



# PROJECT: CULTURE 2000

## REF: 2000 - 1007 / 001 - 002 CLT CA1A



**“ICON CONSERVATION NETWORK.  
EXCHANGE OF TECHNICS AND CRITICAL COMPARISON  
BETWEEN TRADITIONAL AND MODERN METHODS  
PRACTICED IN DIFFERENT COUNTRIES”**

**VICENZA, ATHENS, COPENHAGEN 2001**







**MENU**



# C o n t e n t s

■  
■

# 1. INTRODUCTION

-  **Project Culture 2000**
-  **Final Report – K. Tsesmeloglou /  
Coordinator of the project**
-  **Partners**
-  **Icon Network**



## 2. CHAPTERS



**A. Presentation of the Banca Intesa Icon  
Museum in Palazzo Leoni Montanari.**

*(English)*



**B. Texts of Pr.Bonsanti**

*(Italian)*


## C. Disinfection and consolidation methods of icons wooden ancient to contemporary times.

 Ways of wood insecticide procedure and protection from ancient to contemporary times

By Maria & Michalis Michaelides /Kostas Veroutis (Greek/ English)

 Wood worms against icons: methods of consolidation

By Dr Yuri Borov (English)

 The application of the synthetic resins in solution for the icon consolidation Advantages and inconvenients of each solution

By Gaelle Le Men (French/ English)

 The anoxia disinfection method

By Alain Renard (French/ English)

 The workshop

(English)

 Appendix. Technical description of the material used

(French)



## **D. Pigment analysis and other scientific methods on three icons dating in the 13<sup>th</sup> century.**

**Kalypso Milanou**

*(Greek & English)*

**Benaki museum**

### **MUSIC:**

**Monastery Voices**

**Orthodox Liturgy. Arte Corale**

**Service of High Matins. Russian Choir of the**

**Alexander Nevsky Cathedral Paris**



# FINAL REPORT

**K. TSESMEOLOGLOU**

**COORDINATOR OF THE PROJECT**



**MENU**

## **Ref. Project: 2000 – 1007/001-002 CLT CA1A**

The following actions were achieved thanks to the support of the European Commission as a part of the Culture 2000 program.

Our European group of professional Icon conservators, Art Historians and Scientifics, formed officially thanks to 3 previous European Raphael pilot programs, took conscience of the importance of setting up, as a matter of urgency, of a program of cooperation and exchange within a European and extra – European network of training and research institutions in the field of Icon conservation.

During the recent European program the following actions were achieved:

### **SEMINARY AND WORKSHOP CONCERNING THE ICONS WOODEN PANNELS AND CONSOLIDATION METHODS.**

**Palazzo Leoni Montanari**

**Vicenza, Italy. 20 June to 23 June 2001**

During those days the participants had the occasion to discover the icon museum of the Banca Intesa Collection in the Palazzo Leoni Montanari, discuss with the conservators of the collection and include them in the network of Icon conservators because till then nobody had the opportunity to contact them. This occasion was a real enrichment not only for the Banca Intesa icon conservators but also for all the other participants.

The most important moments of this meeting were the interventions of professionals on the field of wooden panel disinfection and consolidation who exposed the different methods practiced from the ancient times to contemporary times in Greece and Russia and made a critical analysis. A theoretical and practical intervention concerning a modern non toxic method of disinfection based on anoxia made the event of the meeting.

The specialists after having explained all the particularities of this method called the participants to practice together the method on Icons from the reserves of the Banca Intesa Collection having insect infestation problems. It was an interesting and amusing experience which permitted to everybody to understand how this method works. It was a real pleasure to see professionals of different countries work together in a real spirit of collaboration.

### **BENAKI MUSEUM RESEARCH PROGRAM. PIGMENT ANALYSIS AND OTHER SCIENTIFIC METHODS ON THREE ICONS DATING THE 13<sup>TH</sup> CENTURY.**

In the Benaki museum, in Athens, a campaign of identification and technical analysis of pigments on icons dating in the 13<sup>th</sup> century took place at the Democretos scientific center in Athens.

An internship for taking samples and interpreting the results was proposed and three persons coming from Germany and France participated to the project. The research is finished with success because the conservators got all the necessary information for the identification of the pigments which permitted them to choose the appropriate method for the conservation of those icons.

# PARTNERS:

**ATELIER DE CONSERVATION ET RESTAURATION**  
**NANTES – FRANCE**

**BANCA INTESA CULTURAL SERVICES**  
**VICENZA – ITALY**

**VALAMO ART CONSERVATION**  
**INSTITUTE VALAMO – FINLAND**

**BENAKI MUSEUM**  
**ATHENS – GREECE**

**FRANKFURT ICON MUSEUM**  
**FRANKFURT – GERMANY**

**EUROPEAN COMMISSION CULTURAL 2000 PROJECT**



**MENU**



# ICON NETWORK

English



# VICENZA MEETING SHORT NEWS

During a short but very passionate discussion between the members of the Icon group before the end of our meeting in the Palazzo Leoni Montanari, the necessity of creating an official Icon conservation network had been expressed and voted unanimously. As the idea is to make a wide network, with the aim to represent and present all the tendencies, (schools, Institutions, Museums, research, meetings, exchange projects, publications etc), and provide a permanent information to each person who is interested on the field of Icon conservation, we would like to address this information to each person who works in the field of Icon conservation, respecting all the deontological rules of the profession and shares the same optic about the diffusion of information.

Here are some ideas for reflection asking you to participate on that, by expressing your opinion and make suggestions of how you dream and imagine the function of such a network. As it is evident the creation of such a network will come after a big period of reflection concerning the elaboration of the aims and the way of action, It was already specified that the ICON network will be independent from any other organization.

## IDEAS FOR THE CREATION OF AN ICON NETWORK

Our group of professional Icon conservators, Art Historians and Scientific, formed thanks to previous European Raphael pilot programs and ICOM meetings, took conscience of the importance of setting up, as a matter of urgency, of a European network of trueing and research institutions in the field of Icon conservation.

During the last few years an approach between specialists had been tempted with success. The contacts between the various Icon conservation specialists revealed the enormous need to start communication, exchange actions through practice for concrete results and consider Icons as European heritage needing professional cooperation for better protection.

The aims of an icon network should be:

- Creation of a listing including all the Official and National Icon conservation schools. (This could avoid to young people to make studies in inappropriate schools for icon conservation).

- Creation of a listing with a short presentation of all the Icon Conservation Institutions (This could facilitate the contacts between conservators and the students who have research to make).

- Provide information on line concerning new articles, meetings, conference, exhibitions, new methods, publications concerning the Icon conservation field.

If you have more ideas, propositions or if you don't agree with something, you are kindly requested to express your opinion. Only if we have a big amount of participation and ideas on the creation of this network we will proceed on its creation.

Please send your personal feelings about that and this will permit us to have a global consideration of the idea.

**Please send as soon as possible your answer to:**

**Alexandra Berch  
Museum fur Kunsthandwerk, Frankfurt am Main  
Schaumainkai 17  
60594 Frankfurt  
Germany**

**or**

**Kiriaki Tsesmiloglou  
Atelier de conservation Restauration d'Oeuvres Peintes  
24 rue Kervegan  
44000 Nantes  
France  
E-mail: kyriaki007@aol.com**

# VICENZA ICON MUSEUM VISIT



***Royal Gates***, Moscow, end of XVI century, tempera on wood, right 157,50 X 41,10 cm.  
left 157 X 41,60 cm.





*The Annunciation to the Mother of God*, detail, Novgorod, second half of XVII century, tempera on wood, 140 X 81,20 cm.



***The Annunciation to the Mother of God***, detail, Moscow, end of XVI century,  
tempera on wood, 71 X 55 cm.





***Mother of God of Vladimir,***  
Moscow,  
end of XV century –



***The Annunciation to the Mother  
of God,*** Moscow, end of XVII  
century – beginning of the XVIII  
century, tempera on wood,  
111X87,80 cm., silver frame,  
Moscow 1816



***Mother of God of the  
Burning Bush,*** end of XVII  
century – beginning of the  
XVIII century, tempera on  
wood, 178,80X123,60 cm.



*The Annunciation to the Mother of God*, detail, Moscow, end of XVII century – beginning of XVIII century.



***The Annunciation to the Mother of God***, detail, Moscow,  
end of XVII century – beginning of XVIII century.





***The Nativity of Christ***, detail, Navgorod, about 1475, coming from the church of St. Nicholas in the village of Costinopol'e on the river Volkhov near Novgorod, tempera on wood, 58,50 X 43,60cm.





*Mother of God of the Burning Bush*, detail



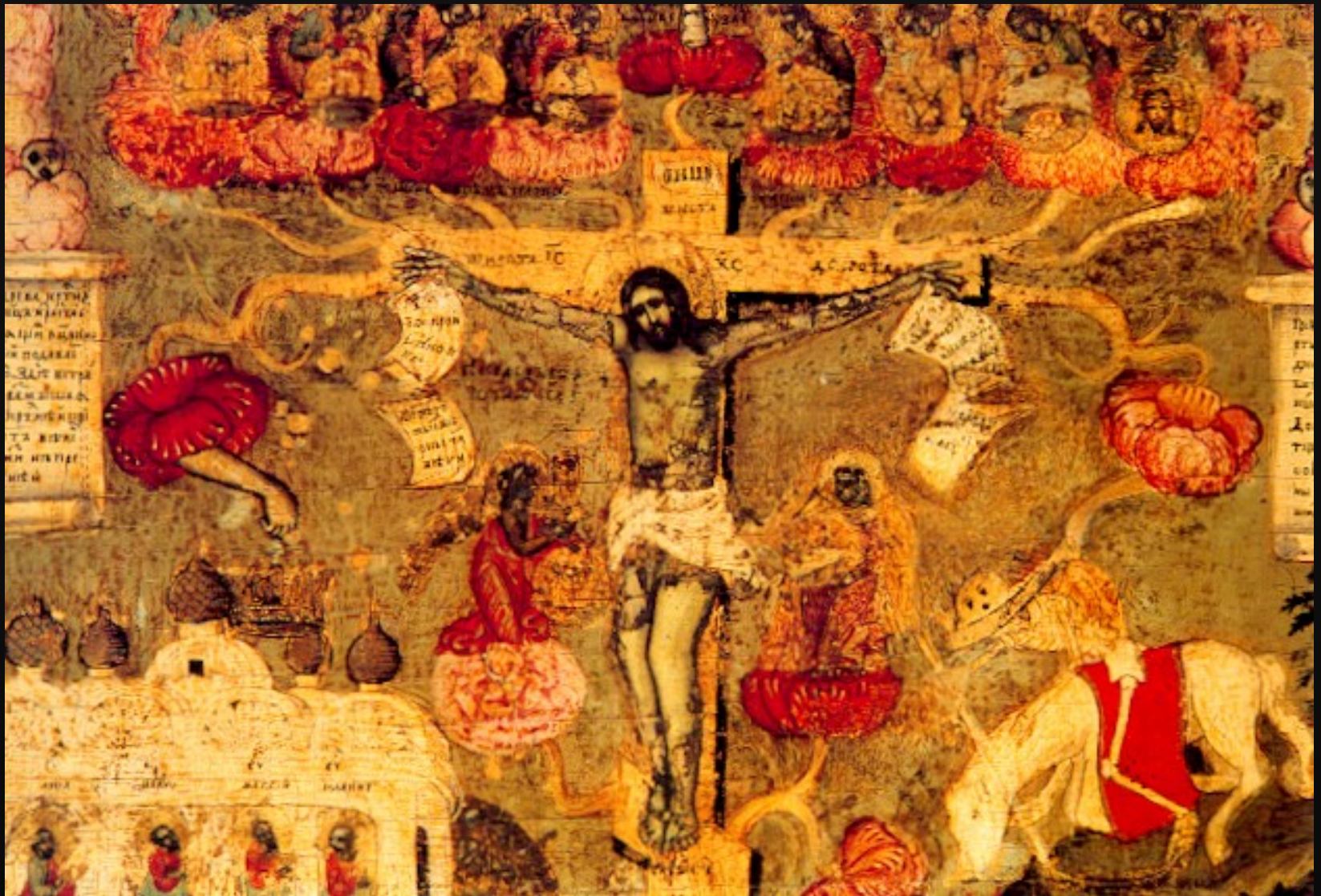


***Mother of God of the Tenderness***, detail, Novgorod, XV century, tempera on wood, 55 X 43,50 cm.



*Deesis*, end of XIX century, tempera on wood, 51 X 41,50 cm, 51,80 X 41 cm., 51 X 41,50 cm.





***Crucifixion – The Fruits of the Passion of Christ***, detail, central Russia, end of XVII century, tempera on wood, 40 X 33,90 cm.





*Miraculous Icons of the Mother of God, detail.*



***Saviour not Painted by Human Hand***, detail, central Russia, second half of XVIII century, tempera on wood, 83,90 X 71,60 cm.



***St. Nicholas to Sexton George***, provincial Russia (Rostov),  
dated 1705, tempera on wood, 142,90 X 108,50 cm.





***The last Judgement***, detail, Russia centrale, fine del XIX secolo, tempera su tavola, 107 X 85 cm.



***Covering of the icon Mother Of God of Kazan***, detail, workshop of Pavel Akimovich Ovchinnikov, Moscow, 1886, silver, gilding, filigree, photogravure, chiselling, enamels, 27 X 22,70 cm.





*Royal Doors, Moscow*, end of XVI century, tempera on wood, right  
157, 50 X 41,10 cm, left 157 X 41,60 cm





***Illustration of Iconostasis***, Central Russia, XIX century, tempera on wood, 77,20 X 61,50 c.m.



***Mother of God of Vladimir***, detail, Moscow, mid - XVIII century, silver gilding, chiseling, intaglio, glazing, 72 X 51,50 c.m.



***Descent to the Limbo***, detail, Novgorod, second half of XIII century, tempera on wood, 66 X 47,20 c.m.





## THE ICON COLLECTION

The whole of the upper floor of Palazzo Leoni Montanari is reserved for the display of a selection of Russian icons from the rich collection built up in the 1990s by the Ambroveneto, now part of the Banca Intesa. The initial nucleus of this collection came with the purchase en bloc of the considerable number of paintings once owned by a collector in the Veneto region. It was subsequently enriched with shrewd purchases on the international market designed above all to document the earliest periods of Russian painting (from the thirteenth century to the sixteenth). Examples of the highest quality can now be admired, often the twins of works held in the public museums of Moscow and Saint Petersburg.

The leading international experts who undertook a scientific study of the collection regard it as probably the most important outside Russia, and as probably the most important outside Russia, and as very significant in certain sectors even by comparison with those held in the country of origin.

The rooms display only about one-third of the nearly five hundred ancient panels making up this great collection.

The rest are kept in a repository equipped with the most sophisticated modern technology that boasts a restoration workshop and a specialized library, and constitutes a centre of studies for specialists and art lovers in general.

The icons are arranged in such a way as to underline some basic themes of the Greek Orthodox liturgy adopted by the Slav peoples after their mass conversion to Christianity at the end of the first millenium. A further aim is to convey the subtly conceptual but also highly emotional cultural connotation typical of the Russian tradition.

The primary effort is to evoke the specific liturgical environments and their particular forms. Attention is focused especially on the characteristic way the iconography of the icons is arranged as a function of prayer and worship to form the iconostasis or “screen of icons”. This serves in Orthodox churches to divide the presbytery, the sancta sanctorum reserved for sacrifice, from the hall reserved for the congregation.

The first room recalls this hieratic structure with a splendid pair of royal doors (which once provided access between the priest and the congregation) and the essential figures of an ideal iconostasis: Christ the Pantocrator, The Archangels, the Apostles and the Prophets.

Just how the iconostasis actually appeared in a Russian Orthodox church is shown at the beginning of the display by a nineteenth – century panel depicting this archetectonic-liturgical structure (as a souvenir for travellers). The themes of veneration are presented in canonical fashion.

The whole of the upper floor of Palazzo Leoni Montanari is reserved for the display of a selection of Russian icons from the rich collection built up in the 1990s by the Ambroveneto, now part of the Banca Intesa. The initial nucleus of this collection came with the purchase en bloc of the considerable number of paintings once owned by a collector in the Veneto region. It was subsequently enriched with shrewd purchases on the international market designed above all to document the earliest periods of Russian painting (from the thirteenth century to the sixteenth). Examples of the highest quality can now be admired, often the twins of works held in the public museums of Moscow and Saint Petersburg.

The leading international experts who undertook a scientific study of the collection regard it as probably the most important outside Russia, and as probably the most important outside Russia, and as very significant in certain sectors even by comparison with those held in the country of origin.

The rooms display only about one-third of the nearly five hundred ancient panels making up this great collection. The rest are kept in a repository equipped with the most sophisticated modern technology that boasts a restoration workshop and a specialized library, and constitutes a centre of studies for specialists and art lovers in general.

The royal doors (which are opened wide during the paschal liturgy to announce the Resurrection) are set at the bottom in the centre. They are customarily hung with images of the protagonists of the Annunciation (the essential moment of the Incarnation) and the four Evangelists (the historians of the events), sometimes replaced by the Doctors of the Church. Images of the Saints worshipped locally are placed to the sides of the doors at the bottom. Above we have superimposed registers showing the feasts of the annual liturgical calendar (twelve canonical feasts, but the number can vary) and then the Deesis (Christ flanked by the Virgin Mary and John the Baptist). On top of this we have the Apostles, then the Prophets, then the Patriarchs, and finally scenes from the life of Christ in the crowning cornice of small domes.

By virtue of the quality of the painting and the ornamentation of silver leaf, the royal doors presented here constitute an exquisite example of Muscovite art in the late sixteenth century. The severe Christ the Pantocrator and the flaming archangels Michael and Gabriel are fifteenth-century works from the northern provinces. It is known that the side areas of the iconostasis could include larger “back” doors, as is documented by the example from the collection depicting the Prophet Daniel.

After this initial illustration of the iconostasis, to which the icon is related in all its various forms, the visitor proceeds in a discreet penumbra along a route presenting the most significant “occasions” of the discourse through images peculiar to this mystical world.

Before we deal with this iconographic universe, there is a precious panel (and very rare document) representing the Council of Nicaea, the meeting of bishops that established the theological legitimacy of religious images. A number of “prefigurations” drawn from the Old Testament (the symbolic evocation of the Trinity in the three youths that appeared to Abraham and the stories of Elijah and the Chariot of Fire) then prepare the way for episodes from the Gospels themselves.

We begin with the feast days, which commemorate the essential events in the life of Christ and the Virgin Mary. These are distributed through the year to provide models also for everyday life. From the birth of the Virgin Mary to her death, with the Resurrection of Christ as the fulcrum, the mystery of the Incarnation and Redemption is celebrated in its significant stages in paintings that rigorously observe the canonical constraints of the iconography handed down over the centuries.



As clearly illustrated by the Menology or figured calendar that introduces this section, the liturgical calendar follows the chronological succession, the liturgical calendar follows the chronological succession of events according to the biblical texts. It begins with the Birth of the Virgin and the Annunciation/Incarnation and goes on to the various episodes in the life of Jesus (with particular emphasis on the events of the Passion, as recalled by the paschal cycle) up to the Death of the Virgin Mary (corresponding to the mid – August feast day), which brings the cycle to a close. This section opens symbolically with the face of Christ Painted by No Human Hand (connected with an ancient mediaeval tradition) and documents the various fest days of the year as described above. The icons include some of the masterpieces of the collection (exceptional both for their very early dates and for their exquisite pictorial quality), such as the thirteenth-century Descent into Hell, the Nativity from Gastinopole and the Deposition (both fifteenth-century works). There are also a number of spectacular monumental panels, including the transfiguration, the Pentecost and the Death of the virgin Mary, dating from the seventeenth and eighteenth centuries.

These initial sections already provide excellent examples of the different traditional schools of ancient Russia, based in Novgorod, Moscow, Tver, Pskov and the provincial centers in the north, as well as the different compositional formats used.

These range from simple panels depicting single episodes to works of far greater complexity, such as the Six Feasts (a fifteenth-century panel from the Novgorod school). This icon creates an expertly orchestrated symphony that combines episodes in the lives of Christ (Baptism, Resurrection and Ascension) and the Virgin Mary (birth and death) with the venerated image of two patron saints, Athanasius of Alexandria and Sergius of Radonezh. The great seventeenth – century panel of the Descent into Hell with Twenty-Six Scenes of the Passion exemplifies the extremely elaborate organisation of the more conceptual icons. The table is divided into multifunctional areas of differing hierarchical value. The central area bounded by a green line is dedicated to the crucial episode of the Resurrection, which is never depicted in the Russian tradition as an actual event but rather in terms of its immediate consequences. The successive episodes thus depicted are set below in Hell, from which the righteous are released, and above in Paradise. This block is surrounded by twenty-six small scenes illustrating the events of the Passion to forms a narrative palimpsest charged with dramatic tension. The content of the scenes is explicitly indicated in writing, as is customary in the tradition of Russian icons.

This arrangement of various episodes around a central fulcrum reappears in other conceptually complex paintings and especially the icons of patron saints, whose venerated figures in the centre are set in context, as it were, by the events of their lives or the legends associated with them.

The next stage provides something of an opportunity for reflection on the mysteries connected with Christ's act of salvation, as commemorated by the liturgical celebrations, and its consequences for mankind. Themes of theological speculation (such as the Wisdom of God) are accompanied by occasions for moral contemplation such as the Death of the Righteous Man and the Sinner or the Fruits of the Passion of Christ, and above all the apocalyptic messages contained in incredibly intricate allegories of the Last Judgement (presented in three different versions from different periods and schools). In the great scene of the Final Reckoning, Teeming with picturesque motifs, the punishments of the damned are connected to the Garden of Eden by the winding coils of the serpent of original sin, on which the various way stations are meticulously indicated with white circles marking sinners and sins, from falsehood to sloth, from just to theft, and so on.

The next section is devoted to the Virgin Mary, whose cult became widespread throughout the whole of Russia from the very outset of the conversion to Christianity promoted by Vladimir, the great prince of Kiev.

In 1131 the inhabitants of this city commissioned an icon of the Virgin from a workshop in Constantinople. This was subsequently transferred to the city of Vladimir (hence the name Our Lady of Vladimir) and then to Moscow at the end of the fourteenth century to serve as a shield against the Tartar hordes of Tamerlane. Countless copies were made of this miracle-working icon (held for many years in the Kremlin) for churches and monasteries throughout Russia. The copy in this collection, a work of the highest quality produced in Moscow in the sixteenth century, is one of the most faithful in terms of size, draftsmanship and colour.

This celebrated image of the virgin, which is of great importance for Russia in both religious and historical terms, is accompanied in the collection by another masterpiece, Our lady of Tenderness. By virtue of its subtle air of melancholy, the expressive faces and gestures of the figures, and the softness of line and colour (characteristic of the Novgorod school), this is regarded by the experts as one of the most beautiful images of the Virgin created in the period of Rublyov and Dionisy, just after the middle of the fifteenth century.

As is known, icons of the Virgin Mary followed standard iconographic formats derived from Byzantium (e.g. She who Points the Way, the Virgin Hodegetria) but adapted by the inclusion of specific local elements, almost as though to make them more familiar and accessible (e.g. Our Lady of Vladimir, of Kazan, of Tichvin, of Bogoljubovo, of Tolga).

Each of these names refers to historical figures or places that played a particularly important part in the history of the various icons and their worship. (A delightful compendium is offered by a late nineteenth-century panel on display here, which shows hundreds of them lined up one after the other like picture postcards).

One of the most characteristic allegorical-symbolic representations is Our Lady of the Burning Bush (exemplified in this collection by a monumental panel dating from the seventeenth or eighteenth century), whose elaborate geometric layout creates an eight-pointed star by superimposing two rhombuses. The Virgin is depicted in the centre within a celestial sphere, the archangels in the dark-coloured corners of the first rhombus, and the emblems of the Evangelists in the bright-red corners of the second. In the cloud-like sections connecting the points of the Virgin's star, angelic figures symbolize the natural elements and the divine will: the spirit of glory, wisdom, mercy, intellect and death. The visions of the Old Testament prophets are depicted in the corners of the panel: Moses and the burning bush (The archetype of the Virgin, hence the title of the complex iconographic work as a whole), the tree of Jesse, the inviolate city of Ezekiel and Jacob's ladder.

