 Evaluation of the detrimental chemical pollutants on site or in the surroundings of the monument:

- IRMA



Fig. 11: Observation station "Arsenal"

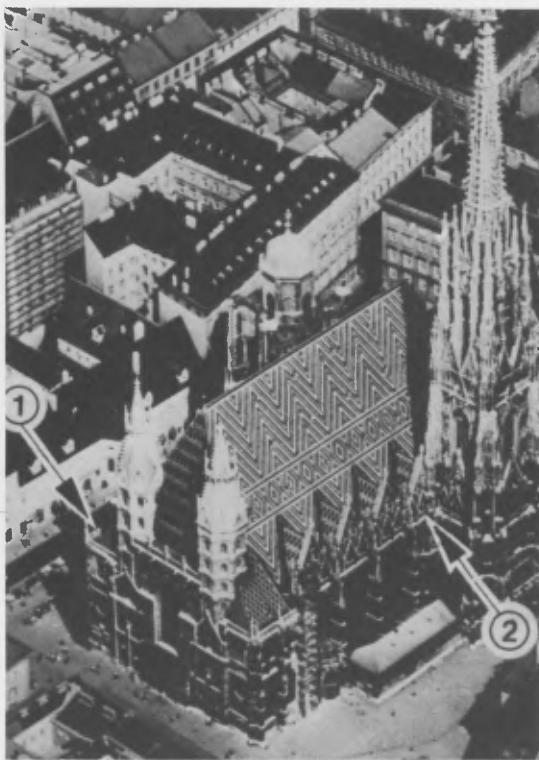


Fig. 12: St. Stephen's Cathedral: Observation stations ("IRMA"-apparatus)

- Data-logger apparatus (temperature, humidity, expansion performance)
- Thermography

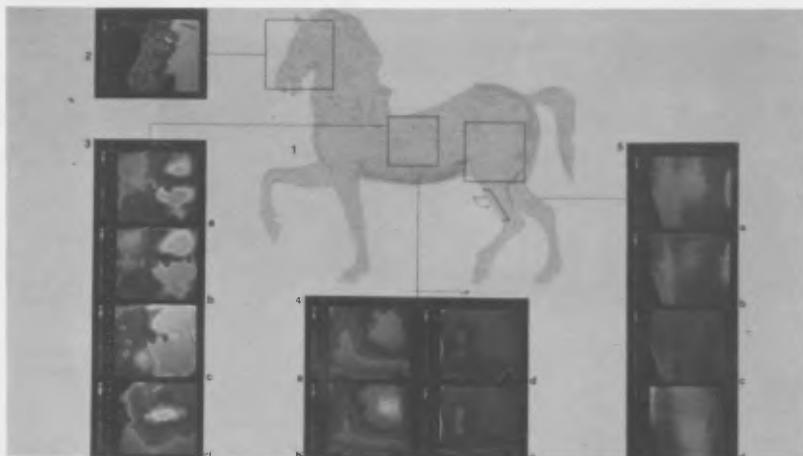


Fig. 13: Thermograms (Reproduced from: MARCO AURELIO-MOSTRA DI CANTIERE le indagini in corso sul monumento [Istituto Centrale per il Restauro - Comune di Roma, 1984])

3.2.2 Metal samples

- chemical analysis
- microscopy



Fig. 14: Anton Bruckner Memorial for taking samples at the Institute for Technical Chemistry, University of Applied Arts in Vienna

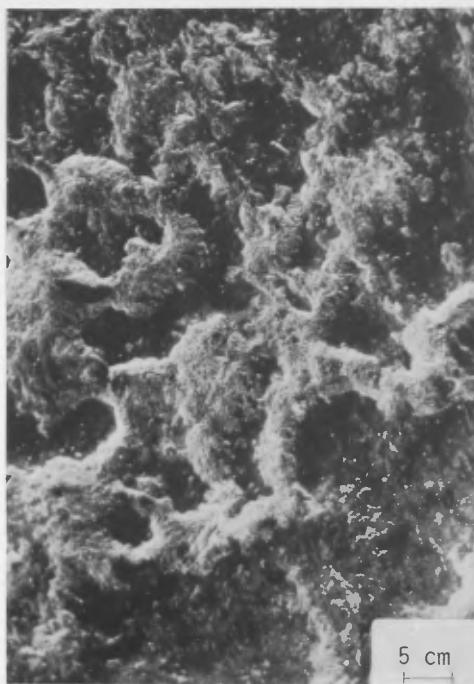


Fig. 15: Anton Bruckner Memorial - close-up of surface

- analysis of microphases



Fig. 16: Rathausmann



Fig. 17: Rathausmann: microstructure of suit of armour

- AAS
- ICP-OES
- SEM
- NAA

3.2.3 Analysis of the corrosion products

- microscopy



Fig. 18: Patina layer ($V = 200 : 1$)

- x-ray diffraction
- SEM
- Analysis of microphases
- IR
- NAA

4. CORROSION EXPERIMENTS

4.1 Exposition to the open air

- production of bronze plates for experimental purposes, which also have the same alloy composition as the monument.