Alongside highly elaborate compositions constituting authentic works of exegesis, where the various symbols are accompanied by copious written explanations, there are also works of greater narrative immediacy whose compositional simplicity is equalled by their emotive impact. One of these is the Apparition of Our Lady and Saint Nicholas to the Sacristan George, painted at Rostov on the Black Sea in 1705, which depicts the Legend of Our Lady of Tichvin (one of Russia's most venerated images) connected with the monastery of the Dormition in that city. According to the legend, the Virgin indicated in person the spot where her sanctuary was to be built. Appearing in a wood, seated on a branch together with the great thaumaturge Saint Nicholas, she also gave instructions to the sacristan George that the cross surmounting the church was to be a wood rather than iron so as to recall the Passion. In a delightful setting of flowers that contrasts with the stylized rocky landscape, the good George is seen in the different attitudes adopted during this unexpected meeting, first bowed and reverent, then responsive and obedient.

The tendency to place the arcane events from which worship and devotion stem in precise times and places familiar to the faithful is characteristic of the Russian mentality.



The same approach serves to bring the severe figurative prototypes drawn from byzantine art closer to Russian sensibilities. This can also be seen in the icon of Our Lady of Bogoljubovo, a version of the venerated twelfth-century image commissioned by Prince Andrey Bogoljubski, which is still in Vladimir.

The Byzantine layout illustrates Our Lady (shown in full figure and three-quarter profile) in the act of interceding with Christ of behalf of mankind, represented by praying figures and often by donors or other saints capable of acting as mediators of divine benevolence.

Another example of this tendency to merge symbols and concepts with historical or legendary episodes of a narrative and less abstract nature is provided by the Pokrov or Protection of Our Lady. Such images are very common in Russian painting and the small section of works on display here ranges from the refined late fifteenth-century panel from Novgorod to a work from the time of Peter the Great, where the influence of post-western Renaissance painting is clearly visible.

In the Pokrov, the theme of the intercession of the Virgin is combined with the glorification of the miracle-working power of her veil, which is symbolically extended over mankind (either by Our Lady in person or by angels acting for her). This conceptual motif is, however, itself combined (generally in the lower

part of the composition) with the portrayal of prodigious events that took place in Constantinople. In the period of the emperors Leo and Thephonos and the patriarch Terasius (tenth century), the 'holly fool' Andrey had a vision of the Virgin standing with her arms raised in supplication in the palatine Church of the Blachernes. This motif of the miraculous apparition is often accompanied by an exaltation of the liturgy in the figure of Romanos the Melode (depicted on an ambo in the centre of the lower part), the author of hymns to the Virgin, upon whom the gift of song was miraculously bestowed. Tone-deaf, he had been ordered to chant on the ambo before the emperor and the patriarch. After a night of torment, the intervencion of Our Lady enabled him to perform melodiously.

The icons are indeed offer lyrical transpositions of the liturgical chants of the ancient fathers of the church, as exemplified by In You Every Creature Rejoices, where a hymn by Joyhn Damascene is translated into a radiant blooming image of the paradise originating from the Virgin theotokos, the Mother of God. This dreamlike vision framed by a semicircle of flame against a background of blue cosmic space show an Eden of trees and birds, a kingdom of light. The paradisaical hemisphere dominates all the orders of sanctity arranged in rows: prohets, apostoles, bishops and virgins grouped around the innocents slaughtered by Herod.



Such works have served to draw the attention of experts to the formal characteristics of late icons (produced from the end of the eighteenth century to modern times). These are normally dismissed as repetitive and mechanical due to a prejudice whereby only works painted in the early Russian Middle Ages (i.e. The thirteenth to fifteenth centuries, before cultural contact with the Western Europe) are regarded as true icons. The fact that later works are not displayed in Russian museums has led to their dispersion and often to irreparable loss. Organic collections such as this have fostered a radical critical reappraisal of post-classical icon production, a fuller understanding, and of course the application of different criteria with respect to the ancient icons, based on the fact that the later works are not mere copies but constitute a coherent interpretation in their own right.

The following sections present a vast and extremely varied array of examples of what is perhaps the most popular aspect of the figurative culture expressed by the icon, namely the worship and veneration of saints. Here again the links with Byzantium were direct and decisive. The first preachers who spread the faith in the Rus of the tenth and eleventh centuries drew their tales of the lives of the key figures of the early church from this spiritual heartland and worked to spread their relics and images. These were indeed often attributed such miracle-working powers as to justify the building of churches and monasteries to safeguard them adequately (as also happened for the most famous icons of Our Lady).

The cult of the saints worshipped in the Eastern Church was thus established in Russia, where the traditional iconography was also adopted: the prophets, the apostles, John the Baptist, martyrs of the early centuries such as Catherine of Alexandria (particular significance attaches to the association of her memory with Mount Sinai, the holy mountain par excellence), Demetrius of Sirmium, George and Parasheva. There was also great respect for the Fathers of the Church, Basil, John Chrysostom, Gregory nazianzus and other miracle workers, thinkers and leaders of the early Byzantine Church. Above them all stands the figure of Saint Nicholas of Myra (subsequently known also as Saint Nicholas of Bari, the city in the Italian region of Puglia associated with his tomb). Nicholas became very popular as a thaumaturge in Russia, the country that may have produced the largest number of devotional images of this saint for both public and private use. The small section dedicated to Saint Nicholas in Palazzo Leoni Montanari begins with the splendid panel Saint Nicholas and Eight Scenes from his Life, a sixteenth century icon divided into sections from the area of Vologda in northern Russia. This depicts the essential episodes of the legend of the venerated thaumaturge described in a lively fashion combined with a strong sense of synthesis visible in the portrayal of interiors, buildings and sea scenes. The more characteristically local works include a Saint Nicholas of Mozajsk, where the saint is seen holding a model of a church (or fortress) instead of the Gospels in one hand and a warlike sword in the other. This alludes to the legend that the city of Mozajsk was saved from invasion by the miraculous apparition of the saint armed with a sword, hence his role as patron saint and defender of the nation.

This is one of the examples of the “Russionizing”, of the older saints of early Christian and Byzantine origin. Some of these, like Saint Blaise and the Prophet Elijah, are indeed superimposed upon the popular religion and pagan cults existing before the arrival of Christianity. Blaise inherited attributes from Veles, the pagan god of livestock, while Elijah took over the role of Perun, god of thunder and lightning.

It is significant that the icons dedicated to these saints (and to the very popular saints Florus and Laurus) are those that contain the few realistic elements to be found in icon painting, the spread of these particular cults among the stock-breeding peoples of the steppes being indicated by the inclusion of bridled horses or sheep and cattle grazing. Examples include the Saints Modestus and Blaise, where the scene of rural life contrasts sharply with the figures of the two immobile, inflexible saints, and the refined intercessory panel of the Six Saints (another eighteenth-century work from northern Russia), which again shows the saints associated with rural activities (Blaise, Anastasia, Florus and Laurus, etc.) The lower part of this icon unusually presents a landscape with a river, grazing herds, riders galloping by, and even a glimpse of a country scene with a peasant carrying a bundle of brushwood home. The three horsemen riding through the pleasant hilly countryside are identified in writing as Pseusippos, Elasippos and Malesippos, Cappadocian martyrs and horse breeders worshiped as the patron saints of those exercising this profession.

They are often associated with the saints Florus and Laurus, Dalmatian martyrs (whose iconography bears a striking resemblance to that of the ancient Dioscuri Castor and Pollux), as documented by the large eighteenth-century panel where these strictly earthly matters are juxtaposed to a canonical evangelical representation (the Transfiguration and the Miracle of Florus and Laurus), which somehow serves to confer unchallengeable validity upon them.

The collection also contains many examples of icons in which the figures of patron saints (Parasheva, Eudocia and Catherine) are surrounded by a number of scenes. The imagination of the early iconographers was, however, such that totally different compositional schemes were also adopted, ranging from large groups of figures gathered together on purely emblematic grounds to ascetic figures standing wholly outside the rhythm and limitations of time and space (Saint Mary of Egypt and Macarius the Thaumaturge). The unity of time is totally ignored in the Beheading of John the Baptist. The setting can tend towards the fabulous (as in the allegorical images of Saint George) or serve to underline the prestige and glories of a religious sphere or mystical tradition (three Blessed Hierarchs, The Blessed Metropolitans of Moscow, The Blessed Monks Zosima and Savvatij of the Solovki, The Blessed Thaumaturges of the Monastery of Kiev).



The last section is dedicated to the extremely characteristic, precious decorations produced by craftsmen that often adorn the icons as though to underline their value as objects of worship. Despite its fairly ancient roots, this practice began to develop significantly in Russia only from the sixteenth century, reaching its peak in the later centuries right up to modern times.

Initially, a thin strip of metal (basma) was used as a sober frame for the composition. The examples on display include an Annunciation and the royal doors seen during the visit.

As time went on, the decorations (technically known as riza) became increasingly obtrusive, even to the point of covering the entire painted surface except for the faces, hands and feet (thus creating a second set of superimposed and practically extraneous garments). In the last century, this reached such a point that the icon was simply sketched out in summary fashion and the areas of bare flesh alone were painted as these would be the only things visible through the metal plates. Particular importance was assumed by the nimbus, to which a sort of separate crescent-shaped breastplate (tzata) was sometimes attached.

In addition to gold and silver, other precious materials such as pearls and enamel were also used for decoration.

About forty examples of this decoration are displayed separately in a kind of treasury. In addition to their devotional function in association with the paintings, these are also of particular importance for the history of the goldsmith's craft, since the hallmarks applied in accordance with the perspicacious legislation of Peter the Great make it possible to identify the exact place of manufacture, the period, and even the name of the craftsman involved.

**For further information please research to:**

**[www.palazzomontanari.com](http://www.palazzomontanari.com)**





# INAUGURATION DAY

**Italian**

**PR. BONSAITI**



**MENU**













Pr. C. Pirovano et F. Terzo



























## **ICON CONSERVATION MEETING**

**Palazzo Leoni Montanari**

**20-23 giugno 2001**

**Intervento del Prof. Giorgio Bonsanti**

**Docente di Storia e Tecnica del Restauro, Università di Torino**

Nella mia personale esperienza posso menzionare soltanto un'occasione nella quale mi sono trovato in rapporto con un restauro di icone, e la cito per informare anche alcuni di noi che possono non conoscere l'esistenza di questa collezione. Mi riferisco al gruppo di circa trenta icone moscovite della prima metà del Settecento, che si trovano presso la Galleria dell'Accademia di Firenze. Questa collezione venne portata a Firenze dai Lorena quando la famiglia lorenese, nella metà del Settecento, successe ai Medici, che avevano governato la città per secoli prima di quel momento. La collezione venne interamente restaurata da due restauratori privati fiorentini, Rossella Lari e Marzio Pieralli; si trattò di un intervento connesso con la nuova situazione della Galleria, che subì un completo riordinamento, inaugurato quando ero Direttore, fra il 1983 e il 1985.

Sinceramente si trattò di un intervento caratterizzato piuttosto dall'estensione (le icone vennero tutte restaurate), che non dall'approfondimento. L'apparato diagnostico era limitato, e il restauro non trovò una pubblicazione specifica. La collezione fu esposta al pubblico nella maniera in cui la si vede ancora adesso; prima di allora, era stata esposta nel Museo soltanto una volta nei primi anni del Novecento, e dopo di allora nessuno la aveva più vista. Sono poi a conoscenza che proprio in questo periodo è in atto a Livorno una mostra delle icone collezionate e conservate presso questa città, che io non ho ancora visto, ma che segnalo per quelli di voi che avessero poi la possibilità di trattenersi nel nostro Paese; e qui mi riferisco ovviamente soprattutto agli amici stranieri. Io non possiedo quindi una esperienza specifica approfondita nel campo del restauro delle icone, e mi limiterò allora ad un brevissimo riassunto di alcune delle situazioni tipiche nelle quali ci si è trovati dal punto di vista della storia del restauro nel corso dei secoli, quando si è avuto a che fare con problemi di conservazione di dipinti o comunque di opere policrome dipinte su legno.

In Italia la tradizione di pittura su tavola rimane sostanzialmente fino a tutto il secolo sedicesimo, con alcune eccezioni che come è noto si possono verificare soprattutto nel Veneto. In quella regione cominciarono a crearsi estesamente delle alternative alla pittura su tavola di legno, che invece aveva il suo caposaldo soprattutto nella città di Firenze.

Sono evidenti le ragioni di carattere climatico che hanno condotto all'utilizzo da parte di Venezia della pittura su tela anziché di quella su legno. Naturalmente Venezia aveva poi particolari possibilità di traffico con altri paesi, e ne derivava una conoscenza anticipata delle novità merceologiche rispetto a quella che se ne poteva avere in una città come Firenze. Molto interessante risulta comunque una limitata tradizione di pittura su tela, che esisteva anche nei secoli precedenti. Si trattava normalmente di dipinti che avevano due funzioni: o quella di stendardi processionali, per i quali quindi era particolarmente necessario che pesassero poco per poterli sollevare facilmente e anche che potessero essere dipinti sulle due parti, in modo che lo stendardo potesse essere visto sia dal popolo che aspettava la processione sia da quello che la seguiva; oppure di paliotti, detti anche antependi: cioè tele che venivano utilizzate in determinate festività e situazioni liturgiche, collocate in chiesa davanti agli altari.

Vasari, che conosceva bene Venezia, dove la pittura su tela si stava estendendo alla metà del Cinquecento, sottolinea la facilità di trasporto della pittura su tela, motivo che naturalmente da lì in poi ne ha favorito la diffusione, assieme al minor costo di produzione. Dell'aspetto visivo finale. Nel Settecento, nell'Ottocento, nella prima metà del secolo scorso, si interveniva metodicamente per raddrizzare i dipinti su tavola con dei sistemi che molto spesso provocavano poi nel futuro danni ancora superiori. Quello, per esempio, di insistere nell'assottigliamento; è chiaro che se il legno è più sottile si riesce più facilmente con mezzi coercitivi a riportarlo in uno stato di planarità, ma l'operazione non era poi che la preparazione per danni futuri ancora peggiori.



Se noi leggiamo ad esempio le operazioni previste nei referti e nelle relazioni di restauro di Pietro Edwards (siamo in Veneto, e cito volentieri una grande figura del restauro che ha lavorato a Venezia a fine Settecento e all'inizio dell'Ottocento, ed è morto nel 1821), vediamo come il raddrizzamento delle tavole fosse uno dei compiti principali che ci si prefiggeva quando si aveva in previsione d'intervenire su un dipinto su tavola.

Noi adesso cerchiamo di interferire meno possibile con la storia passata dell'opera e con la sua realtà attuale; abbiamo una concezione di profondo rispetto per tutto l'insieme di circostanze e di condizioni che hanno portato l'opera a presentarsi a noi oggi in una determinata situazione. La nostra filosofia è quella di intervenire il meno possibile; se lo si fa, lo si fa con una intenzione precisa, con una motivazione specifica, per rispondere a un danno particolare del quale abbiamo ravvisato l'esistenza e che costituisce in quel dell'aspetto visivo finale. Nel Settecento, nell'Ottocento, nella prima metà del secolo scorso, si interveniva metodicamente per raddrizzare i dipinti su tavola con dei sistemi che molto spesso provocavano poi nel futuro danni ancora superiori. Quello, per esempio, di insistere nell'assottigliamento; è chiaro che se il legno è più sottile si riesce più facilmente con mezzi coercitivi a riportarlo in uno stato di planarità, ma l'operazione non era poi che la preparazione per danni futuri ancora peggiori. Se noi leggiamo ad esempio le operazioni previste nei referti e nelle relazioni di restauro di Pietro Edwards (siamo in Veneto, e cito volentieri una grande figura del restauro che ha lavorato a Venezia a fine Settecento e all'inizio dell'Ottocento, ed è morto nel 1821), vediamo come il raddrizzamento delle tavole fosse uno dei compiti principali che ci si prefiggeva quando si aveva in previsione d'intervenire su un dipinto su tavola.

Noi adesso cerchiamo di interferire meno possibile con la storia passata dell'opera e con la sua realtà attuale; abbiamo una concezione di profondo rispetto per tutto l'insieme di circostanze e di condizioni che hanno portato l'opera a presentarsi a noi oggi in una determinata situazione. La nostra filosofia è quella di intervenire il meno possibile; se lo si fa, lo si fa con una intenzione precisa, con una motivazione specifica, per rispondere a un danno particolare del quale abbiamo ravvisato l'esistenza e che costituisce in quel momento la ragione precisa per la quale si ritenga di intervenire. Lavoriamo molto di più di quanto non si faceva in passato, ad esempio, a procurare le migliori condizioni di carattere ambientale. Crediamo nel controllo della luce, crediamo soprattutto nel controllo dell'umidità dell'ambiente. Possiamo intervenire a questo punto in varie maniere, sia trattando l'ambiente nel suo complesso, sia, se lo riteniamo preferibile in quell'occasione, collocando l'oggetto dentro una vetrina climatizzata della quale si sia in grado di controllare l'umidità interna. Questo è il carattere fondamentale dell'atteggiamento moderno nel porsi di fronte a questi problemi; ed è proprio, io direi, l'avere assunto questo atteggiamento che ha consentito alcuni risultati tecnici che fino a non molti anni fa sarebbero sembrati impossibili. Lo erano perché non era maturata ancora a sufficienza, non dirò la tecnica, il progresso della tecnica, ma invece quella concezione avanzata che ha fatto sì che poi si lavorasse sulla tecnica tanto da arrivare a questo genere di raggiungimenti.

Penso ad esempio alla possibilità di evitare il trasporto di dipinti su tavola anche di dimensioni molto grandi, alti a volte fino a quasi cinque metri, alluvionati nel corso della grande alluvione di Firenze del 1966. Si tratta di un'esperienza che ho vissuto molto direttamente e alla quale inevitabilmente faccio riferimento, anche perché è proprio partendo da quella che, cercando di trovare il bene nel male, sono nate tante nuove esperienze nel mondo del restauro. In questo caso specifico torno a dire, mentre alcuni trasporti vennero eseguiti negli anni subito successivi e evidentemente in quel momento non vi era altro mezzo per salvare la consistenza fisica di queste opere, in altri casi si è riusciti in seguito ad evitare i trasporti di supporto, e ad ottenere un prosciugamento naturale lentissimo, controllando con molta attenzione l'ambiente. L'umidità, misurabile addirittura ad una percentuale del 100% all'interno del manufatto, doveva esser fatta scendere a valori ottimali.

Tutto questo andava realizzato in maniera estremamente lenta e progressiva, intervenendo con operazioni molto localizzate e finalizzate al consolidamento degli strati preparatori, sorvegliando con fermature puntiformi il comportamento dei film pittorici. Due dipinti di dimensioni molto imponenti come il *Cristo al Limbo* di Agnolo Bronzino e la *Discesa dalla croce* di Francesco Salviati, tutti e due della metà del Cinquecento, sono oggi, a distanza di trentacinque anni da quell'avvenimento che li aveva visti quasi totalmente sommersi dall'acqua, in condizioni di attendere il completamento del restauro che avrà luogo entro probabilmente due o tre anni, e di essere poi ricondotti al museo della Basilica di Santa Croce dove si trovavano senza aver subito la operazione di trasporto.

Ciò ci sarebbe sembrato impossibile fino a non molto tempo fa; e del resto abbiamo un precedente molto importante e di straordinaria qualità a questo proposito di un quadro non alluvionato, l'*Incoronazione della Vergine* del Botticelli, ma che aveva sempre sofferto, come sappiamo da antiche testimonianze, di tremendi problemi di adesione fra il colore e l'antico supporto. La causa era la pessima qualità della mestica della preparazione, per cui c'erano sempre stati dei problemi di adesione per una insufficiente percentuale dei materiali adesivi nella preparazione che era sfarinata, ridotta allo stato di puro gesso. La grande *Incoronazione della Vergine* di Botticelli dipinta intorno al 1490 per la chiesa di San Marco a Firenze, che si trova oggi nella Galleria degli Uffizi, era rimasta depositata in orizzontale su dei sostegni di legno dal 1939 fino al 1985. Quando si è ripreso in mano questo problema, pur contraddicendo tutte le esperienze precedenti che sembravano prevedere soltanto il trasporto come soluzione ai problemi del singolo dipinto, si è riusciti, intervenendo con applicazioni di fermature sottovuoto, sfruttando la depressione dell'aria, a riottenere un'adesione sufficiente, che ci ha permesso di ricollocarlo in verticale nella Galleria. Un altro punto interessante che appartiene alle esperienze del restauro italiano degli ultimi quindici anni, è l'utilizzazione di un ritrovato, cui i laboratori di restauro di Firenze, riuniti sotto il nome di Opificio delle pietre dure (del quale io sono stato Soprintendente fino a poco tempo fa prima di passare all'università), sono pervenuti a mezzo di una serie di sperimentazioni. Mi riferisco a dei sistemi di protezione di un dipinto su tavola dal dietro. Essi possono rendersi utili per dipinti di grande dimensione, ma anche per altri molto più piccoli.



Detto in due parole, il concetto è questo: quando per varie ragioni non esiste la possibilità, se vogliamo anche di carattere estetico, di racchiudere tutto il dipinto dentro una vetrina a clima controllato, è comunque importante controllare il cambiamento d'ambiente del legno, soprattutto per quanto riguarda l'umidità. Allora, non avendo la possibilità di chiudere la parte frontale, per non nascondere la visibilità dell'opera, si riesce a chiuderne il retro, cioè a costruire una specie di scatola che preveda una camera d'aria, dello spessore di una decina di centimetri, che funziona come isolante. Naturalmente non sempre è facile realizzarla materialmente, quando ci sono ad esempio delle grandi cornici intagliate di cui si deve tenere conto. Si riesce generalmente a costruire una scatola chiusa di questo genere, che può anche prevedere l'inserimento, attraverso degli sportelli edificati sul fianco di questa specie di telaio, di materiali ben conosciuti come il gel di silice o altri che lo hanno più o meno sostituito come stabilizzatori delle condizioni igrometriche. Si tratta di un ritrovato che si è dimostrato molto utile. Fra le applicazioni, penso in particolare a un quadro di un pittore ferrarese del Cinquecento, il cosiddetto Ortolano, che si trova nella Galleria di Capodimonte a Napoli: una tavola alta circa tre metri, che era sempre stata in condizioni spaventose e per la quale sembrava che il trasporto fosse l'unica possibilità. Dopo le ultime operazioni di fermatura e di riadesione del colore, abbiamo visto che a distanza di oramai quindici anni dal ricollocamento, la situazione è migliorata, anche se la tavola negli ambienti museali, almeno all'inizio, non era certamente in condizioni ideali dal punto di vista idrometrico.

Il comportamento del colore è stato effettivamente eccellente e non ha dato adito ad ulteriori perdite. Gli ulteriori successi, e tenendo conto della necessità di mantenere sempre molta attenzione alla futura evoluzione delle condizioni dell'opera, hanno effettivamente incoraggiato a insistere sulla strada di un efficace minimo intervento.

Questa cautela e l'uso che è sempre preferibile, fin dove si può, di materiali tradizionali, al posto ad esempio di materiali di sintesi, deve equilibrarsi con la efficacia dell'intervento: se quel poco che si fa non serve, non bisogna fare nemmeno quello, e invece è bene attuare quel qualche cosa di più che dia effettivamente la garanzia di essere un punto di incontro al problema specifico, in funzione della situazione dell'opera. Per quanto riguarda in particolare i supporti lignei, vorrei citare un libro che è uscito recentemente, nel dicembre 1999, e che è dedicato alla tecnica e alla conservazione dei supporti; infatti non per nulla è la parte restauri inevitabilmente abbiano la loro individualità, proprio perché nascono da esigenze che sono specifiche dell'opera della quale si occupano.

Per quanto riguarda i consolidamenti, in definitiva, noi non possiamo dire se siano meglio in linea di principio quelli operati con resine acriliche oppure con sistemi più tradizionali. La conoscenza dei vantaggi e degli svantaggi dell'uno e dell'altro metodo e l'esame particolare dell'opera, ci consiglieranno quale procedimento usare in quell'occasione. Se, per esempio, non è consigliabile l'impiego di acqua, non si potranno usare certi tipi di colla animale, e così pure se risulti sconsigliabile l'impiego del calore.