VEW Kapfenberg (Steel plant, Styria,
Austria)
University of Applied Arts in Vienna
(Master class for sculpturs)



Fig. 19: Alloying (Steel plant VEW Kapfenberg, Austria)

- heat treatment of test bronzes of differing alloy compositions
- different ways of treating metal surface (e.g. sand blowing, artificial patinas etc.)

Then the evaluation of the changes undergone by the exposed test bronzes (as in 3.2.2 and 3.2.3) follows with the use of the under-mentioned additional methods:

- Use of colormetrication
- Reflectometer



Fig. 20: Preparation of bronze test plates (Foundry at the Master class for sculptures, University of Applied Arts in Vienna)

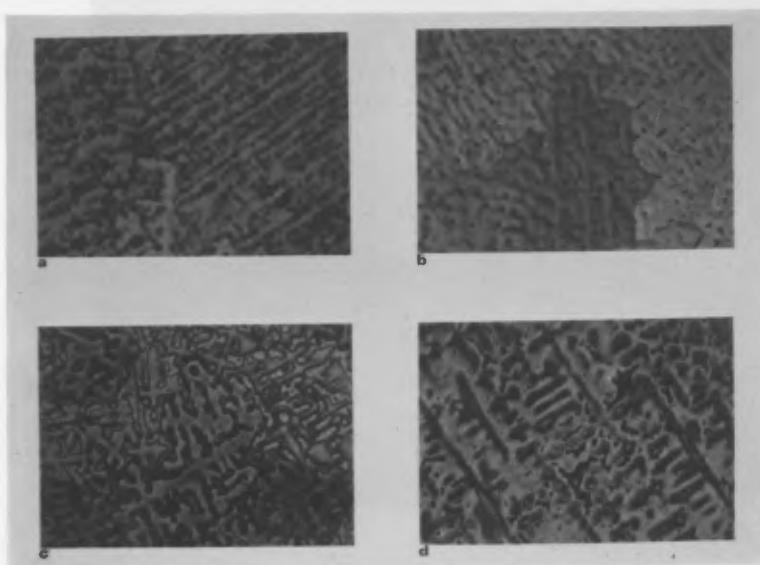


Fig. 21: Microstructures [Bronze Bologna, Bronze Vienna (Master class for sculptures, University of Applied Arts in Vienna)]



Fig. 22: Station for colour metrification (Rathaus, Vienna, 1st District)

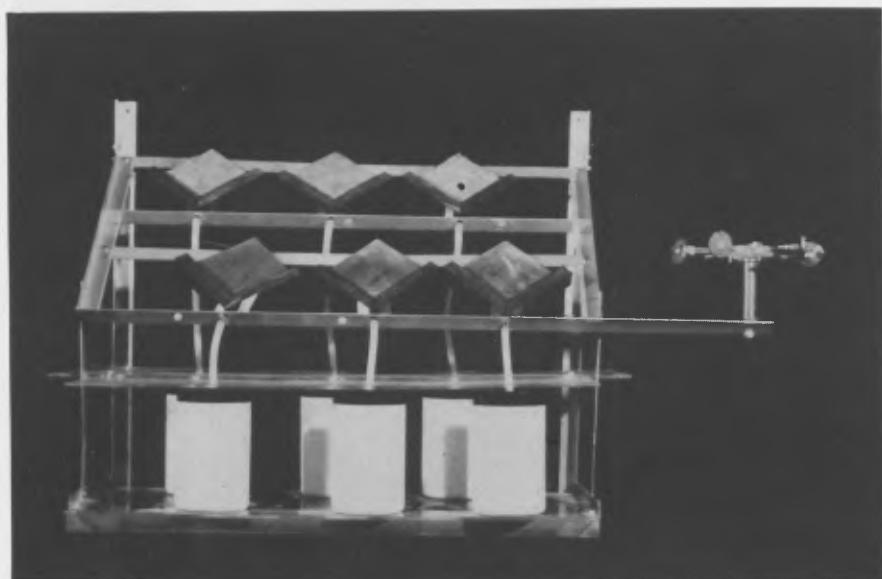


Fig. 23: Station for exposition

4.2 Artificial Weathering

Parameters to which attention has to be paid during a suitable test-programme in a climatic chamber:

- relative humidity
- temperature
- stress (SO_2 , NO_x , HCl , CO_2 , aerosoles etc.)

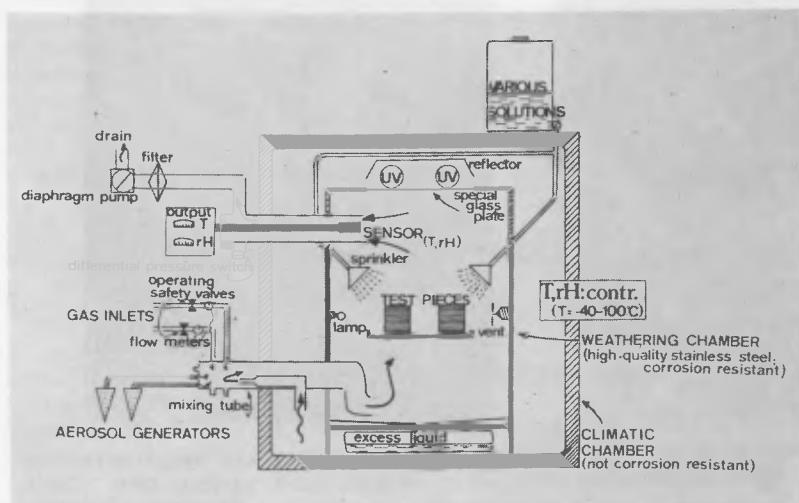


Fig. 24: Diagram of climatic chamber (J. WEBER, Natural and Artificial Weathering of Austrian Building Stones due to Air Pollution; V International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Lausanne, 25. - 27. 9. 1985)

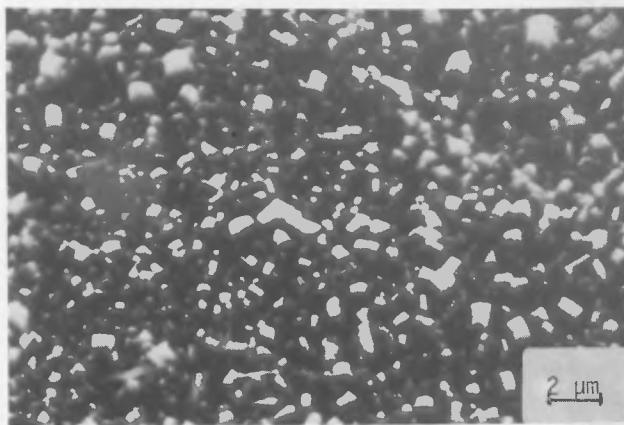


Fig. 25: Artificially patinated bronze test plate (for test in climatic chamber)

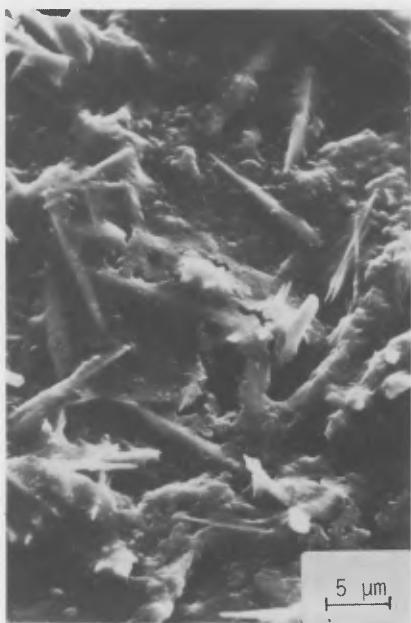


Fig. 26: Surface of bronze after climatic chamber test



Fig. 27: Lead sulphate conglomerations (detail from Fig. 26)

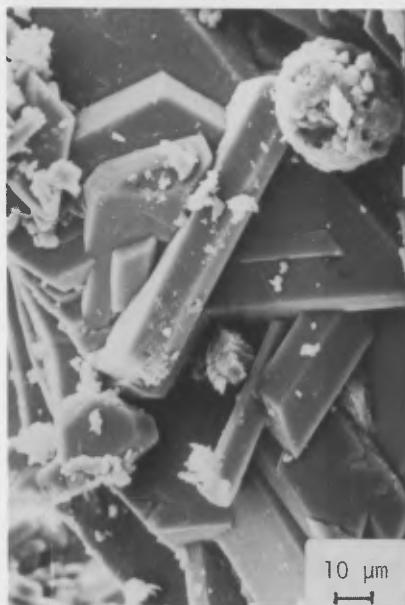


Fig. 28: Incrustations (Emperor Francis I Memorial)

5. TESTING PROTECTIVE SYSTEMS

From the organic technological point of view we must, in addition to the examinations mentioned in 4.1 and 4.2:

- test protective systems which have been chosen from those available on the market.
- measure the film thickness.
- measure the coarseness of the objects surface.
- evaluate the scope of the environmental stress.
- measure adhesive strength.
- record signs of ageing (ultra-violet influence, oxidation etc.)
- record gas permeability.
- record water-vapour permeability.
- record viscosity.

6. CRONOLOGICAL PROCEEDINGS

First Year

- organising the thorough examination.
- the thorough scrutiny of the chosen bronze monument.
- erection of data-logger units.
- evaluation of the pollution situation in the monument's surroundings.
- analytical recording of the alloys composition and structures.
- casting of bronze test plates with the same alloy composition as the original monument.
- erection of platform in connection with corrosion test on bronze test compounds in the open air.
- start to register the effects on small chosen area of bronze surface by means of data-logger units.
- programmes for artificial weathering in climatic chamber.
- choosing conservation products.
- thermograms

Second Year

- Analysis of the damaged areas on the bronze test objects in the open air.
- creation of similar damaged areas by artificial means in the laboratory weathering unit
- treating bronze test plates with special protective systems.
- testing such protective systems out of doors.
- examine efficacy of protective systems under special conditions of chemical pollution (use of climatic chamber)
- interpretation of experiment findings for a report.