Non bisogna escludere che un materiale di qualsiasi genere, quando è applicato a caldo, provochi raffreddandosi un ritiro per quanto ne concerne le dimensioni. Molto spesso si cerca di evitare imbibizioni con materiali allo stato liquido all'interno del manufatto, sostituendole fin dove è possibile con delle integrazioni operate mediante inserti in legno sul dietro; sono interventi piuttosto a carattere meccanico, che offrono la possibilità di graduare meglio l'operazione, di consentire un migliore controllo da parte del restauratore. Mi riferisco alle protezioni sul retro dei dipinti citati, in particolare le chiusure sul dietro a mezzo di inscatolamenti; ma molto più semplicemente si possono usare dei sistemi tradizionali tipici di ogni dipinto su ciò fa sì che tutti i tavola, che doveva essere protetto sul retro mediante strati di colore, dove si utilizzavano gli stessi pigmenti della pittura. Era molto usato il minio, per esempio, ma poi anche semplicemente resine naturali o cere, mentre oggi possiamo utilizzare la paraffina (perché permette naturalmente concentrazioni minori della cera, che tende ad accumularsi troppo). Altrimenti, un sistema che ha dato fin qui ottimi risultati su tavole di piccole dimensioni, soprattutto dove c'erano delle incurvature, lo abbiamo sperimentato per la prima volta su una piccola tavola di Masaccio al museo Horne a Firenze. Si tratta di occludere il dietro di una tavola con altre assi di legno essiccato artificialmente, senza incollarle, ma soltanto applicandole eventualmente con un sistema di molle, se questo è consigliabile, cosicché esse formino uno stesso sistema con il legno originale del dipinto, tanto da aumentarne l'inerzia e quindi da rendere più lenti i movimenti del legno al mutamento delle condizioni ambientali.

Del resto, le metodologie di intervento a mezzo di molle che provocano una migliore adesione, o di traverse, da porre sul dietro di un dipinto, oppure come si è visto adesso di queste piccole assi di legno che servono ad aumentare la massa e quindi la resistenza all'inerzia, sono state abbondantemente sperimentate negli ultimi anni (ne trovate ad esempio una illustrazione nel volume sopracitato). Abbiamo potuto constatare, per un accumulo di esperienze a questo proposito, che la scorrevolezza delle traverse che si adoperano comunemente nel restauro, tende a non venire incontro ai problemi specifici di un determinato dipinto, perché cambiano poi troppe cose nel tempo, rispetto al primo momento nel quale queste traverse vengono applicate. Abbiamo visto che si corre il rischio di ottenere una scorrevolezza eccessiva che non serve a sostenere il dipinto per quanto è necessario. Ma soprattutto, tenendo conto delle curvature interne dei quadri su tavola, si corre il rischio di fenomeni di bloccaggio, e di ottenere quindi un contro risultato, consistente nell'introdurre nel sistema un elemento che non si rivela utile, e che costituisce anzi un elemento di maggiore difficoltà in questo particolare equilibrio fra il fermo e il mobile che noi vogliamo ottenere nel complesso. Fra l'altro bisogna tenere conto che il movimento del legno non varia soltanto nel senso della superficie, ma anche in quello della profondità; in considerazione di ciò, si sono sperimentati dapprima sistemi che utilizzavano le molle orizzontali, quelle cosiddette a balestra. Adesso adoperiamo soprattutto molle elicoidali, o comunque ad andamento verticale, che possono servire per mantenere una adesione migliore in senso si ottiene così, anche al controllo effettuato a distanza di diversi anni, per quanto abbiamo potuto constatare, un genere di scorrimento che corrisponde ai valori che avevamo voluto impostare all'origine.



Si tratta dunque di un sistema di ancoraggi elastici con molle a elica o a spirale, che in tutto questo assumono poi un valore molto importante, anche se sono più facili da realizzare particolarmente per i quadri piccoli. All'Opificio delle pietre dure si sono compiute alcune applicazioni anche nel caso di dipinti di maggiori dimensioni, di telai perimetrali che permettono di scaricare le forze di movimento del legno su tutto il perimetro dell'opera, liberandola per quanto è possibile dalle traverse, che comunque sono sempre un elemento di appesantimento. In alcuni casi si è riusciti a mantenere libero da traverse anche un dipinto il cui supporto era formato di varie tavole verticali, proprio con un sistema che segue il perimetro del quadro e che è anche questo fissato in maniera elastica.

Un aspetto ulteriore molto rilevante nel caso di dipinti su tavola, è quello della disinfestazione, al cui riguardo non avrei da proporre esperienze specifiche dei laboratori italiani nei confronti di quelli di altri paesi. Penso che tutti stiamo lavorando secondo le stesse linee guida, che sono quelle di evitare fin che è possibile i gas altissimamente tossici come il bromuro di metile; ma anche di evitare imbibizioni con liquidi, nei quali il principio tossico sia molto elevato, dannoso certamente per gli animali che vogliamo eliminare, ma anche per l'uomo che invece deve prendersi incarico di applicare queste sostanze. Nel restauro del legno si sono adoperate numerosi preparati diversi: per decenni il più usato è stato lo xylamon, sicuramente efficace, ma con grandissime controindicazioni per quanto riguarda la tossicità che sperde anche nell'ambiente.

Da circa 10 anni si sono iniziate ad utilizzare delle sostanze tossiche per tarli e altri insetti mangiatori del legno, che usano però come veicolo di diffusione essenza di petrolio, quindi un veicolo di diffusione innocuo per quanto riguarda l'uomo, e che serve a favorire la massima diffusione all'interno del supporto. Sono le sostanze che troviamo commerciate nel nostro paese come "Permetar", ma penso che qualche cosa di analogo esista anche negli altri Paesi. Fra l'altro noi sappiamo che le imbibizioni, compiute evidentemente con particolare attenzione per evitare di procurare poi con questi trattamenti delle conseguenze visive, andando ad imbibire la preparazione ovvero mestica, sono applicazioni che risultano assai utili anche a lungo termine, e mantengono il vantaggio della durata all'interno del supporto. Per una eliminazione degli insetti xilofagi relativamente ad uno stato attuale, se si vuole interrompere cioè nella maniera più veloce ed efficace una presenza di insetti dentro il supporto ligneo, credo che si stia lavorando anche negli altri Paesi, così come si fa oggi in Italia, sui sistemi anaerobici, che consistono nel sottrarre ossigeno respirabile per il tarlo e altri insetti sostituendolo invece con un gas inerte e non respirabile, come l'azoto.

Si tratta di una metodologia che nel nostro Paese è partita soprattutto dal restauro librario e da quello di documenti e pergamene, ma si è dimostrata, con il maturare tempi, molto utile per la conservazione anche di dipinti su tavola.

Sono sperimentazioni e linee di ricerca ancora in atto, però si è visto che includendo il dipinto in un ambiente assolutamente neutro, estraendo cioè l'aria e di conseguenza togliendo integralmente l'ossigeno, ed immettendo invece al suo posto azoto, si ottiene nel periodo di un mese all'incirca, in un dipinto su tavola di dimensioni medio grandi, una eliminazione totale degli insetti aerobici che non riescono a vivere in assenza di aria.

Per finire, soltanto un accenno ai problemi relativi alla pulitura di una policromia del dipinto su tavola. Si tratta di un argomento che andrebbe sviluppato, e che richiederebbe un discorso tutto suo; però approfitto dell'occasione per sottolineare che nei laboratori di Stato di Firenze dei quali vi parlavo, e in altre realtà anche appartenenti al restauro privato che sono collegate con essi, da circa dodici anni si compiono sempre di più efficace una presenza di insetti dentro il supporto ligneo, credo che si stia lavorando anche negli altri Paesi, così come si fa oggi in Italia, sui sistemi anaerobici, che consistono nel sottrarre ossigeno respirabile per il tarlo e altri insetti sostituendolo invece con un gas inerte e non respirabile, come l'azoto. Si tratta di una metodologia che nel nostro Paese è partita soprattutto dal restauro librario e da quello di documenti e pergamene, ma si è dimostrata, con il maturare tempi, molto utile per la conservazione anche di dipinti su tavola. Sono sperimentazioni e linee di ricerca ancora in atto, però si è visto che includendo il dipinto in un ambiente assolutamente neutro, estraendo cioè l'aria e di conseguenza togliendo integralmente l'ossigeno, ed immettendo invece al suo posto azoto, si ottiene nel periodo di un mese all'incirca, in un dipinto su tavola di dimensioni medio grandi, una eliminazione totale degli insetti aerobici che non riescono a vivere in assenza di aria.



Per finire, soltanto un accenno ai problemi relativi alla pulitura di una policromia del dipinto su tavola. Si tratta di un argomento che andrebbe sviluppato, e che richiederebbe un discorso tutto suo; però approfitto dell'occasione per sottolineare che nei laboratori di Stato di Firenze dei quali vi parlavo, e in altre realtà anche appartenenti al restauro privato che sono collegate con essi, da circa dodici anni si compiono sempre di più sperimentazioni con puliture alternative. Mi riferisco a tecniche di pulitura che permettono di evitare sostanze aromatiche fortemente tossiche anche per i restauratori che le devono applicare, come lo xilolo, il toluene, la formammide (metil- o dimetilformammide), per non parlare della piridina così diffusa in passato. Tutta questa tipologia di sostanze a nostro parere può essere vantaggiosamente sostituita con altre di altra natura, e pertanto possono proporsi vantaggiosamente per mettere definitivamente in soffitta dei materiali che sono pericolosi per chi li applica, e anche, e questo è un problema assai rilevante, scarsissimamente selettivi. In questi anni si lavora soprattutto per ottenere il massimo grado possibile di selettività, per fare in modo cioè che qualsiasi sostanza si applichi sulla superficie del dipinto, serva unicamente per il risultato specifico voluto a quel momento, senza costringerci a tamponare effetti collaterali indesiderati che tendono naturalmente sempre a verificarsi. Secondo questa linea di intervento, richiamo le sperimentazioni che si stanno compiendo con i cosiddetti resin-soaps, che lavorano su base acquosa e che sono in grado di disgregare la molecole di sostanze organiche e naturali come le resine degradate normalmente adoperate all'origine per certe verniciature.

I resin-soaps si dividono in due classi, quelle degli acidi, gli ossicolidi, e quelle basiche degli abietici, ed hanno davanti a sé un futuro molto utile, per la loro assoluta innocuità nei confronti di qualsiasi altro problema che non sia la disgregazione di molecole e delle resine naturali.

Laddove si incontrino invece complicazioni di questo genere, abbiamo visto, a seguito delle nostre sperimentazioni, che possono rendersi molto utili le puliture biologiche con enzimi, divisi nelle tre classi: quelli che lavorano sui grassi (le lipasi), sugli amidi (le amilasi), e sulle proteine (le proteasi), proprio perché consentono di ottenere dei risultati molto specifici, molto mirati senza nessun effetto collaterale. Questi risultati si rendono possibili anche grazie ai “solvent-gels”, che permettono le migliori applicazioni di sostanze di questo tipo, nel senso che riescono a controllare nella maniera più completa delle miscele solventi che di per sé potrebbero avere un effetto a banda larga, mentre con il solvent-gels si riesce a ottenere risultati proprio puntiformi.

Ultima menzione per un sistema di pulitura fisica è per il Laser, che è stato ampiamente sperimentato anche nel restauro di icone: particolarmente in Grecia, nel centro di Iraclion e in altri centri come Tessalonica. I risultati delle puliture con il laser (un acronimo che sta per “Light Amplification through Stimulated Emission of Radiation”) sono stati presentati già nel primo convegno internazionale sul laser nel restauro che è stato tenuto sull’isola di Creta nel 1995. Nel settembre 2001, dopo Liverpool e Firenze, si è tenuto a Parigi il quarto di questi convegni.

In Italia la sperimentazione del laser per la pulitura dei dipinti è recentissima, però sembra molto promettente ed offrire delle possibilità molto interessanti; in questo periodo a Firenze si stanno compiendo delle sperimentazioni con un laser a Erblio, un gas che sembra particolarmente adatto rispetto ad altri ai fini delle leggerissime azioni necessarie per la pulitura di un dipinto.

Spero che questa panoramica fin troppo sintetica sia servita ad offrire un'informazione di base sulle direttrici di ricerca che si stanno seguendo nei laboratori pubblici del nostro Paese. Spero e mi auguro che ciò costituisca un incentivo perché fra i professionisti del restauro, gli addetti ai lavori, gli scambi di esperienze che fanno avanzare la ricerca si infittiscano sempre più nel futuro, traendo il massimo profitto da occasioni da accogliere con entusiasmo, come quella che ci vede riuniti qui oggi.



# WAYS OF WOOD INSECTICIDE PROCEDURE AND PROTECTION FROM ANCIENT TO CONTEMPORARY TIMES

MICHALIS MICHAELIDES  
CONSTANTINOS VEROUTIS

*If you wish to read the Greek texts, please install the  
font (Arial Greek) which you can find in the CD ROM.*

GREEK AND ENGLISH VERSION



M. Constantinos Veroutis



MENU

## Τρόποι απεντόμωσης και προστασίας του ξύλου από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα

Ξύλο, ένα υλικό που χρησιμοποιήθηκε από την πρώτη στιγμή της ύπαρξης του μέχρι σήμερα, καλύπτοντας ένα μεγάλο φάσμα εκμετάλλευσης του.

Ένα είδος εκμετάλλευσης είναι η χρησιμοποίηση του ως υπόβαθρο στη ζωγραφική που το συναντάμε από την Αρχαία Αίγυπτο μέχρι τα πορτραίτα του Φαγιούμ, στην Αρχαία Ελλάδα ως την Πομπηία και από τα Βυζαντινά Χρόνια έως τις μέρες μας.

Τα ξύλα που χρησιμοποιήθηκαν στις εικόνες είναι συνήθως πολλής καλής ποιότητας (καρυδιά, κέδρος, λάρυξ ή λαρζίνο, η δρυς και το κυπαρίσσι). Σε λαϊκές εικόνες έχουμε πεύκο και έλατο. Οι μεγάλοι ζωγράφοι εικονογραφούσαν σε παλιά ξύλα εγγυημένα για την αντοχή τους και την σκληρότητά τους. Έτσι προστατεύουν τα έργα από τους φυσικούς εχθρούς τους τερμίτες, το σαράκι, τους μύκητες.

Ας δούμε όμως τι γνωρίζουμε από την αρχαιότητα για το ξύλο και τους τρόπους αντιμετώπισης των εχθρών του. Οι αναφορές που ξέρουμε δεν μας δίνουν πληροφορίες για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που υπάρχουν από τους εχθρούς του ξύλου, αλλά μας πληροφορούν για την πρόληψη τέτοιων καταστάσεων.

Το πρώτο βασικό ζήτημα που αναδεικνύουν οι πηγές αφορά τις εποχές του χρόνου που γίνεται η υλοτόμηση.

Ο Θεόφραστος αναφέρει ότι το έλατο, το ερυθρό έλατο και το πεύκο υλοποιούνται όταν βγαίνουν οι μίσχοι των νέων κλαδιών. Ο σφένδαμος, η φτέλια, ο μελίας και η φλαμπουριά μετά τον τρύγο (τέλη Σεπτέμβρη). Η δρυς αν κοπεί κατά τους μήνες της άνοιξης είναι ευκολότερο να προσβληθεί από σκώρο, ενώ όταν κοπεί τους χειμερινούς μήνες είναι τόσο γερή και συμπαγής που καίγεται χωρίς καπνό.

Ο Ησίοδος λέει όταν τα φύλλα αρχίζουν και πέφτουν είναι καιρός να κόβονται τα δέντρα στο δάσος.



Ο Κάτωνας είπε, ότι η δρυς πρέπει να κόβεται την περίοδο του θερινού ηλιοστασίου, ενώ τα καρποφόρα δέντρα όταν οι καρποί είναι ώριμοι, ενώ εκείνα που δεν παράγουν, όποτε θέλεις.

Ένας άλλος υπολογισμός υλοτόμησης των δέντρων ήταν με τον κύκλο των φάσεων του φεγγαριού. Όλοι γνωρίζουμε για την επίδραση του φεγγαριού στα υγρά στοιχεία όπως είναι η άμπωτη και η παλίρροια. Έτσι όταν το φεγγάρι βρίσκεται στο γέμισμα του οι χυμοί των δέντρων είναι πυκνοί, πράγμα που ευνοεί την ανάπτυξη των εντόμων και επιταχύνει τη σήψη του ξύλου.

Ο αναγεννησιακός Alberti μας λέει ότι ανάλογα με τον προορισμό της ξυλείας υπήρχαν ορισμένες ημέρες υλοτόμησης. Για την κατασκευή επίπλων η ξυλεία έπρεπε να επεξεργαστεί όταν το φεγγάρι βρισκόταν στο Ζυγό ή τον Καρκίνο ενώ όταν προοριζόταν για οικοδομή στο Λέοντα ή στον Ταύρο.

Ένας άλλος τρόπος αποβολής των χυμών ήταν η χάραξη των κορμών σε βάθος ενώ το δέντρο ήταν όρθιο στο δάσος. Το άφηναν έτσι για μεγάλο χρονικό διάστημα και μετά το έκοβαν.

Ο Όμηρος αναφέρει ότι η Κίρκη οδήγησε τον Οδυσσέα «εκεί όπου πολλά φυτρώνανε πολλά ψηλά μεγάλα δέντρα, σκλήθρα και λεύκες και έλατα ουρανοκαρφωμένα, στεγνά από χρόνια, ολόξηρα φύλλα στο κύμα απάνω». Μετά την υλοτόμηση έχουμε την επεξεργασία και την προστασία των ξύλων.

Ο Θεόφραστος μας πληροφορεί ότι για να επέλθει η ξήρανση τα έθαβαν στο χώμα έτσι ώστε να στεγνώσουν κάνοντας τα ξύλα ποιο σκληρά.

Η ξήρανση έπρεπε να γίνει πάρα πολύ αργά μέχρι και τρία χρόνια σε μέρη με σταθερή θερμοκρασία και όχι με μεγάλες αυξομειώσεις.

Από τα ομηρικά χρόνια έχουμε την επάλειψη των караβιών με ένα είδος πίσσας, όπου τα προστάτευε από την υγρασία.

Στα κωνοφόρα δέντρα έκαναν σχολαστική αποφλοίωση για να μην υπάρχει περίπτωση να δημιουργηθούν φωλιές εντόμων κάτω από το φλοιό, για να προσβάλλουν το ξύλο.

Ο Κάτωνας συμβούλευε ότι έπρεπε να επαλείφονται οι κορμοί με το κατακάθι του ελαιολάδου το οποίο θεωρούσε ιδανικό για την καταπολέμηση του σκώρου και του σαρακιού.

Μια άλλη παράμετρος επιλογής ξυλείας ήταν η ποιότητα του ξύλου βάση της φυσικής του κατάστασης και των συνθηκών ανάπτυξής του.

Ο Θεόφραστος μας λέει ότι τα άγρια δέντρα δεν αντιμετωπίζουν τον κίνδυνο θανατηφόρων ασθενειών σε αντίθεση με τα καλλιεργημένα και ιδιαίτερα τα φρουτοπαραγωγικά που είναι πολύ ευαίσθητα στις κάθε είδους φυσικές ασθένειες.

Οι υλοτόμοι λάμβαναν πάντοτε υπ' όψιν τους τον τόπο που φύτεωναν τα δέντρα, τον προσανατολισμό τους όπως και το βαθμό έκθεσης τους στις καιρικές συνθήκες.

Δέντρα που ήταν εκτεθειμένα στις καιρικές συνθήκες ήταν ποιο ανθεκτικά από τα καλλιεργήσιμα και από αυτά που βρισκόταν σε κοιλάδες.

Ο Alberti μας μιλά για την αξιολόγηση της ποιότητας του κορμού όπως π.χ. η ρίζα καρυδιάς που την προόριζαν για πολυτελή τεχνουργήματα σε αντίθεση με το κεντρικό τμήμα του κορμού της που έδινε ξύλο τραχύ και ουδέτερο στην εμφάνιση.

Όλα αυτά μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι στην αρχαιότητα ήξεραν πολύ καλά το ξύλο και όλα τα προβλήματα που έχει σαν υλικό. Μπορεί να μην είχαν τα σημερινά υλικά καταπολέμησης των εχθρών του ξύλου αλλά προσπαθούσαν όσο το δυνατό γινόταν να προλάβουν ή να εμποδίσουν την ανάπτυξη τους. Μήπως θα ήταν ένας καλός συνδυασμός της γνώσης των αρχαίων με την σημερινή βιομηχανική παραγωγή, έτσι ώστε να μηδενισθούν τα προβλήματα στις μέρες μας.



Είναι γνωστό ότι οι εικόνες παρουσιάζουν ζωγραφική με την τεχνική της αυγοτέμπερας, και και χρυσώματα πάνω σε ειδικά προετοιμασμένο ξύλο. Πολύ συχνά περίτεχνα ξυλόγλυπτα και χρυσωμένα πλαίσια περιβάλλουν και συμπληρώνουν τα σεβαστά λατρευτικά αυτά αντικείμενα.

Γνωστή τώρα η προσεκτική προεργασία τους άρχιζε από την επιλογή του ξύλου που αφορούσε στο είδος του δένδρου, στο τμήμα του κορμού και την κατάλληλη εποχή της κοπής του.

Βέβαια την επιλεκτική αυτή δυνατότητα είχαν, όπως μαρτυρείται από σημαντικά δείγματα εικόνων και γραπτές μαρτυρίες τα μεγάλα μεταβυζαντινά εργαστήρια κυρίως της Κρήτης.



Μεγάλος όμως αριθμός μεταβυζαντινών εικόνων που συντηρήθηκαν από το εργαστήριό μας ανήκουν σε φτωχότερα ή και τοπικά εργαστήρια των όψιμων εποχών με μειωμένες τις δυνατότητες επιλογής καλού και καλά επεξεργασμένου ξύλου. Τα ξύλα που χρησιμοποιήθηκαν περοέρχονταν συχνά από παλαιότερα έπιπλα, κασέλες ή και ξύλινες επενδύσεις οροφής ή τοίχων κατοικιών. Στις καλύτερες περιπτώσεις είναι ξύλα από είδος κέδρου, πεύκου και κυπαρισσιού.

Το ίδιο ισχνές υπήρξαν και οι δυνατότητες καλής επεξεργασίας του ξύλου που αντιμετωπιζόταν σπανιότερα και σύμφωνα πάντοτε με τα περιορισμένα μέσα και τις μικρότερες απαιτήσεις της εποχής.

Την έλλειψη αυτή αντιμετώπιζαν οι τεχνίτες με άλλα μέσα που συχνά λειτουργούσαν σε βάρος του έργου.





Παρατηρούνται λοιπόν στην προετοιμασία του ξύλου περισσότεροι μεταλλικοί σύνδεσμοι, συμπληρωματικά τμήματα διαφορετικού ξύλου για την επούλωση και αποκατάσταση φθορών από ξυλοφάγα έντομα, όπως και συμπληρώματα και στοκαρίσματα με συνδετικά υλικά από ζωϊκές κόλλες.

Ο χρόνος, οι δυσμενείς και ιδιόμορφες κλιματολογικές συνθήκες και οι άστοχες παλιότερες επεμβάσεις αποτελούν τα κυριότερα αίτια των σοβαρών προβλημάτων του υλευπαθούς ζωγραφικού είδους των φορητών εικόνων που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι συντηρητές.



Η παρούσα αναφορά έχει ως θέμα τις εμπειρίες μας που σχετίζονται με το ξύλινο υποστήριγμα των εικόνων: Αφορά παλαιότερες επεμβάσεις στερέωσης και απεντόμωσης, μεθόδους και υλικά που χρησιμοποιήθηκαν κατά καιρούς από ανειδίκευτους καθώς και σύγχρονες μεθόδους απεντόμωσης και στερέωσης του ξύλου.



Οι κλιματολογικές συνθήκες ευνόησαν την ανάπτυξη μικροοργανισμών και ξυλοφάγων εντόμων, την αποίκιση και τον πολλαπλασιασμό τους.

Τρεφόμενα από τα συστατικά των οργανικών ουσιών κυριολεκτικά εξαφάνιζαν ολόκληρα τμήματα του ξύλου, του λινού και κατά συνέπεια της ζωγραφικής. Αυτό συνέβαινε σε ξύλα από δεύτερη χρήση, τα οποία δεν είχαν υποστεί την κατάλληλη επεξεργασία (όπως ξήρανση, επιλογή είδους και τμήματος ξύλου, κοπή στην κατάλληλη εποχή, κ.α.).



Σε εποχές που η αρχαιολογική υπηρεσία δεν ήταν οργανωμένη και η επιστήμη στη συντήρηση ήταν ανύπαρκτη, οι σωστικές προσπάθειες και η διάθεση εξωραϊσμού ώθησαν την εκκλησία (ιερείς, λαϊκούς, κ.τ.λ.) να αναθέσουν σε μη ειδικευμένους τεχνίτες, όπως ξυλουργούς (στην καλύτερη περίπτωση αγιογράφους) την συντήρηση των εικόνων, οι οποίοι χρησιμοποιούσαν ακτάλληλα υλικά και πρόχειρες μεθόδους.



## ΑΠΕΝΤΟΜΩΣΗ

Λιγοστά ήταν τα μέσα και τα υλικά για την απεντόμωση των ξύλων. Σπάνια φορητές εικόνες απέφυγαν την επικάλυψη του ξύλινου υποστηρίγματος με επάλληλα στρώματα λαδομπογιάς, αφενός για λόγους καθαριότητας και ευπρεπισμού (κάλυψη φθορών) και αφερέρου για προστασία από την προσβολή των εντόμων.