REFERENCES

- AILOR, W. H., Handbook on corrosion: testing and evaluation. Wiley, 1971.
- ANGELUCCI, S. - FIORENTINO, P. - KOSINKOVA, J. - MARABELLI, M., Pitting Corrosion in Copper and Copper Alloys: Comparative Treatment Tests, in Studies in Conservation, 23, 1978, 147 - 156.
- BARTON, K., Schutz gegen atmosphärische Korrosion. Weinheim, Verlag Chemie, 1973.
- BRONZE DISEASE AND ITS TREATMENT. Bangkok National Museum, The Department of Fine Arts, 1975.
- BUNSHAH, R. F. - et. al.: Deposition Technologies for Films and Coatings - Developments and Applications. New Jersey, 1982.
- CORROSION INHIBITORS - Developments Since 1980. Ed. M. J. Collie, Chemical Technology Review No. 223, Noyes Data Corporation, 1983.
- DEHIO-Handbuch Wien, Schmidt, J. - Tietze, H., Neubearbeitet von A. Macku und E. Neumann, Verlag von A. Schroll & Co., Wien - München.
- DIN 53 122
DIN 53 380
DIN 53 383
DIN 53 391
DIN 53 494
DIN 53 496
- DKI, Kupfer-Zink-Legierungen (Messing und Sondermessing), 1966.
- FITZ, S., Korrosion an Metallen durch SO₂-Einwirkung, in VDI - Berichte, 314, 1978, 103 - 107.
- FORMIGLI, E., Korrosionsvorgänge an antiken Bronzen, in Arbeitsblätter für Restauratoren, H/1, Gruppe 2, Bronze, p. 68 - 74, 1976.
- HÖMIG, E. H., Metall und Wasser, Eine Einführung in die Korrosionskunde. 4. Auflage, Vulkan Verlag, 1978.
- KAESCHE, H., Die Korrosion der Metalle. 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin - Heidelberg - New York, 1979.
- KAPNER, G., Die Denkmäler der Wiener Ringstraße, 2. Auflage, Jugend & Volk Wien-München, 1969

- LEIDHEISER, H., The corrosion of copper tin and their alloys. Wiley, 1971.
- LEONI, M., Considerazioni sui bronzi statuari antichi, in La Fondaria Italiana, 23, 1974, 233 - 235.
- MARCO AURELIO - MOSTRA DI CANTIERE - le indagini in corso sul monumento, Ministero per i Beni Culturali e Ambientali - Istituto Centrale per il Restauro-Comune di Roma, 1984.
- METALS HANDBOOK, 8th Edition, Vol. 2, Heat Treating, Cleaning and Finishing, American Society for Metals, Metals Park, Ohio
- MÜHLETHALER, B., Die Alterungsbeständigkeit von Kunststoffen, in Arbeitsblätter für Restauratoren, Heft 2, Gruppe 16, Materialien, p. 22, 1970.
- ODDY, W. A. - MEEKS, N. D., Unusual Phenomenon in the Corrosion of Ancient Bronzes, in Science and Technology in the Service of Conservation. Ed. N. S. Brommelle, G. Thomson, Preprints of the Contributions to the Washington Congress, 3-9 September 1982.
- ORGAN, R. M., The Conservation of Bronze Objects, in Art and Technology - A Symposium on Classical Bronzes, (ed. S. Boeringer - et. al.), MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1970, pp. 107-142.
- OTTO, H., Über röntgenographisch nachweisbare Bestandteile in Patinaschichten, Die Naturwissenschaften, Heft 21 (Jg. 48), 1961.
- PASCOE, M. W., Organic coatings for Iron: A review of methods, Maritime museum Monographs and Reports, Conservation of Iron, No. 53 - 1982.
- PICHLER, B. - WEBER, J. - SCHUBERT, W.-D. - ETTMAYER, P., Beitrag zur Phänomenologie der künstlichen Patinierung von Bronzen und Verhalten unter beschleunigter Schadstoffeinwirkung, in Wr. Ber. Naturwiss. Kunst, 1, 1984.
- POURBAIX, M., Electrochemical Corrosion and Reduction, in Corrosion and Metal Artifacts - A Dialogue between Conservators and Archaeologists and Corrosion Scientists, NBS Special Publication No. 479, Washington DC, 1977.
- RABALD, E., Corrosion Guide. 2nd ed. Elsevier. Amsterdam, 1968.
- RICHEY, W. D., Recent Advances in Corrosion Science, in Science and Technology in the Service of Conservaiton. Ed. N. S. Brommelle, G. Thomson, Preprints of the Contributions to the Washington Congress, 3-9 September 1982.
- RIEDERER, J., Korrosionsschäden an Bronzeplastiken, in Werkstoffe und Korrosion, 23, No. 12, 1972, 1097-1100.
- RIEDERER, J., Die Gefährdung des Reiterstandbildes des Jan Wellen in Düsseldorf durch Umwelteinflüsse, in Berliner Beiträge zur Archäometrie, Rathgen-Forschungslabor, Berlin, 1977.