Ευρύτατα διαδεδομένη από το 19ο αιώνα ήταν η χρήση θειαφιού όχι μόνο για τα μικρά έντομα, αλλά και με εφαρμογές στην εξόντωση όλων των εντόμων και των μικρών ερπετών (σκορπιοί, φίδια, σαύρες) το οποίο έκαιγαν μέσα σε κλειστό χώρο.

Το ίδιο γινόταν με τα προσβεβλημένα ξύλινα έργα τέχνης όπως εικόνες και τέμπλα. Αργότερα χρησιμοποιήθηκε ευρέως για την απεντόμωση, εκτός από το θειάφι, το πετρέλαιο – που θεωρήθηκε καταλληλότερο και αποτελεσματικότερο- η εφαρμογή του οποίου γινόταν με εμποτισμό, σε οικιακά έπιπλα, ξύλινα δάπεδα και βέβαια σε εικόνες, ξυλόγλυπτες επιφάνειες, τέμπλα, κ.λ.π.

Στη δεκαετία του 1950, η εταιρία πετρελαίου Shell εισήγαγε στην αγορά μια σειρά εντομοκτόνων όπως το D.D.T που περιείχαν την τοξική χημική ουσία ντιελντρίνη που ήταν παράγωγο του πετρελαίου, διαλυτή σε ελαφρείς διαλύτες π.χ. white spirit. Χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα εκτός από τις αγροτικές καλλιέργειες και ως απεντομωτικό σε ξύλινες επιφάνειες προσβεβλημένες από ξυλοφάγα έντομα με τη μέθοδο του ψεκασμού.

Αργότερα κατά τη δεκαετία του 1960, κυκλοφόρησε στην αγορά το χημικό προϊόν XYLAMON, το οποίο χρησιμοποιήθηκε κατά κόρον μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του '80, με εμποτισμό, επάλειψη και ενέσιμο τρόπο στις οπές. Η χρήση του εγκαταλείφθηκε λόγω της εξαιρετικής του τοξικότητας που προκάλεσε προβλήματα υγείας στους χρήστες.

Από τη δεκαετία του '80 επίσης εισήχθη και η μέθοδος των αερίων για την απεντόμωση. Τέτοιους θαλάμους απεντόμωσης διαθέτουν ελάχιστα εργαστήρια συντήρησης στην Ελλάδα. Η έλλειψη κατάλληλης υποδομής αναγκάζει τα εργαστήρια να καλούν ειδικές εταιρείες που αναλαμβάνουν την απεντόμωση συνόλων έργων τέχνης (εικόνες, τέμπλα, κ.λ.π.).

Σήμερα χρησιμοποιούμε λιγότερο απεντομωτικά όπως το XYLACTEL, το οποίο αναμιγνύουμε σε διάλυμα Paraloid B72 σε ακετόνη.

# ΣΤΕΡΕΩΣΗ ΞΥΛΟΥ

Τα μεγαλύτερα προβλήματα για τη στερέωση του ξύλου σήμερα προκύπτουν από τις ευρεσιτεχνίες των παλαιών ανειδίκευτων «συντηρητικών».

Αφαιρούσαν τα σαθρά τμήματα και συμπλήρωναν τα κενά των φθορών με ποικίλα ετερόκλητα υλικά. Συχνά συναντάμε στόκους (σιδηρόστοκους), υφάσματα κ.α. Εμβάπτιζαν τα ξύλα με ρετσίνα, όπως καρνάουμπα, ρετσίνα πεύκου, και κεριά. Στην καλύτερη περίπτωση συναντάμε συμπληρώσεις με ευτελή ξύλα που προέρχονται από παλιά έπιπλα, πόρτες, πατώματα, κ.α., τα οποία στήριζαν άτεχνα με μεγάλα καρφιά που λειτουργούσαν εις βάρος του έργου. Άλλοτε κατασκεύαζαν και καινούργια τρέσσα από τέτοια ξύλα που τα στήριζαν με τον ίδιο κακότεχο τρόπο. Συχνά, η αδυναμία συντήρησης του ξύλινου υποστηρίγματος, τους οδηγούσε στην κατασκευή κορνίζας όπου εγκλώβιζαν το έργο με καταστροφικές συνέπειες για τη ζωγραφική.

Για την ενίσχυση και τη στερέωση του ξύλου διαδεδομένο υλικό ήταν η γομαλάκα σε διάλυση φωτιστικού οينوπνεύματος. Γνωστές ήταν οι εφαρμογές της γομαλάκας από πολύ παλιά στα βερνικώματα των ξύλων. Το ίδιο υλικό σε μεγάλη συγκέντρωση χρησιμοποιούσαν με εμποτισμούς για τη στερέωση του ξύλινου φορέα των εικόνων.





Σήμερα για τη στερέωση των ξύλων και όταν δεν παρουσιάζουν έντονη σαθρότητα, προτιμάται η μέθοδος του εμποτισμού με διαλύματα, με επαναλαμβανόμενες επαλείψεις με πινέλο και κατά τόπους εάν θεωρηθεί απαραίτητο με ενέσιμο τρόπο.

Στις περιπτώσεις που συναντώνται ιδιαίτερα σαθροποιημένα ξύλα γίνεται εμβάπτιση σε αβαθή δοχεία σε διάλυμα Paraloid B72 σε ακετόνη ή τριχλωροαιθάνιο με αρχική συγκέντρωση 3% κ.ο. με σταδιακή αύξησή της που φτάνει τα 6%. Εάν κριθεί απαραίτητο προηγείται του εμβάπτισμού η εξυγίανση του ξύλου με την αφαίρεση των σαθρών τμημάτων του. Τα κενά των φθορών του ξύλινου υποστρώματος συμπληρώνονται με λεπτές ράβδους από ξύλο μαλακό τετράγωνης διατομής (παρκετάζ).

# WAYS OF WOOD INSECTICIDE PROCEDURE AND PROTECTION

## FROM ANCIENT TO CONTEMPORARY TIMES

Maria and Michalis Michaelides  
Kostas Veroutis

Wood is a material which has been used continuously till today in many different ways. Especially in painting, wood is a material widely used from ancient Egypt and Greece to the Fayum portraits and Pompey as well as from Byzantine to contemporary times.

For icons, wood of high quality has been used, such as chestnut, cedar, oak and cypress trees. Popular icons are made of pine and fir trees. Great painters used old hard wood, in order to make icons that would last against the attacks of their natural enemies, such as termites, dry rot, fungus, reassuring their endurance through times.

There are no written reports on ways all wood painters were dealing with problems due to wood natural enemies, but only on the way of preventing wood destruction. Basically the sources refer to the time of the year when wood-cut is best to take place.

Theophrastos mentions that fir, red fir and pine tree should be cut when the stems of the new twigs appear; maple, elm and ash-tree should be cut just after the grape collection, at the end of September; if oak is cut during spring time it is easier to be infected by dry rot, but if it is cut during winter time it is so strong and solid that can be burned without letting off any smoke.

Hesiodos says that trees should be cut when they start losing their leaves. Caton supports that oak should be cut during summer time. Fruit bearing trees should be cut when the fruit is ripe, while fruitless trees could be cut at any time.

The moon phases cycle was another way of calculating the best time for tree cutting. Everybody is aware of the moon impact on liquid elements, for example on tide in and out. During moon filling, the tree juice is thick and as a result bugs appear, and wood corruption accelerates.

Renaissance Alberti talks about certain suitable days for wood cutting according to its future use. Wood for furniture making should be cut and worked when the moon is in Libra or Cancer, while wood for building purposes when the moon is in Leo or Taurus.

Another way of shedding the tree juices was the deep gash of trunk while the tree was still in the forest. The tree was left gashed for quite long and then it was cut down. The same is mentioned by Homer, when Kirk led Ulysses to a place where a whole forest of very high trees were standing dried up.

Another parameter for wood selection was its quality sustained by its growing up conditions. According to Theophrastos, wild trees aren't prone to deadly diseases compared to cultivated ones, especially those producing fruit, which are very sensitive to every kind of natural diseases.

Tree cutters always took into account the way trees were growing, their orientation and the degree of their exposure to weather conditions. Trees exposed to rough weather conditions are tougher than planted ones or these growing in valleys.

Alberti talks about trunk quality evaluation, for example the chestnut root was designated for luxurious art-craft, while the central piece of its trunk was rough with neutral appearance.

Finally, after tree cutting, wood elaboration and protection procedures follow. Theophrastos informs us that tree trunks were buried in order to dry up and harden. Drying up could last up to three years and tree trunks were kept in places of steady temperatures.

In Homeric times people used to cover ships with a kind of tar that protected them from humidity. Coniferous trees were thoroughly stripped off in order insects to be prevented from living under the tree-trunk and destroy the wood.

Caton's advice was trunks to be covered with oil remains that was considered ideal against dry rot.

In Byzantine times wood is broadly used as setting from the painting of the icons. It is known that the icons are related with painting of the egg-color technique and goldenness upon especially prepared pieces of wood. Very often wood-carved and gold-made decorations frame and complement these holy articles.





The careful icon preparation as we know started from the selection of the wood piece and its quality depended upon the kind of the tree, the part of the tree trunk and the proper time for the tree-cutting.

It is sure that only the big meta-Byzantine laboratories, mainly in Crete, has the full potential for the right selection of wood, as we may see from both the observation of important icons and the study of written sources.



However, a big number of meta-Byzantine icons that we have done conservation works on our laboratory come from poorer or local labs of late times in Cyclades. These labs had insufficient abilities for choosing good and well-prepared wood. They usually used parts of wooden furniture, wooden boxes, or even wooden roofs and walls. In some cases, the best ones, this wood came from cedar, pine or cypress trees.

The same poor conditions applied to wood preparation and elaboration as well. These labs used limited means and ways according to their times.

Thus the workers had to face this lack using other ways and means that very often acted against the artwork.

So, we may observe in the wood preparation more metal links or pieces of different type of wood, that they were attached to fill in damaged areas of the first wood piece, as well as we may see different parts of fillings and stucco with materials made from animal glue.

Conservators have to face a number of problems when they work with this sensitive mode of painting in mobile icons, problems that mostly are related to the time, the bad and peculiar climate conditions and the unsuccessful previous conservation operations.

The present report's subject is our experience on the conservation of the wooden parts of icons: we are going to talk about older attempts to consolidate and free the wood from insects, methods and materials used in different times from unskilled workers, and the compensation of the damages caused and, finally, contemporary methods for the insecticide procedure and the consolidation of the wood.



The climate conditions made easy for wood- eating insects and other micro-organisms to be situated, developed and reproduced in the wooden parts of the icons. These organisms, eating the organic substances, managed to even disappear large parts of wood and linen parts of the works, and consequently, parts of the painting work. This often happened when icons were painted in second hand pieces of wood, that they never had been through proper elaboration and preparation (such as selection of wood and wood part, correct time for their cutting, drying up, etc) to be used as the settings of icons.



In older days, when the archaeological department of the ministry of culture was not fully organized and the conservation science was in the very beginning, the church (priests and seculars), for saving, protect or even beautify the icons, commissioned individuals were not trained or skilled in this particular kind of work and they usually worked in what was thought as “similar” jobs, being for example carpenters, or, in some fortunate cases, hagiographers.



Following this, it is reasonable the use of inappropriate materials and inadequate methods for the conservation of the icons.



## Insecticide procedure



For the insecticide procedure of wood the means and the materials were very few.

It is very rare that icons avoided the coating of their wooden parts with oil paint in many layers the one after the other. This was done on the one hand because they wanted to clean the icons and cover their damages, and on the other hand because this was a way of protecting the icons from the insect attacks.

In 19th century the burning of sulphur in closed up rooms was widely known, with applications to the extermination not only of the small insects but of all insects and small reptiles too, such as scorpions, snakes and lizards. The same technique was used for the insect infected wooden art works, such as icons and temples.



Later, except from sulphur, petroleum started to be widely used, as the latter was considered more appropriate and effective. Petroleum was used in home furniture, wooden floors, and of course on icons, wood-carved surfaces, temples, etc. by infusing or rubbing the wood.

In 50's the oil company Shell introduced to the market a new series of insecticides, like DDT, containing a toxic chemical substance called Dieldrine, a petroleum product dissolvable in light solvents, for example white spirit. It was widely used in agriculture, but they also sprayed with it insect-infected wood pieces.

Later, in 60's, the chemical product XYLAMON was introduced to the market. Until the mid 80's was very much and widely used, using the techniques of soaking, coating or injection in the holes of the damaged wood. It was abandoned because it was highly toxic and caused health problems to the people who sued it. Since 80's the gas used method was also introduced. There are only a few labs in Greece that owe these special gas cabins for insecticide procedure. The lack of appropriate equipment forces the labs to call expert companies who undertake the insecticide of groups of art works such as icons, temples etc.

Nowadays we use less toxic substances for wood insecticide, like XYLACTEL, that is used dissolved in solution of Paraloid B72 in acetone.

# Wood consolidation

The biggest problems in wood consolidation of icons today come from the earlier attempts and “patents” of the old, non-specialized “conservators”.

They used to remove the damaged parts of the wood and to fill the gaps with various and different materials. We may see stucco or iron-stucco and clothe. They soaked or coated the wood with resins, such as karnauba, pin-resin, and waxes. In some fortunate cases we see fillings with poor-quality wood coming from old furniture, doors, floors and the similar, which they were attached with big nails. This kind of patents proved rather a burden to the artwork than a successful solution for wood consolidation. Some other times they composed even new tressa from this kind of wood and they nailed them in the same poor way to the back of the wood. It is also often, when the conservation of the wooden part was impossible with the means of that time, to construct frames of different materials, which created a micro-climate in which the artwork and the painting was damaged.

For the enforcement and the consolidation of the wood a widely used material was shellac in lightening alcohol solution. Shellac applications were known from the very old time on the wood varnishes. The same material in higher concentration was used for wood consolidation infusing it in the damaged areas of the icons.



Nowadays for wood consolidation and when the pieces of wood do not present extreme damages, we prefer to use the method of infusion with solutions, the repeating surface treatment with paint-brushes, and if it is considered as necessary, the injection of solutions at certain limited areas.

In cases where we have extremely damaged wood, we proceed to the soaking of the wood in shallow containers with Paraloid B72 in acetone or trichloroethane with starting concentration of 3% and gradual increase up to 6%. In the case of wood-carved temples, we prefer the solution of Paraloid B67 in white spirit. Sometimes and if it is necessary, before the soaking in the solution we remove the damaged parts of the wood. The gaps created by the removal of the damaged parts, are filled with pieces of wood (parcetage).

At the end of this paper, I would like to express the confidence that the development in conservation sciences, the use of old and new materials and the exchange of experience among conservation related experts will support further conservation procedures for both the works of art and the conservators.

## **BIBLIOGRAPHY**

Plinio, Naturalis Historia

Theophrastos, Historia Plantarum

Caton, De Agricultura

Alberti, De Re Aedificatoria

Papadouris Glaykos, The use of wood in building tradition as it is inherited from antiquity to the middle ages.





# **WOOD WORMS AGAINST ICONS: METHODS OF CONSOLIDATION**

**DR. YURI BOBROV**

**(English)**

# Wood worms against Icons: methods of consolidation.

Dr. Yuri Bobrov, 2001

Knut Nikolaous writes in his recently published book: “ The consolidation of wooden supports was an unsolved for centuries in the picture restoration field and it is only in recent times that suitable consolation have been developed”. We know all our enemies by faces: larvae, wood worms, insects and fungi, - they bring well known damages to icons, like a network of tunnels bored through wood, loss of volume and strength as well as discoloration of wood due to the chemical decomposition of cellulose. In addition to all that, there are cracks, gaps of wood, loosening of wooden boards.

Conversations in all countries during centuries meet these sorts of cases. To be truthful, I have to notice that this type of damages of wooden supports is not so frequently met in Russian icon painting compared with other countries. Since Middle Ages in Russian recipe manuscripts (podlinniky) one may find just two recommendations: to penetrate rotten and worm-riddles wood of an icon support with hot animal glue or with hot linseed oil. In this point there is no difference with common European tradition. Thin glue solutions penetrate biologically damaged wood well through cavities and tunnels and obtain reasonable consolidation results. However, this method makes wood expand and deform.

In the recipes since 18-th century we read recommendations to impregnate damages wood with hot linseed oil. There are many cases when oil was used together with resin admixtures, like colophonium, and thinning agents like turpentine. Linseed oil penetrates deep into wood. It bonds the wood dust to a gum-like consistency, but does not consolidate particles.

Both glue and oil are not able to penetrate wood completely from a surface to a bottom. Moreover, penetrated parts expand. After treatment wood structure gets inner strains and warp. Due to it new cracks appear.

Another popular resin (colophon, dammar or mastics). This consolidator was used in a process in which the panel was either laid in hot wax melts or hot wax-resin mixture thinned with turpentine was applied by brush. Wax-resin method replaced the 19-th century oil penetration in early 1900. It is not anymore in use as consolidation for bored wood. It is used as hydrophobic protective coating applying to a reverse side of an icon. Actual proportion is about 60% wax and 40% resin in turpentine. Wax/resin mixtures bound with certain pigments of sawdust has been used also as a filling material to fill gaps of wood support.

The effects of wax/resin immersion are pretty negative: it changes color of wood, ground and paint layer in a course of migration, destroys areas of gilding, attracts dirt, and does not resist hitting. Finally, experiments have shown that the stabilizing effect of beeswax on degraded wood is minimal. In contrast to what has been taught in the past, Knut Nikolaus says, wood impregnated with beeswax or paraffin absorbs far more moisture and expands more that untreated wood.

This might make shocked many conservators if they only knew about that. This is presumably explained by the fact that the contracts as it dries in the frass galleries, which means that the fine cavities are formed between the cell wall and the wax act as capillary network for outside moisture.

Like everywhere in the world 30-40 years ago natural materials, are described above, were the only suitable materials available for the consolidation in this sort of damages. The qualities demanded for the consolidant are as follows: 1. The material should not change color, texture of the object, must be non-colored, light resistant and mat; 2. Must be mechanically strong and waterproof; must keep its characteristics in the environment between  $-50$  and  $+80$  degree; C. treated surface should be easily cleaned and does not collect dirt; material must be reversible, less toxic and not complicated in application.

One of the earliest in new generation of consolidator introduced in conservation practice is the material based on acrylic resin –polybutyl metacrylate (PMBA) solved in xylem (as well as in toluene or acetone). Initially, PMBA has been used in situ by Hermitage conservators for consolidation Middle Asian (Pyangikent) mural painting on loess grounds in 1960-th.<sup>1</sup> Then the method was developed for consolidation biologically damaged icon supports. By the impregnation of the acrylic polymer through capillary network the whole damaged wood can be consolidated. Optimal concentration is about 10-20%. This brings about 15-35% of polymer into cellulose structures what is enough for strengthening of damaged wood. Negative result, we can say “on beside”, is that wood gets glossy and heavier. In a time it gets darker either.



During next decade in 1970-th have been done some research programs in this field. Yuri Ruzavin and Anna Ivanova from Central Conservation Institute (VNIR) have examined different polymer resins. They developed poly-ureic resin (polyurethane) UR-19 as a consolidate <sup>2</sup> for loess paintings and bored and fungi damaged wood.

The main goal of any penetration is: to reach maximum deepness of impregnation and distribution of consolidating adhesive. Otherwise, dried consolidate causes new breaks and damages. Differences in the strength of layers inevitably make new deformations. Researchers compared during experiments several selected resins like epoxy, polyether, polyether acrylic, PMBA, Paraloid B72, poly ureic UR 19. All these resins solved in acetone or xylene have low viscosity and get dried on air at the temperature about 15-25 C. Even preliminary experiments shown that epoxy, polyether and polyether acrylic resins are not able to give positive results because of their technical and aesthetic features. Ruzavin from Central Conservation Institute has chosen poly ureic resin UR 19. This resin is slightly yellowish liquid of 70% concentration with viscosity 35-50 seconds in 20 C temperatures. It needs 20-% of drying (hardening) component as catalizator. The 30% consolidate solved in xylem has high adhesion, water resist and keeps qualities while being heated up to 100 C. The best penetration of samples was achieved by application 27-35% pure resin UR19 without catalizator in a bath during period about one week. Comparison with samples treated with PMBA shows advantages of poly ureic resin which points are deeper penetration, better evenness. Impregnated samples get in 2-3 times harder after drying.

That time it seemed that the problem is solved. But experiments provided in Russian museum by head of chemical department Michael Nikitin in 1980-th have shown that in a course of time acrylic resins cause destruction of the polymer itself as well as its compositions. Wood consolidated with poly ureic resin UR 19, which completely penetrates entire volume of wood, becomes brittle and fragile.

Moreover, the resin migrates to the surface of the wood panel, what provokes micro cracks as the result of contraction. Both epoxy and poly ureic resins bring a darkening effect of wood. Poly butyl metacrylate (PBMA) does not penetrate damaged wood deeply what makes a layer of high concentration at zones near to a surface. Nikitin recommends using monomers like methylmetacrylate, but it is volatile and toxic, what makes some restrictions for this method.

During decades some icons have been treated mainly with PMBA. All results are not satisfied. This deadlock situation forced the search for new materials. In 1980-th chemists and conservator of Grabar Conservation Center and polymer Institute as a result of cooperative research project offered to use synthetic latex consolidates for damaged wood supports and polychrome sculptures. I. Sumarokova and V. Urchenko examined water soluble vinyl chloride materials. <sup>3</sup> They examined 1. Copolymer vinyl chloride and vinyl iden chloride (VH and VHVD 65A), 2. Copolymer vinyl chloride and butyl acrylate (VHVD 40). 3. Copolymer vinyl chloride, vinyl iden chloride and butyl acrylate (VHVD 40). All these materials are water DISPERSIONS AND HAVE WHITE OR SLIGHTLY PINKISH-HELLOWISH COLOR. They are much less toxic, not flammable compared with resins in organic solvents.

All these variations of vinyl chloride consolidates shown some advantages in comparison with polyvinyl acetates (PVA) but only in cases for consolidation of pure wood. In cases when an object has any paint layers with pigments those consolidates change the color of painting.

Few years ago in 1997 at the Conservation Department of the St. Petersburg Art College Irma Yarigina have done some experiments in cooperation with M. Nikitin from Russian museum. It was case of consolidation of the wooden pediment decorated with painting on glutine medium from the farm wooden house. Initially restructured wood was tested with acrylic resins (PMVA NV), polyvinyl butyral, polyvinyl alcohol, casein and sturgeon glue. (4) Undergone tests shown that acrylic polymers do not penetrate restructured wood deep, change tone of paint layer. Polyvinyl butyral leaves thin plastic film on the treated surface after impregnation, which gets brittle after a while. Then the 1% water solution of methylcellulose was applied as consolidator. It penetrates wood structure as deep as 2-3 millimeters and consolidates wood, ground and paint layer without any visible changes of the surface. For further consolidation and for preparing filling ground it was used same material in 5% concentration. For final consolidation and atmospheric moisture protection was used 1-2% xylol-ethanol solvent of poly methyl phenyl siloxane oligomer (organic silicic 1500). It was applied by brush and forced to move deeper off the surface by alcohol-xylol. Conservation with this combination of methyl cellulose and silicon organic material (KOC) has shown positive effect. It made the fragment resistant to the ultra-violet aging as well as to humidity and outdoor environment.

Aqueous cellulose glues, such as methyl cellulose or carboxymethyl cellulose, came onto the usage in 1931, but were not suitable for wood consolidation on account of their expansion. From about 1950 artificial resin glues replaced glut line. Polyvinyl alcohol, polyvinyl acetates, polyvinyl methyl ethers, poly acrylic acids, polyvinyl chloride and poly acrylic esters, all dissolved in dispersions or emulsions, came onto the market..

The common disadvantage of aqueous consolidates is that water causes expansion inside the support. Cellulose ester begins to dry, forming impermeable layer, which stops water vapor.

There is another problem in Icon conservation, which frequently occurs. Pretty many icons became concave in a course of time. Sometimes we meet extremely difficult cases when an icon looks like a bow or like even three-four bows in one set: when each board of the panel shrunk in its own way. Such bad appearance makes displaying of an item impossible. Furthermore, this type of deformation leads to deterioration of a painting. Conservators from time to time do attempts to develop method of flattening of concave icon supports. One of them was conservator of National museum in Stockholm Boris Titov – Russian restore in exile.

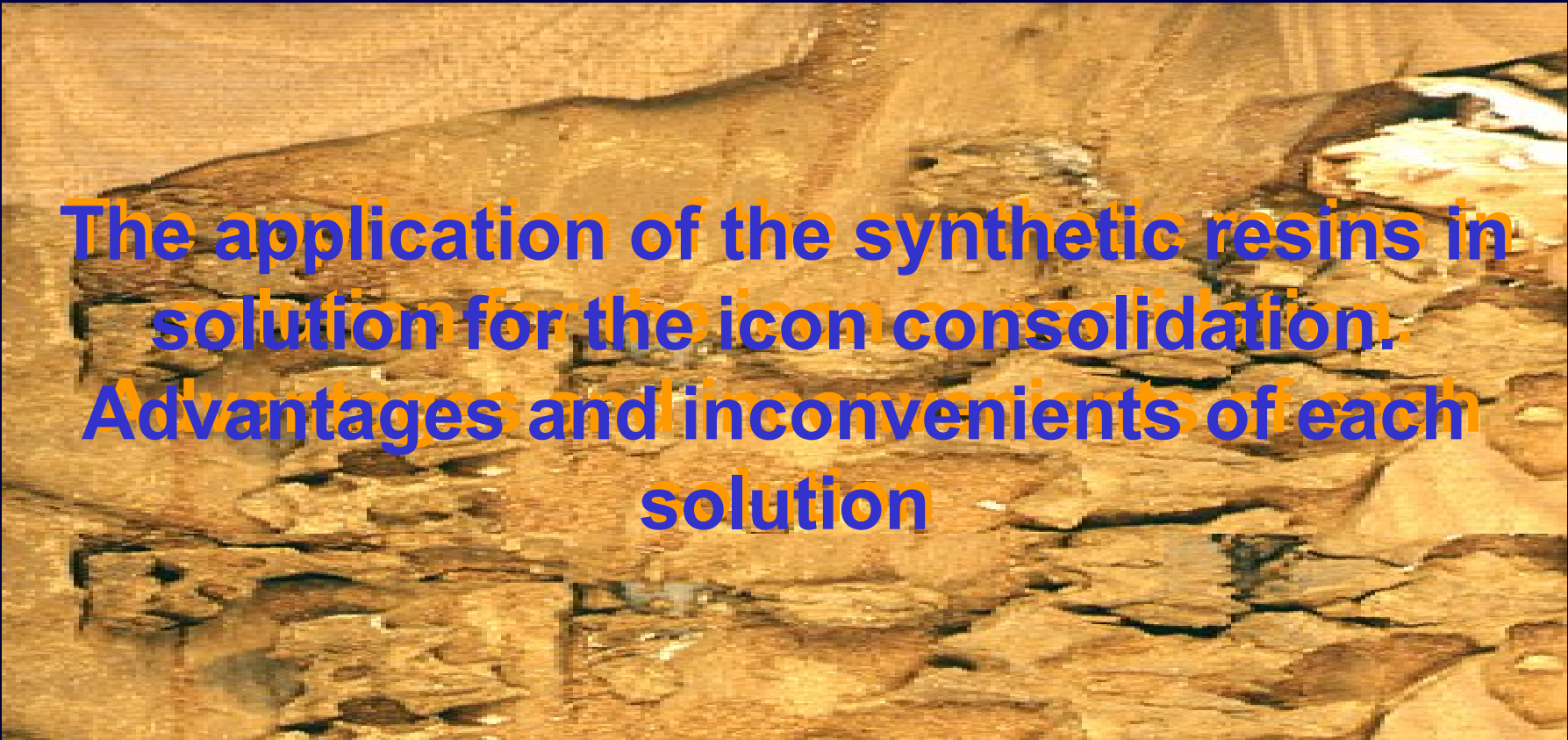
One of the most remarkable examples of his experience is the 15-th century icon “deisis” (Novgorod). The back side of the icon had been thinned and then, after facing of the front side with beeswax-mastics, impregnated with the consolidation mixture of shellac solved in alcohol and ethilglicol in the proportion 0,5:1:1.



The consolidator was applied several times every 12-20 minutes during 16 days. When the icon became flat it was fixed until complete drying. The icon like many others in this collection after such heavy invasion looks over treated, glossy, a little bit artificially and unfairly flat. This example shows that behind the technical problem of wood consolidation are not less serious problem, both ethic and aesthetic, of the respect to the values of a cultural heritage.

At the period of the Titov's treatments those aspects of conservation were not discussed as much as we do it now. Who cared about authenticity. There are some other examples of unexpected consequences of so called flattening. Another novgorodian icon of early 15-th century has been flattened in 1980-th at the Grabar Conservation Center in Moscow. It was treated with the same mixture – a patient was healed to death. The icon became flat, but after few years got cracked heavy at new areas, not along previous old cracks or board joints, and now is pretty concave again.

This survey comes to the sad conclusion that, despite intensive research on the field of methods for wood consolidation, there are still no procedures for treating bored or fungal-larvae damaged wood that could be recommended. Some conservator tries to use new adhesives such as Pexisol dissolved in white-spirit, some other turn back to weak solutions of sturgeon glue applying all these consolidations just for slight protective impregnation of damaged areas. What we believe in Russia now is that more important to stop decay processes by disinfecting and then to maintain an icon carefully in a course of storage, displaying and transportation. In such cases preventive conservation is more preferable than aggressive intervention.



**The application of the synthetic resins in  
solution for the icon consolidation.  
Advantages and inconvenients of each  
solution**

**Gaëlle Le Men**  
**French / English version**

**L'utilisation de résines synthétiques en solution pour la consolidation de support  
bois des icônes. Avantages et inconvénients de chaque solution.**

**The application of the synthetic resins in solution for the icon consolidation.  
Advantage and inconvenient of each solution.**

## **S O M M A I R E**

*Introduction*

### **I. Problématique d'une consolidation.**

*Les critères déontologiques*

*Les contraintes techniques et physico-chimiques du traitement*

*Autres critères de choix d'une méthode et d'un consolidant*

### **II. Les résines synthétiques ou semi-synthétiques pouvant être utilisées comme consolidants à disposition du restaurateur**

*Les solutions de résines acryliques.*

*Les solutions de résines vinyliques.*

*Les solutions de résines polyamides (nylon solubles)*

*Les solutions de résines cellulosiques*

*Les solutions de résines d'hydrocarbures hydrogénés*

III. Les méthodes d'application et la mise en oeuvre

*Les différentes méthodes d'application*

*Quelques conseils pour réussir sa consolidation*

*Consignes de sécurité*

Conclusion



# L'utilisation de résines synthétiques en solution pour la consolidation de support bois des icônes.

## Avantages et inconvénients de chaque solution.

### Introduction

Il ne s'agit pas ici de faire ni l'historique (renvoyer au texte de Yuri Bobrov) ni la critique des méthodes anciennes utilisées par les restaurateurs. Celles-ci sont nombreuses (colles animales, cires, résines en solution....) et sont sensiblement les mêmes dans tous les pays. Cela a très bien été fait par d'autres, notamment le professeur Ulrich Schiessl, dont nous nous inspirons beaucoup pour faire cette présentation de la consolidation par imprégnation de résines synthétiques. Celle-ci est une synthèse de lectures aussi larges que possible. Elle s'appuie sur un travail qui a été fait dans le cadre de l'acquisition du diplôme de maîtrise de sciences et techniques en conservation restauration des biens culturels en 2000. Aujourd'hui de nombreux produits et méthodes sont à la disposition du restaurateur. Notre but n'est pas ici de les passer toutes en revue. Toutes ne sont pas faciles à mettre en œuvre pour des ateliers dotés des moyens habituels. Nous allons donc examiner une des solutions les plus couramment utiliser par les restaurateurs d'icônes aujourd'hui (questionnaire fait à Valamo) : la consolidation avec une résine en solution par imprégnation. Il est très important de reposer le problème de la consolidation (I.) avant d'examiner les résines à la disposition du conservateur-restaurateur (II.) et leur mise en œuvre (III.)

## I. Problématique d'une consolidation.

Le terme consolidation recouvre des interventions variées allant du collage à l'imprégnation, en passant par un renforcement extérieur (soclage, traverses...). Nous nous intéresserons ici uniquement aux techniques et produits de consolidation par imprégnation. Pour réussir une consolidation, il faut se conformer à certains critères déontologiques et d'autres d'ordres technique et physico-chimique.

Les articles suivant définissent très bien la problématique d'une consolidation :

R. Barclay, « Wood consolidation on an eighteenth century English fire engine », Studies in Conservation, vol. 26, n°4, 1981, p.135.

Ulrich Schießl, « Festigkeitserhöhende Konservierung von Holz » in : Holzschutz, Holzfestigung, Holzergänzung, Tagungsbericht Nr1, München : Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, 1992, p.9-41.

Arno P. Schniewind, « Consolidation of wooden panels », in : The Structural Conservation of Panel Paintings, proceedings of a symposium at the Paul Getty Museum, 24-28 April 1995, Los Angeles : the Getty Conservation Institute, 1998, p.87-107.

Les critères déontologiques le conservateur restaurateur a une grande responsabilité vis à vis de l'œuvre qui lui est confiée. La consolidation n'est pas une opération anodine : elle va changer la nature même de l'objet. Etant donné la réversibilité partielle d'une consolidation par imprégnation, il faut s'assurer de la nécessité du traitement et surtout de la compatibilité et la stabilité du consolidant utilisé avec le support, la préparation et la couche picturale pour que ce traitement dure le plus longtemps et n'entraîne pas, à plus ou moins long terme, la destruction de l'œuvre. Il ne doit pas non plus modifier la nature de l'objet, ni son aspect. Enfin avant tout ce traitement doit être efficace . Cependant une fois les critères déontologiques définis, il est parfois difficile de les respecter totalement dans la pratique. Il n'existe aucune méthode idéale, ni produit parfait pour satisfaire aux exigences déontologiques.

### *Les contraintes techniques et physico-chimiques du traitement.*

Il existe de grandes difficultés à concilier les exigences déontologiques de la conservation - restauration avec les réalités physico-chimiques des matériaux originaux et ceux utilisés pour le traitement de conservation. Certains impératifs sont contradictoires. Par exemple, pour assurer une bonne consolidation, il faut que le polymère utilisé présente de bonne qualité adhésive ce qui nécessite une bonne mouillabilité, une réaction d'adsorption, pour renforcer efficacement le bois fragilisé. Mais il faut également qu'il pénètre en profondeur le bois ce qui nécessite des qualités inverses. Il faut donc réussir à trouver un compromis entre toutes ces données.

Le conservateur restaurateur doit avant tout comprendre comment est constitué le matériau bois qu'il veut consolider pour être capable de comprendre, théoriquement et pratiquement, comment va circuler sa solution de consolidant. En fait, il reste extrêmement difficile de prévoir comment va circuler le consolidant dans le bois. Dans le cas d'œuvres très dégradées (les « éponges »), où la perméabilité du bois a extraordinairement augmenté, le restaurateur peut avoir la surprise, surtout dans le cas d'une faible épaisseur comme celle des icônes, de voir le consolidant fluer vers la face en quelques instants. S'il n'a pas fait un test pour évaluer ce risque et a introduit directement une grande quantité de solution, elle imbibera complètement la surface et donc la couche picturale (car on fait généralement l'imprégnation par le revers). Avec un test préalable, on peut régler la viscosité du consolidant. Mais cela se fera généralement de manière empirique et grâce à l'expérience.

La réussite d'une consolidation est étroitement liée à la qualité des produits utilisés. Il faut attacher autant d'importance au choix du solvant, qu'à celui de la résine proprement dite. Le choix du solvant peut sembler imposé par le choix de la résine, qui est généralement soluble dans un nombre défini de solvants. Mais le solvant peut avoir tant d'influence sur les matériaux originaux et la réussite de la consolidation, qu'il commandera par exemple l'élimination d'une résine uniquement soluble dans un solvant non compatible avec le bois. Les propriétés suivantes sont très importantes à connaître pour choisir une solution consolidante, tout autant que les propriétés des résines. Cela est souvent malheureusement très souvent oublié.



Le bois étant une substance polaire, la polarité des solvants doit être prise en compte et diminuée au maximum pour éviter le gonflement du bois, surtout dans le cas où l'objet est polychromé. Il est important aussi de jouer avec la volatilité du solvant : il faut trouver un équilibre entre une faible volatilité pour faciliter une meilleure pénétration et une faible rétention pour éviter la plastification des matériaux de la couche picturale. La volatilité du solvant influence aussi la naissance de contraintes au sein du bois, ainsi les équilibres de l'humidité interne. En choisissant un bon solvant de la résine (forte affinité chimique) ou un solvant pauvre, nous interviendrons sur la viscosité et donc sur l'écoulement du solvant. Il faut donc un solvant ni trop volatile ni trop polaire. Les aromatiques semblent bien appropriés. Ils présentent cependant un problème d'interaction avec la couche picturale et plus particulièrement les vernis. L'idéal serait de pouvoir utiliser un aliphatique. Mais rare sont les résines qui sont solubles dans des aliphatiques. Il est donc fréquent d'utiliser des mélanges aromatiques (dissolvant) et aliphatiques (diluant) .

Il n'est pas facile de choisir un bon consolidant. Lorsque l'on se penche un peu sur la littérature, des avis divergents sur les produits sont repérables. En fait il faut tenir compte des propriétés physiques, mécaniques et chimiques de la résine. Avant tout un bon consolidant sera le produit qui rendra une bonne cohésion au matériau bois, notamment grâce à ses propriétés d'adhésion. Le bois n'est pas un matériau inerte, même dans les meilleures conditions de conservation, il faudra donc choisir dans toutes les résines qui sont à notre disposition celles qui auront les meilleures qualités mécaniques (flexibilité, dureté, plasticité).

Nous devons utiliser des produits stables, ayant un bon vieillissement mais il faut aussi tenir compte de qualités permettant une bonne consolidation comme la température de transition vitreuse relativement haute, bas poids moléculaire, faible viscosité, solubilité dans des solvants peu polaires pour éviter le gonflement du bois. Il faut aussi des conditions acceptables pour le restaurateur (toxicité, temps de séchage...). Il est nécessaire de faire des compromis pour choisir un produit qui sera le moins mauvais mais pas l'idéal.

Les autres critères de choix d'une méthode et d'un consolidant.

Au delà des critères déontologiques et techniques, il ne faut pas oublier la question pratique. Cette étude s'adresse surtout à des restaurateurs privés. Les méthodes proposées doivent être applicables aisément dans les ateliers normaux et non ceux d'instituts hautement équipés.

Cela élimine les résines thermodurcissables et les résines polymérisant in situ. En plus de quelques réserves au niveau déontologique, il est très difficile de mettre en œuvre une consolidation utilisant. En effet, cela nécessite, pour une très bonne réussite, un matériel important et généralement coûteux, que l'on ne trouve pas dans la majorité des ateliers de restaurations d'icônes, même publiques. Voilà pourquoi nous nous sommes arrêtés sur les produits durcissant par évaporation du solvant, notamment les résines thermoplastiques. Il s'agit toujours de polymère en solution.

Bien que durant les années 50-60 les dispersions aient été utilisées pour la consolidation du bois elles sont aujourd'hui vivement déconseillées car elles ne sont pas efficaces (voir : Ulrich Schießl, « Festifheitserhöhlende Konservierung von Holz » in : Holzschutz, Holzfestigung, Holzergänzung, Tagungsbericht Nr1, München : Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, 1992, p.24.).

D'après Brigitte Aberle et Manfred Koller (dans « Restauratorische Holzfestigung und die Infusionstränkung » in : Restoratorenblätter, Band 10, zum Thema « Holztechnologie und Holzkonservierung, Möbel und Ausstattungen », Wien, 1989, p.74.), des dispersions comme le Synmalon® (colle blanche de synthèse fabriquée à Vienne), le Vianavil NPC (Montecatini, Mailand) ou Mowilithe (Hoecht) ont été utilisées pour la consolidation du bois. La pénétration est gênée par la taille des particules dispersées. De plus, le bois en poudre n'est que faiblement consolidé. La grande teneur en eau des émulsions entraîne le gonflement du bois. D'après Horrie, les émulsions acryliques (Primal AC 33, Plextol B500 ou Texicryl 13-002) ont des qualités surtout pour des applications en film (collage, peinture...). Il a été de toute façon démontré, dans d'autres emplois (textile, papier...), que les résultats sont très différents d'un lot à l'autre, que se sont des produits instables (en raison de nombreux adjuvants...). Il n'est donc pas recommandé d'avoir recourt à ces produits.

Nous allons maintenant passer en revue les différentes résines synthétiques pouvant être mise en solution et imprégner le bois en les passant au crible des critères que nous avons énumérés.

II. Les résines synthétiques ou semi-synthétiques pouvant être utilisées comme consolidants à disposition du restaurateur.

Je me suis basée sur un certain nombre d'ouvrages pour réaliser ces petites présentations d'adhésifs et consolidants :

Françoise Cuany, Volker Schaible und Ulrich Schießl, « Studien zur Festigung biologisch geschwächten Nadelholzes : Eindringvermögen, Stabilitäterhöhung feuchtephysikalisches Verhalten », in : Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, Jahrgang 8/1994, heft 1, p.249-292.

C.V. Horrie, Materials for conservation : organic consolidants, adhesives and coating, éd. Butterworths.

Liliane Masschelein-Kleiner, Liants, Vernis et Adhésifs anciens, Cours de conservation 1, Bruxelles : IRPA, remise à jour, 1983.

Arno P.Schniewind, « Consolidation of wooden panels », in : The Structural Conservation of Panel Paintings, proceedings of a symposium at the Paul Getty Museum, 24-28 April 1995, Los Angeles : the Getty Conservation Institute, 1998, p.90-92.

Ulrich Schießl, « Festigkeitserhöhende Konservierung von Holz » in : Holzschutz, Holzfestigung, Holzergänzung, Tagungsbericht Nr1, München : Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, 1992, p.9-41.



Henri Valot et Jean Petit, Les résines synthétiques et les substances naturelles, Ecole du Louvre, Ministère de la Culture. Muséologie, 4ème année, Paris, 1988.

Une fois que nous avons écartés les résines thermodurcissables et les résines en émulsions, il nous reste encore un grand choix de résines pouvant être mises en solution : les résines acryliques, vinyliques, polyamides, cellulosiques et celles d'hydrocarbures allogènes.

### Les solutions de résines acryliques.

La majorité des polymères acryliques utilisés en conservation est fabriquée à partir de deux familles de monomères : les poly(acrylates d'alkyle) dérivés de l'acide acrylique et les poly(méthacrylates d'alkyle) dérivés de l'acide méthacrylique. Le groupe alkyle peut être choisi pour produire une série de polymères.

La température de transition vitreuse d'un polymère de méthacrylate est plus grande que son correspondant acrylate. Il est assez facile de fabriquer des copolymères avec une température de transition choisie en utilisant deux ou plusieurs monomères acryliques.

Il existe différents monomères acryliques que l'on peut utiliser pour la consolidation du bois : le poly (méthacrylate de méthyle) comme le Paraloid B72, le poly(méthacrylate de butyle) comme le Paraloid B67 ou le Plexigum P28. Il existe différents produits commerciaux à base de ces monomères. Il faut savoir qu'ils sont similaires, mais jamais vraiment identiques. Il est généralement nécessaire de tester chaque nouveau matériel. Leurs propriétés, notamment la viscosité, est différente selon le solvant et la concentration utilisés.

Dans le cas de la consolidation d'un objet polychromé comme une icône, il est préférable d'éviter d'utiliser le Paraloid B72 soluble dans des solvants trop polaires. Les études du professeur Schiessl ont montré également que la consolidation était meilleure avec un poly(méthacrylate de butyle). Ce dernier reste l'un des meilleurs produits disponibles sur le marché pour ce type d'intervention.

### Les solutions de résines vinyliques.

Le monomère de base est l'acétate de vinyle. Il peut être polymérisé et donner l'acétate de polyvinyle ou PVAc. Ensuite en fonction des substitutions ou autres réactions chimiques, on peut fabriquer des alcools de polyvinyle ou des butyrales de polyvinyle. Je n'ai pas trouvé de cas où les alcools de polyvinyle ait été utilisés pour la consolidation du bois (certainement beaucoup trop polaire). Mais l'on peut utiliser des acétates ou des butyrates de polyvinyle en solution. Ce sont des résines thermoplastiques. Les PVAc, très nombreux, sont toutefois à ne pas recommander pour la consolidation du bois car trop polaire et ayant une température de transition vitreuse trop basse. Par contre, les butyrales de polyvinyles semblent d'excellents produits. Le seul désavantage pour des bois polychromés est qu'ils sont solubles dans des mélanges assez polaires. C'est pour cela que nous les déconseillerons pour la consolidation des icônes.

Une résine vinylique a été très utilisée pour la consolidation du bois, le chlorure de vinyle, mais elle est aujourd'hui vivement déconseillée en raison de son instabilité.

Les solutions de résines polyamides (nylons solubles).

Deux formes de nylons solubles sont disponibles : le N-methoxymethyl nylon qui est un nylon substitué et des polymères hautement irréguliers. Après lecture des différentes études sur ce produit, il nous semble plus prudent de ne pas l'utiliser (voir surtout Horie et F.J. Bockhoff, K.M. Guo, G.E. Richards et E. Bockhoff, « Infrared studies of the kinetics of insolubilization of soluble nylon » in : Adhesives and consolidants, Preprints of the contributions to the Paris Congress, 2-8 September, London : IIC, 1984, p. 81-86.). Cela malgré le fait que d'après les tests menés à l'Institut de Conservation Canadien (C.C.I.) (article de R. Barclay, « Wood consolidation on an eighteenth century English fire engine », Studies in Conservation, vol. 26, n°4, 1981, p.135.), le Nylon soluble est l'une des résines les plus intéressantes pour la consolidation du bois, après les butyrales de polyvinyle et en parallèle avec le Paraloid B72. Barclay ne parle que des caractéristiques physico-chimiques et des bons résultats de consolidation (bonne pénétration, bonne répartition, efficacité de la consolidation) mais ne parle à aucun moment des problèmes de vieillissement. Ce produit semble être trop critiquable du point de vue de sa stabilité et sa solubilité pour être utilisé dans une opération de consolidation. De plus, il nécessite un solvant polaire (alcool et eau). On constate également des effets optiques : brillance et assombrissement.



Les solutions de résines cellulosiques.

Ce sont des résines qui sont parfois qualifiées de semi synthétiques car elles sont dérivées d'une macromolécule naturelle : la cellulose. Ce sont généralement des esters de cellulose qui sont utilisés dans la consolidation du bois : acétate ou nitrate de cellulose. Leur instabilité et leur mauvaise compatibilité avec le matériau bois fait qu'il n'est pas recommandé de les utiliser pour une consolidation par imprégnation.

L'emploi des éthers de cellulose (methylcellulose, carboxyméthylcellulose) a été récemment développé pour le collage des bois (voir Markus Döll, « Methylcellulosen une die Verklebung von Holz » in : Restauro, 5/1997, p.332-336.). Cependant, ces techniques étant aqueuses, il n'est pas imaginable d'essayer de les appliquer à la consolidation du bois par imprégnation.

Les solutions de résines d'hydrocarbures hydrogénés.

Les résines d'hydrocarbures hydrogénées sont arrivées très récemment dans les ateliers de restauration (Régalrez® 1094, Arkon® P90). Elles ont d'abord été recherchées pour leurs qualités optiques alliées à leur stabilité qui font qu'elles sont particulièrement intéressantes pour fabriquer des vernis. Cependant, des expériences ont été menées en 1999 par un restaurateur d'objets en bois, Ralph Stoian, au Musée Historique de Basel (Suisse) pour la consolidation du bois (information trouvée sur internet; pour plus de renseignements, contacter [ralph.stoian@bs.ch](mailto:ralph.stoian@bs.ch). et le catalogue de Wendy Samet, Painting conservation catralog. Vol I : Varnishes and Surface Coating, 1998, p.109 à128).



D'après lui, ces résines présentent les avantages suivants :

- une bonne solubilité dans les solvants aliphatiques et non polaires;
- un bas poids moléculaire qui facilite donc la pénétration;
- une résine très stable et qui n'a pas tendance à réticuler dans le temps (molécule entièrement saturée).

Les tests qu'il a mené lui ont semblé donner de meilleurs résultats qu'avec le Paraloid B72, mais il ne fait pas la comparaison avec les autres résines intéressantes : Paraloid B67, Le Butvar 90. Il serait intéressant de pousser plus loin ces recherches car cette résine paraît très prometteuse.