RIEDERER, J., Die Pflege von Bronzeskulpturen im Freien, in Berliner Beiträge zur Archäometrie, Rathgen-Forschungslabor, Berlin, 1977.

RUF, J., Schutz durch Lacke und Pigmente, Verlag W. A. Colomb, Stuttgart, 1972.

SCHREIBER, H., Air pollution effects on materials, in Impact of Air Pollutants on Materials. Report of Panel 3 of the NATO/CCMS Pilot Study on Air Pollution Control Strategies and Impact Modeling, 1982, p. 26.

STERN, A. C. - BOUBEL, R. W. - TURNER, D. B. - FOX, D. L., Effects on Materials and Structures, in Fundamentals of Air Pollution, Second Edition, Florida, 1984, p. 130.

THE HORSES OF SAN MARCO (Scientific Studies and Techniques) 1977/79, The Royal Academy.

THOMSON, G., The Museum Environment. Butterworths, London, 1978.

VENDL, A. - PICHLER, B. - WEBER, J. - PUXBAUM, H. - RENDL, J., Eine Apparatur zur künstlichen Bewitterung, in Wr. Ber. Naturwiss. Kunst, 1, 1984.

WALKER, R., Corrosion and Preservation of Bronze Artifacts, in Journal of Chemical Education, 57, 4, p. 277 - 280, 1980.

WEBER, J. - VENDL, A. - PASCHINGER, H. - RICHARD, H., Untersuchungen über den Einfluß von Luftschadstoffen auf die chemische Verwitterung von Naturbaustein, in Wr. Ber. Naturwiss. Kunst, 1, 1984.

WEIL, P. - GASPAR, P. - GULBRANSEN, L. - LINDBERG, R. and, in memoriam, ZIMMERMAN, D., The corrosive deterioration of outdoor bronze sculpture, in Science and Technology in the Service of Conservation. Ed. N. S. Brommelle, G. Thomson, Preprints of the Contributions to the Washington Congress, 3-9 September 1982.

WERNER, O., Beitrag zur Phänomenologie der Korrosion und Patinabildung antiker Kupferlegierungen, in Prakt. Metallogr., 4, 1967, p. 3.

WIHR, R., Elektrolytische Metallentsalzung, in Arbeitsblätter für Restauratoren, Gruppe 2, 1, 1972, S. 31-48.

YOCOM, J. E. - BAER, N. S., "Materials", in The Acidic Deposition Phenomenon And Its Effects: Critical Assessment Review Papers, Chapter E-7, North Carolina State University, 1983.

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to thank the Director of Institute for Technical Chemistry, University of Applied Arts in Vienna, Alfred Vendl, who enabled me to travel to Paris. I would also like to thank my colleagues Johannes Weber und Hans Haiden, who gave me valuable assistance when I was writing this paper.

EXEMPLE DE RESTAURATION D'UN OUVRAGE DE L'ART MONUMENTAL

Oleg YAKHONT*

RESUME

Il s'agit des voies de recherche de méthodes d'investigation scientifiques du Tsar-Kolokol du Kremlin de Moscou, la plus grande cloche connue. On fait part de la technologie des travaux de conservation et des résultats de recherches complexes effectués sur ledit monument. Vu les travaux accomplis on cherche à apprécier la valeur méthodico-scientifique desdites investigations et des travaux de conservations réalisés.

* Institut de recherches scientifiques pour la restauration au niveau de l'union (VNIIR)
10, Krestyanskaya pl.
109172 Moscou, U.R.S.S.

Ce n'est pas rare que la compréhension de la valeur de tels ou tels travaux de conservation et de l'expérience acquise n'arrive qu'après un certain laps de temps, parfois bien considérable. C'est exactement le cas du Tsar-Kolokol du Kremlin de Moscou, dont les travaux de conservation révèlent une expérience très importante pour la pratique de nos jours. L'auteur du présent rapport n'était pas seulement tenu à participer activement à la direction des travaux, à la rédaction du programme et à l'élaboration des techniques mais était également un des exécutants des opérations de conservation proprement dites. Il y a sept ans déjà que ces travaux ont eu lieu mais ce sont justement ces travaux-là qui ont déterminé dans une grande mesure les tendances de recherches scientifiques pour les travaux de conservation actuels. Cela concerne, en particulier, les méthodes de recherches et de conservation d'une œuvre remarquable de l'ancien art russe faite par V. Ermoline: la sculpture en pierre blanche de Saint George combattant le Dragon de la Tour de Sauveur du Kremlin de Moscou qui date du XVème siècle⁽¹⁾.

Les travaux de conservation du Tsar-Kolokol ont été effectués pendant l'été de 1979. Cette fameuse cloche représente une des reliques nationales, la plus estimée par le peuple. Les cloches des anciennes villes russes n'étaient pas seulement préposés aux cérémonies religieuses mais aussi par leur son on marquait le temps et les événements. Elles accomplissaient un rôle civil important en appelant et en réunissant le peuple aux époques de grandes luttes sociales et de défense de la patrie. Nombreuses sont les cloches dont l'histoire est liée à plusieurs légendes et faits historiques multiples. Lorsqu'une cloche quelconque devenait un principal participant de l'opposition à un pouvoir existant on lui faisait subir une punition et on l'envoyait en exil; aux moments durs de l'histoire la cloche jouait le rôle de héraut de la lutte nationale à la fin de laquelle son tintement solennel chantait la victoire. C'est pourquoi le respect traditionnel pour les cloches en Russie se voit accompagner par le désir de couler les cloches de plus grandes dimensions pour que l'on puisse entendre leur tintement à des grandes distances dans les étendues infinies de l'énorme Etat russe.