Nous rappelons que l'une des qualités essentielles recherchées est la stabilité des produits utilisés. Deux critères sont à regarder dans ce cas : la température de transition vitreuse et les tests de vieillissement. La température de transition vitreuse va jouer sur le fluage et l'expansion thermique du polymère. Il faut dans le cas d'une consolidation par imprégnation qu'il soit supérieure à la température ambiante (la valeur minimale dans un climat tempéré est 40°C). Cela élimine les acétates de polyvinylyles qui sont pourtant des produits vieillissant bien, en tout cas en

l'absence d'atmosphère non contrôlée. Cela est aussi un problème pour le Paraloid B72 qui a une température de transition vitreuse de 40°C. Cela est acceptable pour des climats tempérés comme la France par exemple mais peut poser des problèmes dans les pays chauds comme la Grèce. Nous n'éliminons pas pour autant le Paraloid B72, mais nous attirons l'attention sur ce point important dans le cas où une œuvre à consolider devrait retourner dans des pays chauds dans une atmosphère non contrôlée. Les tests de vieillissement peuvent nous indiquer la résistance des polymères à l'hydrolyse par l'eau, à l'oxydation par la lumière et la chaleur... Certains matériaux sont très sensibles à ce type de détérioration et sont à éviter : le polychlorure de vinyle, le nylon soluble (polyamide), les acétates et nitrates de cellulose.

La méthode et les matériaux doivent être compatibles non seulement avec le bois mais aussi avec la couche picturale. Cela élimine toutes les résines ou produits solubles dans l'eau ou les solvants polaires, tels l'acétone ou les alcools, car le facteur du gonflement du bois est alors trop grand avec un risque inévitable de fissuration et de craquellement des matériaux originaux (le butyrale de polyvinyle, le paraloid B72 dans l'acétone). Nous avons attaché moins d'importance au problème de changement d'aspect, mais cela est assez rédhibitoire pour les méthodes à base de cire par exemple.

Finalement, il ne nous reste pas beaucoup de produits présentant de bonnes qualités pour une consolidation de panneaux peints : les résines acryliques dans les solvants aromatiques comme, le paraloid B72, le paraloid B67 ou plexigum P28. Le paraloid B72 présente de meilleures qualités de vieillissement, mais n'est pas soluble dans les solvants aliphatiques. Il ne faut donc l'utiliser que dans des conditions de sécurité maximum. Les PBMA semblent plus adaptés à une opération de consolidation même si ils sont moins stables que les PMMA. Nous pensons qu'elles sont vraiment les mieux adaptées. Il sera cependant possible d'utiliser également un acétate de polyvinyle ou un butyrale de polyvinyle qui ont tout de même de bons résultats pour la consolidation du bois, en faisant particulièrement attention au solvant utilisé et pour le PVAc à sa température de transition vitreuse. Il reste aussi à tester les nouvelles résines d'hydrocarbures hydrogénés, qui pourraient remplacer avantageusement toutes ces résines.

Il ne faut pas perdre de l'esprit qu'un produit n'est bon que s'il est bien mis en œuvre.

III. Les méthodes d'application et la mise en oeuvre.

Le choix de la méthode employée pour introduire la solution dans le substrat poreux est très importante. Cela dépend bien sûr du degré et de la profondeur des dégâts. Après avoir présenté différentes méthodes, nous donnerons quelques conseils pour réussir la consolidation ainsi que des consignes de sécurité.

## Les différentes méthodes d'application

Un grand nombre de méthodes se présentent à nous. Que choisir? Tout dépend de la taille de l'objet en bois à consolider, le degré d'altération et des possibilités de traitement. Des techniques superficielles (pinceau, vaporisation ou compresses; peuvent parfois être intéressantes dans le cas d'un bois altéré en surface. Elles seront cependant généralement inefficaces.

Les méthodes par injection de consolidant avec une seringue présente de bons résultats pour des supports tels que ceux d'icônes. Ce sont des objets relativement minces et de petites tailles, comparés à des sculptures. Il est nécessaire de contrôler la circulation du consolidant qui peut rapidement ressortir sur la face par exemple. Un système de goutte à goutte est une solution à retenir dans le cas de la consolidation d'un iconostase (cela peut éventuellement éviter un démontage à risque) ou bien dans le cas de très grandes icônes (plus d'1 m 50 de côtés), fortement vermoulues nécessitant plusieurs jours de traitements.

D'autres méthodes peuvent être utiles en cas d'une altération très importante : celle par vaporisation continue dans une enveloppe plastiques, celle par immersion; celle par imprégnation sous vide. La première semble très difficile à mettre en œuvre dans le cas d'un objet plat et polychromé. La deuxième nous semble assez condamnable au niveau esthétique et contrôle de la quantité de consolidant introduite. Pour la dernière, il faut évaluer la fragilité du bois et utiliser une méthode douce



Il faut s'adapter à chaque cas et situation (matériel et place disponibles). Une technique n'est pas meilleure que l'autre, même si certaines sont plus faciles à contrôler que d'autres comme les méthodes par injection. Chacune a sa raison d'être, même la consolidation au pinceau pour des dégradations superficielles.

Généralement les icônes étant de dimensions modestes, l'injection du produit consolidant avec une seringue semble être une bonne solution. Elle apporte l'avantage de ne pas revêtir la surface du bois de consolidant, ce qui limite les risques de modification d'aspect. Elle a l'inconvénient d'être un peu longue et fastidieuse. Nous préconisons l'usage du goutte-à-goutte dans le cas d'une œuvre extrêmement fragile et de grandes dimensions.

Nous allons voir maintenant quelques précautions à prendre pour réussir sa consolidation.

Quelques conseils pour réussir sa consolidation.

Nous travaillons sur des objets présentant une couche picturale. Celle-ci cours un risque lors de la consolidation.

Elle peut être éventuellement protégée par une protection de surface. Mais cela n'est pas obligatoire. Tout dépend du degré d'altération du support. En cas de risque d'effondrement de la couche picturale, il vaut mieux poser une protection de surface. Elle n'a pas besoin d'être générale, mais juste sur les zones à risque

En règle générale il est préférable de pouvoir voir ce qui se passe durant le traitement. Si la couche picturale présente elle-même des problèmes de cohésion et d'adhésion, il sera préférable de la refixer avant de consolider le support lorsque cela sera possible. Il est important d'adapter la protection de surface au type de surface (or ou tempera). Sur l'or, il faut mieux éviter toutes les protections posées avec une colle aqueuse : l'or se fixera alors sur le papier et il sera impossible d'enlever la protection sans arracher l'or. On peut utiliser une protection avec une résine soluble dans des aliphatiques ou aromatiques. Nicole Delsaux, restauratrice spécialisée dans la restauration des icônes et ayant travaillé pour le Service de Restauration des Musées de France, utilise une protection posée avec une cire-résine (7 cire d'abeille/ 2 dammar/ 1 elemi) non pure mais mélangée avec du White Spirit. L'avantage d'une protection posée à la cire est sa souplesse. Elle n'exercera pas de contrainte dans le cas où le panneau gonflerait lors de la consolidation.

Si l'on veut que le consolidant pénètre le plus loin possible dans le matériau, il faut démarrer avec des concentrations très faibles. On peut aussi saturer les pores avec le solvant pur, la résine dans le solvant migrera ensuite par équilibration des concentrations vers les zones où le solvant est pur. Cependant il pourra se poser le problème, dans le cas de résines thermoplastiques, de la migration vers la surface du consolidant au moment de l'évaporation du solvant. (voir Arno P. Schniewind, « Consolidation of wooden panels », in : The Structural Conservation of Panel Paintings, proceedings of a symposium at the Paul Getty Museum, 24-28 April 1995, Los Angeles : the Getty Conservation Institute, 1998, p.95.)

Il est important d'avoir un dispositif de travail qui permet à tout moment de contrôler la face peinte de l'icône. Dans le cas d'une imprégnation par immersion, cela est finalement plus facile puisque le revers baigne dans la solution consolidante alors que la face immerge. Dans le cas d'imprégnation par injection avec une seringue, étant donnée qu'il y a rarement de trous d'envol sur la face, on est obligé d'injecter au revers. Lorsque l'icône est de petite taille, il est toujours possible de la retourner. Mais il faut de toute façon éviter qu'elle touche une surface, le consolidant pouvant ressortir par la face (les quelques trous d'envol, fissures, fentes, joints...) il ne faut pas que l'icône se colle au plan de travail. Il faut donc construire un cadre qui la rehausse du plan de travail. Dans le cas de grands icônes, il faut prévoir un système de tréteaux ou de cadre à pied pour pouvoir sans cesse regarder la face. On peut aussi essayer de caler l'icône à consolider verticalement, si son état de conservation le permet. Cela n'empêchera pas la pénétration du consolidant qui se fait majoritairement selon les lois de la capillarité.

Il est important de contrôler de la quantité de consolidant introduite. Pour cela, nous avons des moyens très simples à notre disposition : pesage avant et après de l'icône, mesure de la quantité de consolidant introduite (en litre). Cette quantité devra figurer sur le rapport de restauration. Cela donne une information très importante sur le matériau composite qu'est maintenant le support traité.

Il est important de nettoyer rapidement les excédents de consolidant. Un bon nettoyage du bois pourra limiter la brillance dans le cas d'une immersion.

## Consignes de sécurité.

Une consolidation par imprégnation nécessite une grande quantité de solvants. En effet, on utilise généralement des solutions à qui contient 60 à 80% de solvants, voire plus. Cela ne restera pas dans le bois mais va s'évaporer. Les aromatiques, comme le toluène ou le xylène, sont particulièrement toxiques. Il ne faut surtout pas utiliser du benzène, hautement toxique. Utiliser des aliphatiques réduit le risque de toxicité. Nous ne voulons pas développer plus que cela cette question. Il est important de vérifier avant l'usage d'un solvant les risques que l'on encourt en l'inhalant et en étant en contact avec lui (voir Norbert S. Baer, « Risk assessment as applied to the setting of solvent toxicity limits » in : Adhesives and Consolidants, Preprints of the contributions to the Paris Congress, 2-8 September, London : IIC, 1984, p.26-31.). Surtout il faut prendre un certain nombre de précautions lors de l'imprégnation. Il faut se protéger avec le port d'un masque à gaz avec les cartouches adaptées au solvant utilisé, des gants ou crèmes imperméables aux vapeurs de solvants.

Il vaut mieux placer les objets consolidés, qui vont dégagés des vapeurs au moins pendant un mois, dans une autre pièce que celle où l'on travail. Il est de plus recommandé de fabriquer une tente avec des plastiques peu perméables aux vapeurs de solvants, que l'on aura bien sûr préalablement climatisés avec des gels de silices, en prévoyant une fenêtre pour pouvoir introduire l'extracteur de vapeur quand cela sera nécessaire.



Il faut savoir aussi que les solvants que l'on utilise sont généralement hautement inflammables. Dans des œuvres très endommagées, il est courant d'introduire des litres de solution. Le risque d'incendie est grand, il faut donc interdire à toute personne pénétrant dans cette pièce de fumer.

## Conclusion.

Il n'existe pas de méthode miracle. La réussite de la consolidation dépend aussi bien des produits, que de la mise en oeuvre. Un bon produit mal mis en oeuvre (mauvais solvant, mauvaise concentration, mauvaise quantité introduite...) donnera de très mauvais résultat. Un produit qui présente beaucoup de désavantages, peut conduire à une consolidation au résultat acceptable avec une bonne mise en oeuvre. A chaque problème sa solution.

Finalement, le choix de produits utilisables pour une consolidation de bois polychromé, donc pour des icônes, est assez restreint. Nous classons ceux que nous avons retenu par ordre décroissant de qualité pour cette intervention particulière :

- le poly(méthacrylate de butyle) comme le Paraloid B67 ou le Plexigum P28 dans un solvant aliphatique ou un mélange très faiblement aromatique;
- le poly(méthacrylate de méthyle) comme le Paraloid B72 dans un mélange d'aliphatique et d'aromatique (surtout pas un mélange d'alcool ou/et d'aromatiques);
- les butyrales de polyvinyle comme le Butvar 90, dans mélange alcool et aromatique, en essayant de diminuer autant que possible la polarité.

Mais nous tenons à mettre en avant un nouveau type de résines, celles d'hydrocarbures halogénés qui n'ont pas encore été assez bien étudiées mais qui sont très prometteuses pour la consolidation du bois, comme le Regalrez® 1094 ou Arkon® P90.

Nous avons essayé de sélectionner les meilleurs produits du point de vue du vieillissement et de les mettre en œuvre de la meilleure façon possible. Seulement une chose reste mal étudiée : les propriétés du composite bois-polymère. Cela l'a été par les industriels voulant fabriquer des bois très résistants pour la fabrication. Mais ces études ont été faites sur des bois sains.

Ce n'est certainement pas la même chose pour un bois ancien et dégradé (voir : Arno P. Schniewind, « Consolidation of wooden panels », in : The Structural Conservation of Panel Paintings, proceedings of a symposium at the Paul Getty Museum, 24-28 April 1995, Los Angeles : the Getty Conservation Institute, 1998, p. 96-98 : Propriétés du composite bois et consolidant.). Il est encore difficile de prévoir vraiment l'évolution de ces traitements.

Une chose est évidente est qu'il est préférable qu'une icône ayant été consolidée soit conservée dans des conditions relativement stables. Il faut éviter toute hausse de la température (problème de l'expansion thermique et de fluage du consolidant) et toute variation importante et rapide de l'humidité (problème des interface entre les zones saines et les zones consolidées, augmentation des contraintes).

Peut on autoriser une icône fragilisée puis consolidée à retourner dans une église pour servir au culte? Cela dépend bien sûr de l'état de l'icône. L'alternance de l'allumage des cierges et des lampes à l'huile, l'accrochage sur un mur froid, dans une église généralement humide, ainsi que les contraintes liées à la vénération, ne sont vraiment pas des conditions acceptables pour une icône ayant nécessité une consolidation.



## Définition du terme consolidation

biblio : R. Barclay, « Wood consolidation on an eighteenth century English fire engine », Studies in Conservation, vol. 26, n°4, 1981, p.133-139.

Petr Kotlik, « Impregnation under Low Pressure », Studies in Conservation, n°1, vol.43, 1998, p.42.

Erika Schaffer, « Consolidation of Painted Wooden Artefacts », dans Studies in conservation, vol. 19, n°4, 1974, p.212-221.

Arno P. Schniewind « Consolidation of wooden panels », in : The Structural Conservation of Panel Paintings, proceedings of a symposium at the Paul Getty Museum, 24-28 April 1995, Los Angeles : the Getty Conservation Institute, 1998, p.87.

Dans le sens général, le terme consolidation se rapporte à l'assemblage de parties séparées ou au fait de rendre quelque chose plus résistant et plus stable ou plus solide et compact. Lorsqu'il est utilisé par les restaurateurs, le terme a trait aux traitements curatifs de matériaux qui ont perdu leur cohésion suite à une détérioration, dans le but de stabiliser un objet et de pouvoir le manipuler ou l'utiliser sans risque.

Un support bois a besoin d'être consolidé quand il a perdu sa stabilité (décollement des joints, fentes...) ou lorsque la substance du bois elle-même a perdu sa cohésion à cause de différentes causes : attaques d'insectes xylophages (bois vermoulu) ou attaques de micro-organismes souvent liés à des cycles répétés de sécheresse et humidité (bois pourri).



La consolidation au sens large comprend donc aussi bien :

- les opérations de recollage des joints et collage des fentes, des fractures;
- de l'adjonction d'un renfort ou d'un substitut dans les zones lacunaires (par ex. : rebouchage des lacunes du bois avec du bois ou avec des mastics; remise en service ou remplacement des traverses);
- les techniques d'imprégnation par un produit consolidant.

Les deux premiers types d'intervention ne modifient pas la structure interne du support, alors que le dernier modifie la nature même du bois. Il faudra ensuite considérer le support comme un matériau composite qui pourra avoir des propriétés mécaniques différentes.

Pour qu'il puisse être imprégné, il est entendu qu'un matériau à consolider doit avoir un certain degré de porosité, de telle manière qu'une autre matière puisse être introduite dans l'espace des pores pour atteindre un objectif particulier, tel que le renforcement d'un bois détérioré. Le bois est un matériaux poreux.

Il n'est pas toujours nécessaire d'obtenir le même degré de consolidation. Les objectifs sont spécifiques à chaque intervention et varieront en fonction de l'utilisation future de l'œuvre. Par exemple, les parties ayant une fonction structurelle devront être consolidées très solidement, voire remplacée, de façon à pouvoir résister au poids qu'elles supportent. Ce sera, par exemple, pour les parties portantes d'un iconostase ou la hampe d'une icône de procession. Généralement, les icônes retournant au culte après restauration ont besoin de retrouver une assez bonne cohésion et stabilité pour pouvoir être manipulées fréquemment et résister à la vénération. Dans tous les cas, il faut que l'objet soit manipulable.

La réussite d'une consolidation est proportionnelle à la profondeur à laquelle le consolidant a pénétré dans les parties altérées. Cette profondeur de pénétration dépend de trois facteurs principaux : les propriétés du matériau à traiter (le bois altéré), les qualités pénétrantes de la solution consolidante utilisée et la méthode d'imprégnation (temps, pression...). Elle dépend aussi de l'affinité du consolidant avec le matériau bois et de sa capacité à lier les fibres entre elles dans le cas d'un bois pourri surtout.

Bien que la chimie moderne des polymères a rendu possible la consolidation d'objets en bois, même sérieusement dégradés, la présence d'un film de peinture introduit de sérieuses difficultés. La présence d'une couche picturale avec une préparation réduit les voies d'accès pour l'imprégnation. Il y a rarement de trous d'envol sur la face, en tout cas dans les icônes (présence de la toile, de la couche de préparation...). Elle empêche une immersion totale. La couche picturale doit être protégée durant la consolidation, non seulement de changements indésirables de couleur, mais aussi des contraintes mécaniques. Il faut donc faire attention quand on lit des articles sur la consolidation du bois, à toujours considérer si le traitement est acceptable en présence d'une polychromie.

## *Importance du diagnostique.*

Une consolidation d'un bois sec par imprégnation avec quelque substance que ce soit ne sera jamais vraiment réversible (voir R. Barclay, « Wood consolidation on an eighteenth century English fire engine », *Studies in Conservation*, vol. 26, n°4, 1981, p.138). Donc il est très important de mener cette opération, qui est loin d'être anodine, uniquement dans les cas où elle est vraiment nécessaire. Il est assez fréquent de vouloir faire une consolidation alors que le bois, bien qu'attaqué par des insectes xylophages, soit encore solide. Il est vrai qu'il n'est pas toujours facile d'évaluer le degré d'altération. Il est alors important de s'assurer les moyens pour faire un bon diagnostique.

Différentes méthodes non destructives peuvent cependant donner une information sur l'étendue des dégâts : thermographie, radiographie... Méthodes qui ont leurs limites et qui demandent de l'expérience pour être interprétées. Les méthodes plus anciennes consistent à faire des tests en tapotant la surface : les sons rendus nous informent si le support est creux ou plein. Il faut faire très attention dans les œuvres très endommagées, de ne pas enfoncer la surface. Le nombre de trous d'envols n'est pas une indication fiable. Cela dépend de la durée de vie de la larve dans le bois, de son appétit... Un support peut être complètement dévoré intérieurement bien qu'il ne présente que quelques trous d'envol. Cependant il n'est pas si difficile que cela de se faire une idée de la gravité du problème. Plus dure sera de prévoir quelle quantité, quelle concentration et quelle viscosité de consolidant utiliser.

## *La réversibilité de la consolidation.*

La réversibilité, bien que vivement réclamée en restauration, est rarement réalisable. « La définition élémentaire, matérielle, presque matérialiste signifie la possibilité simple de la redissolution, du dégagement des matériaux de comblement ou de conservation selon une signification uniquement chimique et physique. » (Ulrich Schießl, « Festifheitserhöhlende Konservierung von Holz » in : *Holzschutz, Holzfestigung, Holzerganzung*, Tagungsbericht Nr1, München : Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, 1992, p.12-13 / « Die einfachste materielle, ja fast materialistische Definition meint schlicht und einfach die Möglicshkeit des Wiederlösens, Wiederauslösens oder Wiederabnehmens von Ergänzungen oder Konservierungstoffen in einem lediglich chemischen und physikalischen Sinn »). Même si un produit est théoriquement réversible, car restant soluble dans le temps, c'est un non sens de vouloir extraire un consolidant d'un bois fragilisé. La notion de réversibilité est un peu plus vrai pour un collage. L'adhésif est uniquement une interface que l'on peut éliminer.

Il est vrai que, dans certain cas, des restaurateurs ont réussi à extraire d'anciens consolidants. Par exemple, R. Payton (voir « The conservation of an eighth century BC table from Gordion » in *Adhesives and Consolidants*, Preprints of the contributions to the Paris Congress, 2-8 September, London : IIC, 1984, p.133-134) cite le cas d'une ancienne consolidation avec une cire paraffinique dans l'essence qui s'est avérée complètement inefficace et même nuisible pour l'objet. Deux techniques ont été utilisées pour dégager la cire du bois.



*La stabilité des consolidants et compatibilité avec tous les matériaux de l'œuvre.*

Etant donné l'irréversibilité ou la réversibilité partielle de la consolidation par imprégnation (renvoi B2), « seuls les matériaux ayant une stabilité prouvée doivent être utilisés. (...) Les objets consolidés avec des produits qui ont une température de transition vitreuse en dessous de la température ambiante ne seront pas auto-portant. » (C.V. Horrie, *Materials for conservation : organic consolidants, adhesives and coating*, éd. Butterworths, p.78.) Le choix du matériau est donc très important.

Un consolidant stable est un matériau qui ne se dégradera pas dans le temps, qui ne fluera pas, qui assurera un bon renforcement pour assurer la stabilité du bois, qui gardera de bonnes propriétés mécaniques.

Il est très important de choisir des produits qui n'auront pas d'interaction avec les matériaux originaux (bois du support, toile ou papier d'interposition, préparation et couche picturale). On s'aperçoit que l'on ne pense pas toujours à ce problème. Un solvant polaire peut faire gonfler le bois et donc engendrer des contraintes dans la couche picturale. Il est cependant très courant d'utiliser de l'acétone pour faire une solution de Paraloid B72 pour une imprégnation. Il n'est pas toujours facile de pouvoir trouver une solution idéale mais il est important de connaître toutes les sensibilités des matériaux originaux.

Il est inévitable de modifier la nature du support en l'imprégnant d'un produit. Il faut cependant veiller à ce que cela soit le plus léger possible. Le consolidant utilisé ne doit pas changer trop la réaction du bois aux conditions extérieures, surtout dans le cas où le support demande seulement une consolidation partielle. Il est aussi important d'évaluer les propriétés du composite bois+consolidant pour pouvoir le conserver dans de bonnes conditions (voir Arno P. Schniewind, « Consolidation of wooden panels », in : The Structural Conservation of Panel Paintings, proceedings of a symposium at the Paul Getty Museum, 24-28 April 1995, Los Angeles : the Getty Conservation Institute, 1998, p.96 : Propriétés des composites bois-consolidant). Le consolidant utilisé doit être dur mais flexible pour ne pas contrarier les variations du bois.

Le consolidant ne doit pas entraîner de changement d'aspect (assombrissement, changement de couleur, brillance) aussi bien du support que de la couche picturale. Cependant, cela est semble-t-il, quasiment inévitable. Il faut donc faire des tests et choisir celui qui a le plus faible changement. Il est évident que cela variera selon les objets et leur type d'altération. Il faut bien souvent faire un bon nettoyage après la consolidation (voir : R. Barclay, « Wood consolidation on an eighteenth century English fire engine », Studies in Conservation, vol. 26, n°4, 1981, p.133-139).

Un nettoyage de surface a été fait avec des batonnets de coton trempés dans le toluène. La cire dans les pores du bois a été dégagée durant le processus d'imprégnation sous vide d'un solvant. La pression réduite fait que la cire, mélangée avec la sciure de bois, est évacuée sous la pression des bulles d'air s'échappant du bois par les pores. L'extraction au solvant sous vide a donné un succès complet et a laissé le bois très propre. Une consolidation efficace avec une résine thermoplastique a été possible. Arno P. Schniewind quant à lui a démontré la réversibilité d'une consolidation au Paraloid B72 qui n'est bien sûr pas complète mais satisfaisante au regard du code éthique de l'AIC : « The conservator is guided by end endeavors to apply the principle of reversibility in his treatments. He should avoid the use of materials which may become endanger the physical safety of the object. He should also avoid the use of techniques, the results of which cannot be undone if that should become desirable. » (voir : « What goes up must come down ... but is it reversible? » dans Preprints of Papers at the XVth the Vancouver Annual Meeting, American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, Vancouver; British Columbia, Canada, May 20-24, 1987, Washington DC, 1987, p.107-117.)