En 1735 les Motorines Ivan et Mikhaïl réussirent à couler une cloche géante, baptisée Tsar-Kolokol, dont le poids était extraordinaire, environ 200 tonnes, elle mesurait plus de six mètres de haut et six mètres de diamètre. Deux ans après un incendie dramatique fait rage à Moscou (on le connaît sous le nom "incendie de Trinité"). Le Tsar-Kolokol fut fort endommagé: la cloche incandescente par les débris de constructions en bois fut arrosée d'eau; un refroidissement irrégulier et rapide fit naître 10 fissures et détacha un morceau de 11,5 tonnes. La cloche est restée dans cet état dans une fosse de terre jusqu'à 1836 lorsque, selon le projet de Ricard de Montferrand, constructeur de la cathédrale de Saint-Isaac à Leningrad, elle fut montée et mise à côté de la Tour d'Ivan le Grand sur un piédestal spécial, la partie supérieure de la cloche étant couronnée d'une décoration représentant un globe impérial.

Durant la deuxième guerre mondiale conformément aux exigences du camouflage lumineux le Tsar-Kolokol fut peint à plusieurs reprises. De temps en temps on renouvelait la peinture. Ainsi une couche épaisse de peinture se forma sur la surface de la cloche. L'épaisseur de cette couche dans certains endroits atteignait 6 à 8 mm et dans la partie supérieure (sous le globe impérial) jusqu'à 100 mm. Vers le milieu des années 1960 on ne renouvela pas la peinture et sa couche commença à se détruire en s'écaillant partiellement d'une manière intense sur les portions lisses de la surface latérale sud. Les stratifications multicouches semidétruites de la peinture défiguraient les images en relief sur la surface du Tsar-Kolokol. Les conservateurs de musée étaient particulièrement inquiets au sujet des fissures débouchantes multiples. Au début de l'été de 1979 les conservateurs du Tsar-Kolokol et moi-même, avons reçu la tâche d'effectuer, d'une manière urgente, un examen méticuleux du monument, de rédiger le programme, d'élaborer la méthodologie de réalisation des travaux de conservation et de terminer à la fin de l'été le nettoyage en libérant la surface de la cloche des couches stratifiées de la peinture. Vu le caractère unique dudit monument et la durée extrêmement courte pour la production des travaux de conservation nous avons décidé de nous adresser à divers organismes poursuivant des recherches dans le domaine de métaux non ferreux, de coulage et de production d'alliages pour qu'on nous donne une consultation et pour qu'on nous vienne en aide. Nous nous sommes également adressés à toutes les organisations s'occupant de la restauration. Des spécialistes des Musées du Kremlin de Moscou, de l'Institut de recherches scientifiques pour la restauration au niveau de l'Union (VNIIR), de l'Association au niveau de l'Union "Soyouzrestavratsia" et de plusieurs autres organisations ont activement pris part aux dits travaux.

On a établi le programme de recherches complexes qui comprenait:

1. L'analyse du métal et la détermination de l'état de conservation de la fameuse cloche (profondeur et longueur des fissures dans la partie supérieure, écarts dans la partie inférieure, etc.).
2. L'élaboration de la méthodologie et de la technologie d'enlèvement des couches de peinture de manière que cela ne présente aucun danger pour la surface du Tsar-Kolokol, surtout à sa patine.
3. La recherche des qualités de robustesse de l'assise et du piédestal proprement dit.
4. La détermination de l'état de conservation de la surface du "globe impérial".
5. La recherche des archives concernant le Tsar-Kolokol.
6. L'élaboration des mesures pratiques à prendre pour la conservation du monument en question, le choix des exécutants, des équipements, des matériaux et la détermination des délais en tenant compte de ce que pour les travaux pratiques le client n'a donné que deux semaines.