Cependant, il faut admettre que les techniques d'imprégnation sont réversibles uniquement chimiquement et partiellement. Horrie a démontré qu'il est impossible d'extraire complètement une résine imprégnée dans un matériau poreux: il reste toujours de la résine. (C.V. Horrie, Materials for conservation : organic consolidants, adhesives and coating, éd. Butterworths, p.78.)

*L'efficacité du traitement avec un minimum de produit.*

Le consolidant doit renforcer efficacement le bois (bonne pénétration, large déposition du consolidant dans le bois ...). Le degré de renforcement souhaité peut différer en fonction des objets ou du choix de restauration (nettoyage, manipulation, résistance structurelle). Le consolidant doit avoir suffisamment de force, flexibilité et dureté. Il doit agir comme un adhésif pour les parties détachées. Il faut introduire la quantité nécessaire et suffisante. Il est jamais nécessaire de faire une imprégnation totale. Celle-ci entraîne forcément une très grande rigidité, une modification complète de la nature du support (il est alors plus plastique que bois), une forte modification de l'apparence.

Nous rappelons que l'efficacité du traitement dépend de plusieurs choses :

- la non-destruction ou altération du support bois fragilisé et de sa couche picturale par les méthodes d'imprégnation utilisées;
- la profondeur de pénétration de la résine consolidante et le traitement de toutes les zones fragiles ou affaiblies;
- le bon degré de renforcement par la résine du bois dégradé.
- *la non-destruction ou altération du support bois fragilisé et de sa couche picturale*



La première exigence, la non-destruction ou altération du support bois fragilisé et de sa couche picturale par les méthodes d'imprégnation utilisées, n'est pas si facile que cela a respecter. Une consolidation par imprégnation modifie obligatoirement la nature de l'œuvre originale. Il faut bien avoir conscience que cette opération nécessaire pour la survie de l'œuvre n'est pas anodine et peut entraîner des dommages ou des modifications inacceptables en cas de mauvaise mise en œuvre. Le choix des produits est essentiel dans ce cas.

Le plus difficile à obtenir est de ne pas imprégner la couche picturale en même temps que le bois, en raison de sa grande porosité. Il faut donc vraiment écarter tout produit pouvant entraîner une coloration, un assombrissement ou une trop grande brillance. Il faut éviter toute solution polaire ou tout matériau hygroscopique ou ayant une température de transition vitreuse voisine de la température ambiante (expansion thermique du polymère) qui entraînerait des gonflements et retraits plus ou moins répétés conduisant à la fissuration et au craquèlement de la préparation et de la couche picturale.

Enfin la mise en oeuvre est très importante. Le support et la couche picturale sont très sensibles à la pression : celle que le restaurateur exerce en le manipulant ou celle exercée lors d'une mise sous vide. Il faut évaluer le degré de risque d'enfoncement et d'effondrement pour adapter la méthode choisie. Il faut par exemple éviter la mise sous vide d'une icône dont le support tombe en miette, en tout cas sans avoir fait une consolidation préalable, par exemple avec le goutte-à-goutte qui est certainement la technique la moins dangereuse dans ce cas.

### - la profondeur de pénétration

La profondeur de pénétration de la résine consolidante et le traitement de toutes les zones fragiles ou affaiblies dépend des produits utilisés (non polarité pour éviter l'adsorption, viscosité, tension superficielle) et de la mise en oeuvre (concentration de la solution, pression exercée, mise sous vide). Mais une grande part ne peut être contrôlée par le restaurateur : cela dépend beaucoup de la porosité du bois lui-même. Cependant que les produits retenus dans cette étude ont démontré qu'ils pénétraient bien dans les bois vermoulus ou/et pourris. Il faut bien sûr les mettre en œuvre correctement et faire un bon diagnostic pour traiter toutes les parties fragilisées.

### - un bon degré de renforcement

Schniewind (voir « Consolidation of wooden panels », in : *The Structural Conservation of Panel Paintings*, proceedings of a symposium at the Paul Getty Museum, 24-28 April 1995, Los Angeles : the Getty Conservation Institute, 1998, p.96-100 : « Efficacité du consolidant ». Voir aussi Shawn M. Carlson et Arno P. Schniewind, « Residual solvents in wood-consolidant composites », dans *Studies in conservation*, vol.35, 1990, p) fait la synthèse d'études physiques pour déterminer l'effet de renforcement produit par un traitement de consolidation donné. Il nous apprend que les « résines époxy peuvent être formulées avec d'excellentes propriétés de renforcement, ce qui est une importante justification pour une utilisation potentielle pour la consolidation et la réparation de structures de construction. En conséquence les résines époxy donneront le renforcement le meilleur possible dans la consolidation du bois détérioré si leur utilisation peut être justifiée.

(...) L'effet de renforcement des polymères thermoplastiques solubles est significativement plus faible, parce qu'il est rarement possible d'atteindre un niveau de charge aussi haut que 50% et parce que les résines ont une force plus faible. De plus la force d'une résine thermoplastique est généralement plus faible que la force d'un bois sain. Nous ne réussirons donc jamais, en utilisant des résines thermoplastiques à rendre la dureté originelle du bois. Cependant, une dureté suffisante est obtenue avec les résines thermoplastiques pour que l'icône retrouve sa fonctionnalité et puisse être manipulée, exposée ou vénérée. Dans ce dernier cas, dans le cas d'icônes aux supports extrêmement dégradés une réserve pourra être émise, la vénération étant très éprouvant pour l'icône. Nous ne faisons pas mention de cette évaluation du degré de renforcement lorsque nous parlons de chaque résine pouvant être utilisée pour une impregnation parce que dans celles que nous avons retenues, les différences ne sont pas énormes. Il semblerait que les butyral polyvinyliques renforcent légèrement mieux le bois que les résines acryliques.

Comment tester le renforcement des objets traités? Une méthode a été mise au point pour cela ( voir Arno P. Schniewind et Dale P. Kronkright, « Tests de résistance des bois détériorés après traitement par produit de consolidation » in : *Adhesives and Consolidants*, IIC, London, 1984, p. 153.). Cependant ces tests sont destructifs. En raison de la taille des échantillons à prélever sur l'œuvre (50X50X760 mm), il n'est pas possible d'envisager un tel contrôle sur une icône. Nous devons nous contenter de tests tels que le test de l'ongle ou l'enfoncement d'une épingle dans le support pour contrôler l'efficacité du traitement que nous avons réalisé.

## *Le matériau bois.*

Biblio : Jean Campredon, « Bois », dans *Encyclopedia Universalis*, corpus 4, Paris, 1993, p.297-300.

Après une présentation rapide de la nature chimique et des caractéristiques physiques du bois sain, nous insisterons particulièrement sur la porosité de ce matériau, notamment lorsqu'il est dégradé .

### *- La nature chimique du bois sain*

Deux substances principales forment les constituants des bois, la cellulose et la lignine (constituants des membranes et fibres du bois), auxquelles s'ajoutent d'autres substances, les hemicelluloses, les polysaccharides, les pectines (matières de réserves, constituants des cellules). Le comportement du bois à l'égard des divers agents chimiques est lié au caractère particulier du complexe ligno-cellulosique dans lequel la lignine peut résister, dans une certaine mesure, aux acides et la cellulose aux bases. Le bois est une substance polaire, hydrophile.

### *- les caractéristiques physiques de ce matériau*

Au point de vue physique, le bois est caractérisé par son degré d'humidité, c'est à dire le pourcentage d'eau qu'il contient dans ses cellules; par sa densité, variable avec le degré d'humidité et qui s'exprime pratiquement par le poids au mètre cube; par sa rétractabilité, c'est à dire la propriété qu'il a de diminuer ou d'augmenter de dimensions lorsque son degré d'humidité varie.



L'humidité interne d'un bois sec à l'air (donc d'un support bois ancien) est de 17 à 13%, dans les climats tempérés. L'humidité interne varie en fonction de l'humidité relative et des saisons. En dessous de 13% le bois est desséché et se fend. Si l'humidité interne dépasse 20%, cela favorise l'attaque de micro-organismes. Les variations de la teneur en eau amènent des variations de dimensions (retrait au moment du dessèchement, gonflement au moment de l'humidification) car le bois est un matériau hygroscopique. Il faut donc veiller à ce que le bois soit conservé dans des conditions d'humidité relative les plus stables possibles. Le retrait varie selon la nature du bois; un bois dur est aussi nerveux et son retrait est fort; un bois léger et tendre a, par contre, un retrait faible. Suivant le fil du bois, les variations de dimensions sont très faibles et pratiquement négligeables : le retrait axial est à peu près nul. Dans une section transversale, perpendiculaire au fil du bois, la rétractabilité ne se répartit pas d'une manière égale :

- dans le sens tangent (tangent aux couches annuelles) les variations de dimensions sont les plus fortes;
- dans le sens radial (sens du rayon des couches de croissance), les variations sont les plus faibles (2 à 3 fois moins fortes que la rétractabilité tangentielle).

Ces variations se produisent même sur des objets en bois vieux de plusieurs siècles, même si le phénomène est atténué. Il ne faut cependant jamais changer brusquement de climat un objet qui est en état d'équilibre avec son milieu : il réagira toujours fortement. On peut tout de même le transporter dans un caisson ou une enveloppe plastique imperméable à la vapeur d'eau climatisés aux conditions climatiques d'origine puis le conserver dans une tente ou chambre humide dans les mêmes conditions hygrométriques.



Il faut le maintenir dans son climat propre si il doit retourner dans son milieu d'origine ou l'acclimater progressivement et lentement au nouveau climat. En général, on doit réaliser un assèchement de panneaux qui proviennent d'une église et qui seront ensuite conservés dans un musée.

L'imprégnation d'un polymère synthétique changera inévitablement le comportement du bois à l'humidité. C'est parfois une qualité recherchée de cette intervention lorsque l'on voudra créer une barrière à l'humidité pour stabiliser le support bois. Nous ne traiterons cependant pas de cela ici. C'est encore une question qui est très intéressante et qui a susciter une littérature importante. Mais, bien qu'apportant un complément essentiel à la question de consolidation et au problème de l'étude du composite bois-polymère, cela nous entraînerait trop loin de la question primaire ici : la consolidation par imprégnation.

Le bois est un mauvais conducteur de la chaleur. La conductibilité varie suivant l'essence, le degré d'humidité et aussi suivant la direction de transmission; elle est plus grande parallèlement aux fibres que transversalement. Cela est assez important a savoir, pour toutes les consolidation qui demande un préchauffage du bois, notamment les imprégnations à la cire résine. Le bois ne sera jamais chaud à coeur et donc la cire ne pourra pas pénétrer très profondément.

Le bois est un matériau perméable (voir Arno P Schniewind, « Consolidation of wooden panels », in : *The Structural Conservation of Panel Paintings*, proceedings of a symposium at the Paul Getty Museum, 24-28 April 1995, Los Angeles : the Getty Conservation Institute, 1998, p.88-89). Le transport des fluides (gaz et liquide) peut être représentée par la loi de Darcy (c'est donc une donnée définie physiquement) et les lois de Poiseuille (capillarité). La perméabilité dépend à la fois de la nature du matériau (diamètres, longueurs et tailles des capillaires ou pores) et celle du fluide qui le traverse. On se rend compte avec cette loi que l'on peut seulement faire varier la viscosité du fluide (diminution) ou la pression différentielle (augmentation) pour améliorer l'écoulement du fluide. Normalement, selon les règles de la perméabilité un fluide rentre par une face et ressort par l'autre. La perméabilité d'un bois sain est une propriété extrêmement variable. Elle peut varier d'une espèce à l'autre par un facteur de un million. La perméabilité longitudinale est plus grande que celle transversale (radiale ou tangentielle). Les conifères sont beaucoup moins perméables que les feuillus. Les attaques biologiques peuvent causer une dramatique augmentation de la perméabilité. Ainsi, la facilité de pénétration tend à augmenter avec le degré de détérioration.

#### - *Un matériau poreux*

Le bois est un matériau à structure cellulaire (voir Ernest Chevalley, *Le bois : panneaux et matériaux; technologie à l'usage des métiers du bois*, Lausanne : SPES, 1976, p. 1 à 28). Les cellules sont les unités anatomiques du bois. Pour l'ensemble des arbres, les cellules peuvent être classées en trois groupes :

- les cellules de soutien ou tissus fibreux;
- les cellules de conduction ou vaisseaux;
- les cellules de réserves ou parenchymes.

Dans les feuillus, la porosité du bois est donnée par les cellules de conduction ou vaisseaux qui peuvent être comparées à des tubes très fins placés parallèlement à l'axe de l'arbre. Elles sont visibles à l'œil nu dans la zone de l'aubier et du bois de printemps. Ce système de canaux est complété par des conduits placés perpendiculairement aux vaisseaux, les rayons médullaires. Leur rôle est de faire accéder la sève jusqu'au centre du tronc. Celle-ci peut circuler d'un vaisseau à l'autre en passant par les pores appelés trachées.

Pour les résineux, le système d'adduction de la sève est différent. Au lieu de former un système de canaux verticaux et rayonnants, les cellules de soutien ne font qu'un avec les vaisseaux. Le système circulatoire est ainsi composé de trachéides qui sont disposées aussi bien verticalement qu'horizontalement. La communication entre celles-ci se fait par les alvéoles. Au printemps, le départ de la végétation provoque dans le bois initial des vaisseaux et des trachéides d'un diamètre relativement important, tandis que le bois d'automne, les vaisseaux sont insignifiants.



Dans un bois sec, les liquides, et donc la solution consolidante, peuvent emprunter ses voies de circulation. On se rend bien compte que même dans un bois sain, les possibilités de pénétrations sont hétérogènes en fonction du diamètre des pores variant entre le bois initial et le bois final.

Dans un bois dégradé, c'est à dire affaibli par l'humidité, le soleil, les attaques d'insectes xylophages et de microorganismes, la porosité est considérablement accrue. Un bois vieux et bien sec est généralement micro-fissuré, lorsqu'il n'est pas fendu et craqué. La pénétration du consolidant sera donc toujours plus facile dans un bois altéré que dans un bois sain.

On constate une différence de porosité importante entre un bois vermoulu et pourri (voir Françoise Cuany, Volker Schaible und Ulrich Schießl, « Studien zur Festigung biologisch geschwächten Nadelholzes : Eindringvermögen, Stabilitäterhöhung feuchtephysikalisches Verhalten », in : *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung*, Jahrgang 8/1994, heft 1.) (renvoi C1a). Dans un bois vermoulu, le réseau des galeries ne dépend que de l'appétit des larves (lui-même influencé par le climat) et leur durée de vie. Les galeries sont généralement continues même si il peut arriver qu'elles soient bouchées par de la sciure ou des déjections des larves. Le diamètre des conduits varie d'une espèce à l'autre, il s'accroît généralement le long de la galerie en fonction de la croissance de la larve. Le trou d'envol est donc plus large que le diamètre moyen de la galerie. Le grand nombre de galeries augmente la porosité et favorise l'introduction d'un consolidant (augmentation du phénomène de capillarité, plus nombreuses communications entre les cellules). Mais dans le cas extrême, le bois peut être très poudreux et remplir complètement les galeries ce qui peut gêner la pénétration du consolidant. La consolidation sera donc difficilement homogène.

Dans un bois pourri, il n'y a pas le problème de la sciure ou des déjections pouvant gêner la pénétration du consolidant. La consolidation est donc généralement plus facile et plus homogène que dans un bois vermoulu.

Dans l'icône, il n'y a pas seulement le support qui est poreux. Mais également la préparation, généralement une charge minérale (sulfate ou/et carbonate de calcium) liée avec une colle animale (colle d'esturgeon, colle de peau...), et la couche picturale (porosité qui dépend de la teneur en liant et du broyage des pigments. Voir G. Delcroix et M. Havel, *Phénomènes physiques et peinture artistique*, Puteaux : EREC, 1988, p.191-193) sont des couches à haute porosité. Le consolidant et les solvants migreront donc forcément dans ces couches. Cela est inévitable. Il faut donc choisir des matériaux qui seront également compatible avec tous les matériaux constitutifs de l'œuvre. Il faudra particulièrement attaché de l'importance à choisir des produits qui ne modifieront pas la couleur et qui n'assombriront pas la peinture.

## Les particularités du bois dégradé

Le support que nous devons consolider est un bois dégradé : soit attaqué par des insectes xylophages, soit contaminé par les microorganismes. Dans le premier cas, nous parlerons de bois vermoulu, dans le second de bois pourri. Les bois vermoulus ou/et pourris peuvent avoir des degrés d'altération bien différents : les dégâts peuvent être très superficiels ou bien quasiment invisibles à l'œil nu mais très grave en profondeur. Les dégâts peuvent être très localisés (un angle du support par ex.) ou bien être généralisés au support tout entier. Il peut y avoir une perte importante de matière originale et de grandes lacunes. De toute manière, la dégradation est hétérogène et pose le problème de l'interface entre les zones saines et les zones dégradées. Le bois peut être décrit comme étant friable, mou, spongieux... Dans les cas les plus graves le bois tombe en poussière dès qu'on le touche.

Dans la structure même du bois, les transformations sont très différentes en fonction que le bois ait été altéré par des insectes ou des micro-organismes (voir : Ulrich Schießl, « Festigkeitserhöhende Konservierung von Holz » in : *Holzschutz, Holzfestigung, Holzergänzung*, Tagungsbericht Nr1, München : Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, 1992, p.13-17). Cela est très important de comprendre cette différence car cela aura des conséquences sur la consolidation elle-même et la plus ou moins grande facilité d'imprégner le bois.

Le bois attaqué par les microorganismes est détruit dans sa substance même. Les microorganismes détruisent les murs des cellules du bois. Il y a un changement chimique du bois. La substance (cellulose, lignine) des murs des cellules du bois est détruite par une attaque enzymatique. Les cellules du bois communiquent alors entre elles. En général, un bois endommagé par les microorganismes a une humidité interne plus grande qu'un bois sain. Il est aussi plus sensible à l'humidité et réagit donc plus vivement qu'un bois sain. On constate une grande perte de volume et l'apparition d'un morcellement en cube. Une perte en humidité agrandit l'affaiblissement du bois. On constate une perte de poids du bois. Le bois peut être coloré à cause de la lignine restante et des produits de changement des moisissures. Une solution fluide de consolidant entre largement et de façon homogène dans un tel bois.

Le bois attaqué par des insectes xylophages n'est pas changé chimiquement. Le bois en dehors des galeries mangées par les insectes est intact. On constate une plus ou moins grande perte de poids mais pas de perte de volume. Il a un comportement légèrement différent à l'humidité. Il peut être fragilisé plus ou moins localement. La pénétration des consolidants est très variable en fonction du degré et du type d'attaque (les galeries auront un diamètre plus ou moins grands, seront plus ou moins à la surface en fonction des espèces d'insectes...).

*Comportement d'une solution de consolidant lorsqu'elle pénètre dans le bois.*

Biblio : Françoise Cuany, Volker Schaible und Ulrich Schießl, « Studien zur Festigung biologisch geschwächten Nadelholzes : Eindringvermögen, Stabilitäterhöhung feuchtephysikalisches Verhalten », in : *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung*, Jahrgang 8/1994, heft 1, p.249-251;

Liliane Masschelein-Kleiner, *Liants, Vernis et Adhésifs anciens*, Cours de conservation 1, Bruxelles : IRPA, remise à jour, 1983.

Gilbert Delcroix et Marc Havel, *Phénomènes physiques et peinture artistique*, Puteaux : EREC, 1988.

Il est important de comprendre le comportement d'une solution de consolidant lorsqu'elle pénètre dans le support bois. Cependant, cela est une question très difficile. Il existe différents types d'écoulement d'un liquide épais dans un matériaux poreux. La prévisibilité de ce comportement est rendue difficile par la concomittance de différentes phénomènes physico-chimiques : les phénomènes de surface (tension de surface, mouillabilité), la capillarité, l'adsorption, la viscosité, la compression de l'air.



- les types d'écoulement d'un liquide épais dans un matériau poreux.

On peut caractériser l'imprégnation d'un bois comme l'écoulement d'un liquide généralement épais, la solution consolidante, dans les pores du bois. D'un point de vue physique, il existe trois types d'écoulements : laminaires, turbulent ou mixte. Un fluide qui s'écoule sans obstacle dans une conduite bien lisse et cylindrique présente un régime laminaire. La vitesse d'écoulement va en croissant depuis la paroi jusqu'à l'axe de la conduite où elle atteint sa valeur maximum. Dès qu'il y a des obstacles, comme c'est le cas dans le réseau poreux du bois (parois rugueuses, conduites tortueuses...), les changements de directions imposées au courant font varier la vitesse d'écoulement qui devient irrégulière : le régime est dit turbulent. On peut aussi avoir une combinaison de ces deux types, ce qui donne un régime mixte. Le passage du régime laminaire au régime turbulent dépend de la vitesse d'écoulement, de la viscosité du fluide et de la géométrie des conduites. Autant dire, dans le cas du bois, d'autant plus d'un bois dégradé, qu'il est impossible de savoir ce qui va se produire.

Les propriétés physiques des substances consolidantes elles-mêmes et leurs interactions avec la paroi des cellules du bois ne sont connues que partiellement. Ces propriétés peuvent favoriser ou gêner la pénétration de la solution consolidante dans le bois. Il est possible d'extrapoler en fonction des règles bien connues de la rhéologie mais il ne sera jamais possible de prévoir exactement le comportement du consolidant.

Lorsqu'un fluide pénètre dans un corps poreux, il se produit des phénomènes de surface où interviennent différents paramètres physiques comme la tension de surface et la mouillabilité de la solution.

Les phénomènes de surface reposent sur le concept de tension de surface. Tout se passe comme si la surface du liquide était une membrane élastique uniformément tendue, cherchant toujours à occuper la surface minimale. Le degré de tension de cette membrane est mesuré par un coefficient dit *tension superficielle*, qui est une constante caractéristique d'un liquide. La tension superficielle est la force qui maintient en contact les molécules de la surface d'un liquide. Il existe également une tension interfaciale entre un liquide et un solide. La notion de tension superficielle permet d'expliquer les phénomènes de mouillabilité et de capillarité qui interviennent fondamentalement dans une consolidation par imprégnation.

Plus la tension superficielle d'un fluide est grande, plus il aura tendance à se rassembler en goutte et plus difficilement il mouillera un solide. Les forces d'interaction des molécules du fluide entrent en compétition avec les forces d'interaction des molécules du solide. Quand ces dernières l'emportent, le mouillage est bon.

#### - la capillarité

La vitesse de pénétration des liquides peut être amplifiée par le phénomène de capillarité. En effet, un certain nombre de canaux dans le bois présentent des dimensions capillaires (un très petit diamètre pour une très grande longueur). Ce phénomène est décrit par la loi de Jurin : la hauteur à laquelle s'élève un liquide dans un capillaire varie en raison inverse du rayon du tube à l'endroit où s'arrête le liquide et en proportion directe de la tension superficielle. Donc plus la tension superficielle d'une solution est grande, plus celle-ci pénétrera dans le réseau capillaire.

Il est possible de montrer par des calculs que les capillaires les plus larges se remplissent le plus vite, mais cette vitesse est freinée car ils doivent alimenter les capillaires les plus minces avec lesquels ils communiquent et où la hauteur de migration est plus importante. Les lois de la capillarité peuvent être modifiées par la présence d'élargissement ou de rétrécissement dans les capillaires.

Dans le cas de la consolidation par imprégnation, la question est un peu complexe, car nous désirons à la fois une bonne pénétration, donc une tension superficielle grande et un bon mouillage, tension superficielle basse. Cependant, les interactions physico-chimiques entre les matériaux jouent aussi un grand rôle.

#### *- l'adsorption*

Un autre phénomène peut ralentir la pénétration (mais favoriser la mouillabilité) : l'adsorption. L'adsorption est le phénomène selon lequel des substances gazeuses, liquides ou solides restent fixées à la surface de certains solides ou liquides sans qu'il y ait formation de composés chimiques définis. Il semble que, dans le cas des liquides, l'adsorption soit essentiellement chimique et que la couche adsorbée soit monomoléculaire. On a constaté que lorsque une solution est mise en contact d'un adsorbant, la concentration de la solution change. L'adsorbabilité des deux constituants peut donc être différente et la composition de la couche adsorbée n'est pas nécessairement la même que celle de la solution.

L'adsorption joue un rôle certain lors du mouvement d'une solution dans un corps poreux. La progression de la solution dans un tel corps suit les étapes suivantes. Il y a d'abord migration de la vapeur et adsorption sur les parois des pores, la couche est monomoléculaire. Dès que les parois sont saturées la vapeur passe librement. Le liquide commence alors à se condenser dans les étranglements. Il adsorbe ensuite sur les parois de la cavité. Le liquide commence à fluer sur les parois. Enfin il remplit toute la cavité.