La particularité des travaux à accomplir consistait en ce que les opérations de conservation devaient être réalisées en plein air, à ciel ouvert, dans un endroit très fréquenté par les touristes au bord d'une autoroute et non dans un local de musée dont le milieu environnant, si familier pour les collaborateurs de musée, est contrôlé et où l'entrée est interdite à toute personne étrangère. On n'aurait pas pu accomplir ce volume de travail en engageant quelques restaurateurs mêmes hautement qualifiés. Vu que le Tsar-Kolokol se trouve à proximité des monuments architecturaux célèbres à l'intérieur desquels on conserve des collections uniques de tissus anciens, de manuscrits, d'objets des arts appliqués, de joailleries et d'autres objets qui sont extrêmement sensibles même à une variation insignifiante du milieu ambiant, on a dû élaborer une telle méthodologie d'exécution des travaux de conservation et choisir de tels matériaux qui ne présentent aucun danger non seulement pour la cloche elle-même, mais pour l'environnement aussi. On a choisi, parmi toute une série de propositions de divers organismes, en faisant des essais multiples, une méthode technologiquement simple qu'on a mis au point et qui comprenait un nettoyage mécanique à main au moyen de racloirs doux de textolite affûtés d'une manière appropriée et ensuite un lavage des restes de la peinture à l'aide de dissolvants spéciaux (ou de leurs mélanges) ne rentrant pas en contact avec la patine du bronze. La technique d'enlèvement de la peinture étant simple, et le volume de travaux à accomplir dans un bref délai étant énorme, il a été décidé d'engager des non professionnels. L'exactitude, la minutie, l'assiduité, la délicatesse, voilà les critères qui ont servi de guide pour le choix des exécutants. Avant de procéder au travail on leur montrait tel ou tel élément d'opérations pratiques nécessaire pour une journée donnée, on les faisait passer les tests après quoi on leur permettait ou non de travailler. A peu près trente personnes participaient quotidiennement au nettoyage. Leur travail était vérifié chaque minute par des restaurateurs hautement qualifiés et des conservateurs chevronnés. Le contrôle était sévère. On prenait les photos de chaque détail avant, durant et après le nettoyage.

Pour éviter l'affaiblissement de l'attention dû à la fatigue, on faisait de brèves récréations dans les intervalles déterminés durant lesquels on expliquait aux exécutants le sens de ce travail et son importance. Une telle organisation du travail et la technique simple nous ont permis de bien nettoyer la surface du Tsar-Kolokol en laissant intacte l'ancienne patine naturelle de la couleur grise argentée avec chatoiement verdâtre. Les détails en relief qui n'avaient pas été ciselés (et n'étaient pas libérés du métal et de la terre frittés) représentaient une certaine difficulté. La question du ciselage d'appoint de nos jours aussi bien que le soudage des joints a été rejetée dès le début comme une intervention inadmissible conduisant à une altération de l'originalité du monument.

Dans la littérature concernant le Tsar-Kolokol on nous offre aussi des renseignements sur la composition du métal fort douteuse, surtout à l'addition du soufre (1,25%). Les échantillons du métal prélevés durant les investigations complexes au moyen des méthodes modernes visant à déterminer la structure et la composition chimique nous ont prouvés que c'est un bronze à l'étain qu'on utilisait d'habitude pour le coulage des

cloches avec composition ordinaire d'additions et de métaux accompagnants (cuivre: 81,94%, étain: 17,21%, soufre: 0,035%, etc.). On a révélé que cette composition du bronze à l'étain possède une dureté et une résistance élevées tandis que sa plasticité est très basse, et qu'elle avait été une des causes d'apparition des fissures et de destruction locale au moment du refroidissement brusque de la cloche². Tous les défauts et toutes les fissures ont été soigneusement mesurés et rapportés sur le plan approximatif rédigé pour la première fois. On a décelé que les fissures étaient longues jusqu'à 2 mètres et que les endroits les plus dangereux de leur rapprochement se trouvaient dans la partie supérieure où s'était détaché le morceau. En bas, les fissures avaient une largeur jusqu'à 5 mm. On a mis des "balises" pour qu'on puisse déterminer si elles continuent de s'ouvrir ou non, autrement dit le monument est mis sous contrôle dans les années à venir. De plus, après la première étape des travaux de conservation, effectués à la fin d'été de 1979, on prévoit de continuer les investigations complexes du monument en vue de contrôler son état de conservation et de prévenir ses détériorations.

Pendant les travaux de conservation on a nettoyé le sommet en forme d'un globe impérial créé d'après le projet de R. Montferrand. On a décelé aussi que le globe et les volutes avaient été coulés et recouverts d'or par un procédé utilisant le mercure et le feu ouvert. La dorure ayant disparue avec le temps, on l'a renouvelée pour conserver mieux la croix.

Les études du piédestal qui porte le Tsar-Kolokol et de son assise ont révélé leur destruction partielle. D'après la conclusion des spécialistes les travaux de conservation sur le piédestal et son assise sont à accomplir pendant la seconde étape qui aura lieu dans les années prochaines après la fin des investigations indispensables et des préparatifs appropriés.

Des recherches d'archives poursuivies par des collaborateurs de musées représentent un intérêt particulier pour les historiens. Toute une série de documents inconnus de correspondances, de projets et de dessins ont permis de découvrir que le décor plastique du Tsar-Kolokol (images du tsar Alexis Mikhaïlovitch, de l'impératrice Anna Ioannovna, des Saints et des éléments décoratifs tels que les guirlandes, rosettes, volutes etc.) fut réalisé par le sculpteur Féodor Medvédev qui avait fait ses études en Italie chez le sculpteur Pietro Baratta³. Ainsi, avec les noms des fondeurs, ciselés sur le Tsar-Kolokol on a aussi appris un nouveau nom, le nom de son décorateur plastique.

Les travaux de conservation effectués sur le Tsar-Kolokol ont déterminé, à notre avis, des moments importants pour la restauration et la conservation de nos jours, c'est-à-dire:

1. Vu les raisons mentionnées ci-dessus la conduite de tels travaux exige une coopération interdisciplinaire entre les spécialistes de divers domaines de la science des principaux établissements du pays ou même d'un groupe de pays, parmi lesquels on doit voir des restaurateurs, conservateurs, physiciens, chimistes, biologistes, critiques d'art, archéologues, etc.

2. En poursuivant des recherches et en élaborant des recommandations il est devenue nécessaire de tenir compte du milieu ambiant concrèt d'un monument donné. Dans ces cas-là il serait peut-être mieux d'exagérer son agressivité que de le sous-estimer, à partir des exigences habituelles de l'intérieur d'un musée.
3. Une tendance à se limiter aux seules mesures de conservation se manifeste lors du travail avec des anciens monuments; il est évident que cela correspond plus à la noble tâche de leur sauvegarde, en outre, cela coïncide avec les exigences actuelles de la science de nos jours.
4. De grands volumes des travaux à accomplir et de brefs délais nous poussent à utiliser l'expérience des domaines connexes dans l'organisation du processus de travail, par exemple, de l'archéologie où l'on engage des non professionnels qui, dans notre cas, sont guidés et contrôlés par des conservateurs (restaurateurs) hautement qualifiés.
5. Les recherches complexes des monuments correspondent non seulement au choix correct d'une méthode de conservation mais permettent aussi de réviser des notions traditionnelles, tirées de diverses légendes, de rejeter de faux renseignements et de s'enrichir de données réelles.

Les recherches complexes et les travaux de conservation réalisés sur le Tsar-Kolokol ont été répétés l'année suivante lors des travaux de conservation du Tsar-Canon du Kremlin de Moscou et ont confirmé que nous sommes sur le bon chemin.

BIBLIOGRAPHIE

1. Yakhont, Oleg. "The restoration of stone sculptures as a method of their study." *Fourth International Restorer Seminar. Budapest, 1984.* Vol. I. p. 225-241.

Yakhont, Oleg. "Problèmes de restitution des oeuvres d'art médiévales ayant subi plusieurs restaurations dans le passé." *Fifth International Restorer Seminar. Budapest, 1985.* Vol. 2, p. 21-27.

Museus, L., O. Yakhont, V. Okunkov, E. Kalantarov. "Complex scientific examination on the 15th century St. George sculpture from the Moscow Kremlin." *ICOM Committee for Conservation, 7th Triennial Meeting, Copenhagen, 1984* (84, 1.32).

2. *Kolokola. 9istoria i sourémennost.* M., Naouka, 185, p. 263-264 (Les cloches. L'histoire et les temps modernes. M. Science).
3. Ibidem, p. 101.

225

évoquées et qui trouvent leur origine dans les rapports entre les deux partenaires. Ces rapports sont de nature à favoriser l'interdépendance et l'interaction entre les deux partenaires. Ils sont également à l'origine d'un certain nombre de conflits et de tensions qui peuvent se manifester dans la relation entre les deux partenaires. Ces conflits et tensions peuvent être causés par des différences de culture, de langage, de valeurs, de croyances ou de pratiques entre les deux partenaires. Ils peuvent également être causés par des problèmes de communication ou de compréhension entre les deux partenaires. Ces conflits et tensions peuvent être résolus par une meilleure compréhension et une meilleure communication entre les deux partenaires. Ils peuvent également être résolus par une meilleure intégration et une meilleure collaboration entre les deux partenaires. Ces rapports sont également à l'origine d'un certain nombre de bénéfices pour les deux partenaires. Ces bénéfices peuvent être obtenus par l'échange d'informations, de connaissances et d'expériences entre les deux partenaires. Ils peuvent également être obtenus par l'échange de ressources, de compétences et de connaissances entre les deux partenaires. Ces rapports sont également à l'origine d'un certain nombre de défis pour les deux partenaires. Ces défis peuvent être causés par des différences de culture, de langage, de valeurs, de croyances ou de pratiques entre les deux partenaires. Ils peuvent également être causés par des problèmes de communication ou de compréhension entre les deux partenaires. Ces défis peuvent également être causés par des problèmes de coordination et de synchronisation entre les deux partenaires. Ces rapports sont également à l'origine d'un certain nombre de opportunités pour les deux partenaires. Ces opportunités peuvent être obtenues par l'échange d'informations, de connaissances et d'expériences entre les deux partenaires. Ils peuvent également être obtenus par l'échange de ressources, de compétences et de connaissances entre les deux partenaires. Ces rapports sont également à l'origine d'un certain nombre de défis pour les deux partenaires. Ces défis peuvent être causés par des différences de culture, de langage, de valeurs, de croyances ou de pratiques entre les deux partenaires. Ils peuvent également être causés par des problèmes de communication ou de compréhension entre les deux partenaires. Ces défis peuvent également être causés par des problèmes de coordination et de synchronisation entre les deux partenaires.

ISBN 92-9077-079-1