### *- la viscosité*

La viscosité de la solution est peut être le facteur essentiel à comprendre et à maîtriser pour obtenir une bonne pénétration du consolidant. La viscosité est la résistance à l'écoulement d'un liquide. Elle ne dépend que de la matière (notamment de sa température de transition vitreuse, et de la température (la viscosité diminue lorsque la température augmente). Les molécules d'un fluide peuvent glisser les unes sur les autres mais ce n'est que dans les fluides parfaits qu'elles le font sans frottement. Les frottements entre les molécules du fluide lui-même et avec la surface sur laquelle il s'écoule, se traduisent par une certaine viscosité. L'écoulement d'un liquide est facile loin des parois mais difficile à leur contact. Cette différence qui s'explique par la viscosité est une force variable de résistance qui est soumise, en tout point, à une force constante, qui est la pesanteur et la pression exercée pour faire pénétrer le consolidant (pinceau, seringue, vide...). Plus un consolidant sera visqueux, moins il pénétrera facilement et profondément dans le bois.

Il est possible d'évaluer la viscosité par différents procédés (voir « Méthodes industrielles et d'ateliers pour mesurer la viscosité » dans Gilbert Delcroix et Marc Havel, *Phénomènes physiques et peinture artistique*, Puteaux : EREC, 1988, p.221-223). Ces méthodes sont les seules efficaces pour déterminer la viscosité d'un produit. On a essayé en vain de rattacher la viscosité au poids moléculaire et à la température d'ébullition (des lois physiques ont été trouvées mais de trop nombreuses exceptions font qu'elles ne sont pas fiables). Il est d'autant plus difficile de prévoir la viscosité finale d'un mélange (mélange de solvants ou de solvant et d'une résine).

Les consolidants sont classés selon une basse, moyenne ou grande viscosité. Il est rare de trouver une valeur précise en centipoise. Souvent la valeur donnée ne veut rien dire car il n'est pas précisé avec quel solvant, à quelle concentration et quelle température la mesure a été faite. Il serait intéressant d'avoir une série de mesures pour différents consolidants dans différents solvants, pour pouvoir comparer précisément ces mesures. Il faut rechercher des polymères qui pour une faible viscosité auront une concentration minimum. Cela dépend de la résine et du solvant. David Grattan (dans « Consolidants for degraded and damaged wood » dans *Proceedings of the Furniture and Wooden Objects Symposium*, Canadian Conservation Institute, Ottawa, 1980, p.27-42) a fait une compilation des informations sur la viscosité donné par les fabricants : les butyrales de polyvinyles sont les résines les moins bonnes et les résines acryliques sont de loin les meilleures



Les consolidants généralement utilisés pour l'imprégnation, des solutions polymériques dans des solvants organiques, ont rarement une basse viscosité (voir : Petr Kotlik, « Impregnation under Low Pressure », *Studies in Conservation*, n°1, vol.43, 1998, p.42). La viscosité de solutions macromoléculaires augmente très rapidement lorsque la concentration du polymère augmente. Des faibles valeurs de viscosité peuvent être atteintes seulement avec des solutions avec une faible teneur en polymère. De ce point de vue, les dispersions de polymère sont plus avantageuses. A une teneur en solide de 50%, les dispersions aqueuses ont habituellement une viscosité relativement basse. Cependant, les particules de polymère dans une dispersion sont relativement grosses, ce qui est une gêne à la pénétration dans les matériaux poreux. Une autre solution au problème de la viscosité peut être l'utilisation d'oligomères ou même de monomères (composés époxy, esters d'acides acryliques et méthacryliques), qui acquerront les propriétés de macromolécules après polymérisation in situ.

#### *- La compression de l'air*

Il faut prendre aussi en compte l'air qui est emprisonné dans les cellules du bois. Lorsque l'on introduit une solution de consolidant, l'air sera partiellement comprimé en raison de la pression initiale exercée. Il est extrêmement difficile de savoir dans quelle mesure l'air comprimé peut gêner ou non la pénétration de la solution. Nous ne souhaitons pas remplir tous les pores mais nous souhaitons que la solution consolidante puisse atteindre toutes les zones endommagées, ce qui n'est vraiment pas facile à contrôler. Des solutions pratiques ont été trouvées pour pallier à ce problème comme la consolidation sous vide.

## *Les observations dans la pratique de la pénétration du consolidant.*

Il est difficile d'après les règles théoriques de la circulation d'un liquide dans un matériaux poreux, de prévoir comment va pénétrer notre solution consolidant dans le bois à traiter. Nous rappelons que le but de l'imprégnation n'est pas de combler et boucher les pores du bois, mais renforcer les fibres du bois, surtout de rétablir les liens qui ont été rompu par les larves ou les micro-organismes. D'une certaine manière, il faut que le consolidant joue le rôle d'un adhésif. Lorsque nous parlerons de consolidation totale se sera pour dire que le consolidant est distribué de manière homogène dans toutes les zones nécessitant une consolidation.

La diffusion d'un consolidant n'est pas du tout la même dans un bois sain et dans un bois vermoulu et/ou pourri. De nombreuses recherches ont été menées dans le monde industriel pour fabriqué des bois composites plus résistants aux variations d'humidité. Mais leur préoccupation et leur réflexion ne sont pas du tout celles que doit avoir un conservateur restaurateur face à un support de bois dégradé. Nous n'emploierons donc pas les mêmes méthodes.

*Des analyses au microscope à balayage électronique ont été faites par le Prof Schießl et ses collaborateurs sur des échantillons de bois consolidé avec différents consolidants aussi bien naturels que synthétiques par une imprégnation sous pression normale (Voir Françoise Cuany, Volker Schaible und Ulrich Schießl dans :*



« Studien zur Festigung biologisch geschwächten Nadelholzes : Eindringvermögen, Stabilitäterhöhung feuchtephysikalisches Verhalten », in : Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, Jahrgang 8/1994, heft 1, p.252-265). Ils ont constaté que la consolidation d'un bois pourri était plus homogène que celle d'un bois vermoulu. Dans le bois pourri le réseau capillaire est plus régulier que dans un bois vermoulu, où des accidents dans les galeries, des bouchons de sciures ou des corps de larves mortes peuvent être des obstacles à la pénétration du consolidant.

La microscopie par balayage électronique a aussi été utilisée pour étudier la distribution des résines synthétiques consolidantes après un traitement d'échantillons de bois détériorés par imprégnation par le vide par Arno P. Schniewind et Peter Y. Eastman (voir « Consolidant distribution in deteriorated wood treated with soluble Resins » dans Journal of the American Institute for conservation, vol.33, n°3, 1994, p.247-255). Les résines étudiées sont les suivantes : Butvar B98, Paraloid B72 et Butvar B90. Les auteurs concluent que la résine ne pénètre pas uniformément dans le bois : certaines trachéides sont entièrement remplies, d'autres ne présentent aucun dépôt de résine. Ils montrent également que cette technique peut entraîner des dommages dans la structure cellulaire du bois. La mise sous vide d'objet fragile n'est pas recommandée, la différence de pression exercée par elle seule peut provoquer des effondrements de galeries; la vitesse accrue de l'écoulement peut aussi être un problème. Cependant, il est sans conteste que la mise sous vide améliore la profondeur de pénétration et peut dans certains cas être utile, zones dégradées loin de la surface du bois par ex, cas dans lequel le consolidant doit donc s'écouler à travers une zone importante de bois relativement sain, moins pénétrable..

## *Importance du choix du solvant*

Le choix du solvant peut sembler imposé par le choix de la résine, qui est généralement soluble dans un nombre défini de solvants. Mais le solvant peut avoir tant d'influence sur les matériaux originaux et la réussite de la consolidation, qu'il commandera par exemple l'élimination d'une résine uniquement soluble dans un solvant non compatible avec le bois. Les propriétés suivantes sont très importantes à connaître pour choisir une solution consolidante, tout autant que les propriétés des résines. Cela est souvent malheureusement très souvent oublié. Le bois étant une substance polaire, la polarité des solvants doit être prise en compte et diminuée au maximum pour éviter le gonflement du bois, surtout dans le cas où l'objet est polychromé. Il est important aussi de jouer avec la volatilité du solvant : il faut trouver un équilibre entre une faible volatilité pour faciliter une meilleure pénétration et une faible rétention pour éviter la plastification des matériaux de la couche picturale. La volatilité du solvant influence aussi la naissance de contraintes au sein du bois, ainsi les équilibres de l'humidité interne. En choisissant un bon solvant de la résine (forte affinité chimique) ou un solvant pauvre, nous interviendrons sur la viscosité et donc sur l'écoulement du solvant.

- la polarité des solvants.

Le bois est une substance polaire (Voir Ulrich Schießl, « Festigkeitserhöhende Konservierung von Holz » in : Holzschutz, Holzfestigung, Holzergänzung, Tagungsbericht Nr1, München : Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, 1992, p.28-29). On utilise donc généralement des solvants polaires (acétone, méthanol) pour assurer un meilleur renforcement du bois : « La propriété d'un polymère donné déposé à partir d'une solution consolidante peut dépendre des qualités dynamiques du solvant utilisé. Hansen et ses collaborateurs ont trouvés des propriétés mécaniques de films de AYAT significativement différentes selon la solution dans l'acétone ou le toluène, le toluène donnant les valeurs les plus basses. Wang et Schniewind ont prouvé que l'utilisation des solvants polaires plutôt que celle des solvants non-polaires conduisait à un niveau relativement plus grand de renforcement. » (voir Arno P. Schniewind, « Consolidation of wooden panels », in : The Structural Conservation of Panel Paintings, proceedings of a symposium at the Paul Getty Museum, 24-28 April 1995, Los Angeles : the Getty Conservation Institute, 1998, p.98) La polarité en fait, en rendant l'adsorption possible et donc une très bonne mouillabilité, permettrait une meilleure adhérence de la résine et donc un renforcement plus efficace.

« Bien que les solvants polaires aient une affinité pour le bois, ils tendent à pénétrer pauvrement comparés à des solvants non polaires, parce que les molécules polaires peuvent être adsorbées sur les surfaces internes du bois, et une telle adsorption réduira leur mobilité. » (Arno P. Schniewind, « Consolidation of wooden panels », in : The Structural Conservation of Panel Paintings, proceedings of a symposium at the Paul Getty Museum, 24-28 April 1995, Los Angeles : the Getty Conservation Institute, 1998, p.93.) Il semble en fait que la distribution du consolidant ne soit pas significativement affecté par la polarité des solvants (voir ibidem, p.98.).



Cependant, les solvants polaires sont capables de faire gonfler le bois. Les solvants non polaires ne produisent pas ces effets. Les conséquences peuvent être très graves sur un bois pourri, par exemple, qui réagira violemment à un solvant polaire, ce qui créera des dommages irréversibles. Un solvant tel que l'éthanol peut entraîner l'ouverture de fentes initialement présentes dans le bois à consolider (voir R. Barclay, « Wood consolidation on an eighteenth century English fire engine », *Studies in Conservation*, vol. 26, n°4, 1981, p.137).

Les solvants polaires sont l'eau, éthanol, méthanol, acétone, acétate d'éthyl, l'éthylglycol (les alcools et cétones). Les solvants faiblement polaires sont : le trichloroéthylène, le toluène, le xylène (les aromatiques). Les solvants non polaires sont : essences, essence de térébenthine, tétrachlorométhane (les aliphatiques).

Tableau des facteurs de gonflements de quelques solvants (Facteur de gonflement de 100 pour l'eau):

n-butylamine	139
eau	100
méthanol	95
ethylglycol	87
éthanol	83
acétate de méthyle	80
acétate d'éthyle	environ 70
acétone	63
propanol	45
butanol	13,5
amylalcool	4,9
chloroforme	3,2
tétrachlorométhane	1,7
toluène	1,6
essence	0,0

(d'après Bergman, données trouvées dans : Françoise Cuany, Volker Schaible und Ulrich Schießl, « Studien zur Festigung biologisch geschwächten Nadelholzes : Eindringvermögen, Stabilitäterhöhung feuchtephysikalisches Verhalten », in : *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung*, Jahrgang 8/1994, heft 1, p.263)

Mieux que cela, Arno P. Schniewind (dans « Consolidation of wooden panels », in : *The Structural Conservation of Panel Paintings*, proceedings of a symposium at the Paul Getty Museum, 24-28 April 1995, Los Angeles : the Getty Conservation Institute, 1998, p.93) donne des indications de gonflement pour des solutions de consolidant à 15% en poids :

- Paraloid B72 dans le toluène	0,06% de gonflement
- AYAT dans le toluène	0,07%
- Paraloid B72 dans acétone	1,03%
- AYAT dans acétone	2,17%
- Butvar B98 dans méthanol	3,31%

Ce gonflement n'est pas permanent et après quatre semaines, l'objet a retrouvé son volume initial. Cependant, pour des panneaux peints, même un gonflement temporaire n'est pas acceptable entraînant des contraintes indésirables dans les couches picturales. Nous écartons donc toute utilisation des solvants polaires dans le cas d'imprégnation de bois polychrome.

*-la volatilité du solvant.*

C'est une des questions les plus énigmatiques des solvants. Il est assez facile de connaître les propriétés d'un solvant, mais difficilement comment il peut réagir avec la résine, avec le bois... Le climat joue aussi un rôle très important : il vaut mieux consolider un bois à une température de 20°C et une humidité relative de 55-60%. Pour que la consolidation soit efficace, il vaut mieux que l'évaporation ne se produise pas trop rapidement, il vaut donc mieux utiliser des solvants pas trop volatiles. Mais il faut pas non plus que les solvants restent durant des mois à l'intérieur du bois (plastification de la résine, voire de la couche picturale). Il faut savoir que si on utilise un mélange de solvants, cela est encore plus compliqué à évaluer.

Dans le cas qui nous intéresse, le consolidant (la résine) est généralement mis en solution à froid dans un solvant. La consolidation, donc le durcissement du consolidant, se fait selon un procédé physique, par évaporation du solvant ou par refroidissement du consolidant. Lorsque l'évaporation est trop rapide, il peut se produire un problème de condensation (voir Ulrich Schießl, « Festifheitserhöhlende Konservierung von Holz » in : *Holzschutz, Holzfestigung, Holzerganzung*, Tagungsbericht Nr1, München : Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, 1992, p.18). Il y a aussi une grande différence de volume et de poids entre la solution et la matière sèche ce qui peut engendrer des contraintes à l'intérieur du bois. De plus, en s'évaporant, le solvant peut entraîner avec lui des molécules du polymère utilisé, ce qui entravera la pénétration du consolidant. Ce sont des inconvénients qu'il faut avoir en tête lorsque l'on réalise une consolidation.

L'évaporation du solvant joue aussi un rôle sur l'humidité interne du bois. Il est possible de calculer théoriquement l'accroissement du poids du bois après consolidation (voir Françoise Cuany, Volker Schaible und Ulrich Schießl, « Studien zur Festigung biologisch geschwächten Nadelholzes : Eindringvermögen, Stabilitäterhöhung feuchtephysikalisches Verhalten », in : *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung*, Jahrgang 8/1994, heft 1, p.262-263). Cette valeur théorique n'est jamais atteinte. Plus la concentration est forte, plus la différence est grande. Une explication est que l'évaporation du solvant entraîne l'évaporation d'une partie de l'eau liée. Cette perte n'est pas compensée par l'hygroscopicité habituelle qui a été réduite par l'imprégnation d'un polymère synthétique.

L'évaporation du solvant est aussi dépendant de la température de transition vitreuse du consolidant qu'il met en solution.

- *Influence sur la viscosité et l'écoulement des polymères.*

C.V. Horrie, *Materials for conservation : organic consolidants, adhesives and coating*, Oxford : Butterworths-Heinemann, 1987, p.65-66.



Une solution diluée d'un polymère dans un bon solvant (qui présente des paramètres de solubilité similaires) a une haute viscosité relativement à la solution de ce même polymère dans un solvant pauvre. Cependant, à forte concentration (supérieure à 15-30 %), les solvants pauvres ont une plus grande viscosité que les bons solvants. Les bons solvants, par conséquent, permettent au polymère de s'écouler plus facilement à haute concentration, par exemple dans les dernières étapes du séchage. Une combinaison optimum de solvants pour appliquer un film de polymère semblerait être un mélange d'un solvant pauvre volatile avec une petite quantité d'un bon solvant moins volatile. Cela est vrai pour la formulation d'un adhésif mais ne peut s'appliquer à la formulation d'un consolidant : la pénétration en profondeur d'une solution de polymère dans des objets est obtenue en choisissant un solvant avec la meilleure similitude des paramètres de solubilité.

Il ne faut donc pas un solvant ni trop volatile ni trop polaire. Les aromatiques semblent bien appropriés. Ils présentent cependant un problème d'interaction avec la couche picturale et plus particulièrement les vernis. L'idéal serait de pouvoir d'utiliser un aliphatique. Mais rare sont les résines qui sont solubles dans des aliphatiques. Il est donc fréquent d'utiliser des mélanges aromatiques (dissolvant) et aliphatiques (diluant).

## Les hydrocarbures aromatiques et aliphatiques.

Gustav A. Berger, « Heat-Seal Lining of a Torn Painting with Beva 371 », *Studies in Conservation*, n°3, vol. 20, 1975, p. 146.

Les mélanges d'hydrocarbures aromatiques et aliphatiques sont extraits du mazout par distillation fractionnelle et sont connus par différents noms : naphta, essence (benzine), mineral spirits, white spirits, etc. Parce que les fractions du pétrole sont des produits naturels, ils diffèrent en fonction des matériaux purs dont ils dérivent et la méthode par laquelle ils ont été raffinés. Des solvants extraits du pétrole et ayant une composition chimique différente peuvent avoir un nom identiques dans des différents pays. Une compagnie peut commercialiser un produit sous un nom sans pour autant que toutes les données soit fixes. Berger donne l'exemple de la compagnie Shell qui produit six mineral spirit aux USA dont le point d'ébullition varie de 5°.

Bien qu'il soit préférable de préparer soi-même un mélange de solvants pour une consolidation à partir de solvants hautement raffinés, il est beaucoup plus économique d'utiliser des fractions de pétroles moins raffinées qui sont des mélanges de solvants à un taux de x% d'aromatiques. Cependant, il ne faut utiliser que les produits dont le pourcentage d'aromatiques est indiqué et relativement pur pour limiter les risques de détérioration des consolidants. Selon Berger, une indication de la pureté des solvants est la différence entre le point d'ébullition initial et le point de fin de séchage (dry-end-point). Un haut pourcentage de C8 et aromatiques suivants (dernière colonne du tableau) doit aussi être évité sauf si leur composition est connue, comme dans le cas du toluène. Un haut point de fin de séchage et une coloration jaune sont des signes dangereux.

Nom du solvant	composition aromatique en %							
	Taux d'évaporation : Toluène =1	Point d'ébullition initial	Dry-end-point	Kauri Butanol Number	Aromatique	Paraffine	Naphtane	C <sub>8</sub> et aromatiques suivants
Toluène	1,00	110	111	105	100	0	0	0
Xylène	0,34	138	139	94	100	0	0	75
VM & P Naphtha	0,45	113	143	34	9,5	72,8	17,7	7,7
Oderless Mineral Spirit	0,03	179	190	28	0	84	16	0
Mineral Spirit	0,06	156	198	36	15	49	34	15
Amsco Solv. B	0,12	137	190	73	70	15	14	52

Données provenant de : Amsco Solvents / Chemicals Emulsions, Holtmelt Adhesives, Amsco International, 1345, Avenue of the Americas, New York, NY 10019.

## *Les propriétés physiques, mécaniques et chimiques d'un bon consolidant.*

Biblio : David W. Grattan, « Consolidants for degraded and damaged wood » dans *Proceedings of the Furniture and Wooden Objects Symposium*, Canadian Conservation Institute, Ottawa, 1980, p.27-42.

Avant tout un bon consolidant sera le produit qui rendra une bonne cohésion au matériau bois, notamment grâce à ses propriétés d'adhésion. Le bois n'est pas un matériau inerte, même dans les meilleures conditions de conservation, il faudra donc choisir dans toutes les résines qui sont à notre disposition celles qui auront les meilleures qualités mécaniques (flexibilité, dureté, plasticité). Il faut aussi que se soit un produit stable dans le temps. Parfois, il pourra sembler nécessaire d'ajouter des additifs pour améliorer la longévité et les qualités mécaniques d'un polymère. La mise en œuvre (III) est primordiale : on peut choisir un bon consolidant, mais faire une mauvaise consolidation parce qu'on aura choisi un mauvais solvant (choix du solvant/ ou une mauvaise concentration.

### *- Les propriétés d'adhésion*

Biblio : K.W. Allen, « Adhesion and Adhesives - Some Fundamentals », in : *Adhesives and Consolidants*, Preprints of the contributions to the Paris Congress, 2-8 September, London : IIC, 1984, 5-12.

G. Delcroix et M. Havel, *Phénomènes physiques et peinture artistique*, Puteaux : EREC, 1988, p.223.

La résine doit être un adhésif assez bon pour permettre de coller efficacement les morceaux de bois détachés ou en poudre. Pour cela il doit avoir une certaine affinité avec le matériau bois et notamment pouvoir créer des liaisons avec lui ayant une force certaine. La solution utilisée doit relativement bien mouiller la substance du bois, donc avoir une grande tension superficielle, et être adsorbée par elle. Cela dépend aussi de la viscosité de la solution et donc du solvant utilisé.

- Les propriétés mécaniques du polymère (flexibilité, dureté, plasticité)

Les propriétés mécaniques d'un polymère peuvent être extrapolées de valeurs théoriques calculées par les fabricants et qui doivent figurer sur toute fiche commerciale et technique d'un produit : l'élongation à la rupture, le module d'élasticité, la dureté et la température de transition vitreuse.

Il faut savoir cependant que ces données seront influencées par les interactions avec le matériau bois. Les propriétés des composites bois-polymères ont été étudiées pour l'industrie du bois et la fabrication de bois plus résistants. Il y a cependant peu d'études sur les propriétés mécaniques d'un bois dégradé polymérisé. (Voir [efficacité de la consolidation](#),).

L'élongation à la rupture ou module de rupture permet de mesurer les forces de liaison (voir Shawn M. Carlson et Arno P. Schniewind, « Residual solvents in wood-consolidant composites », dans *Studies in conservation*, vol.35, 1990, p.27). Plus l'élongation à la rupture d'un polymère est faible, plus il aura tendance à se fendiller. Le module d'élasticité permet d'évaluer la dureté des liaisons. La dureté se mesure selon des échelles différentes (Knoop, Brinell). Il est difficile de faire des conversions de l'une à l'autre.



Ces notions sont très importantes pour choisir un polymère qui renforcera efficacement le bois. La dureté et autres qualités mécaniques du polymère dépendent en grande partie de la transition vitreuse. Les qualités mécaniques sont aussi influencées par la quantité de solvant, et donc la concentration en polymère utilisée. Elles vont évoluer dans le temps, c'est pourquoi il est important de connaître le type de vieillissement du polymère.

- *Le bon vieillissement du polymère.*

Un polymère doit présenter de bonnes propriétés au vieillissement. Pour les résines d'imprégnation, le jaunissement n'est pas considéré comme un problème majeur. Lorsqu'elles sont appliquées avec soin, la surface n'est pas recouverte par la résine. Le bois devient plus foncé à l'imprégnation parce que la résine facilite la pénétration de la lumière dans le bois. Le jaunissement donc un critère à ne prendre en compte qu'en dernier lieu.

Grattan (dans « Consolidants for degraded and damaged wood » dans *Proceedings of the Furniture and Wooden Objects Symposium*, Canadian Conservation Institute, Ottawa, 1980, p.27-42) dit qu'il ne faut pas se préoccuper de la réticulation, car de toute façon une opération d'imprégnation est irréversible puisque l'élimination de la résine nécessite une immersion dans un solvant... Cependant, il faut tout de même éviter, dans la mesure du possible, les produits qui réticulent. La réticulation tridimensionnelle et l'insolubilité de la résine empêchera toute intervention ultérieure (nouvelle consolidation, désinsectisation...).

Mais finalement le plus important est que le polymère conserve ses propriétés mécaniques dans le temps. Si l'objet doit durer, il est essentiel qu'il garde sa solidité. Bien que l'on n'ait pas fait des tests de vieillissements sur des échantillons de bois consolidés, de nombreuses études ont été faites sur le vieillissements des résines. Les acryliques, les butyrales de polyvinyles et les acétates de polyvinyles sont réputés pour avoir de bons vieillissements. Il est possible aussi d'ajouter des additifs pour améliorer la longévité et les qualités mécaniques d'un polymère.

- *Additifs pour améliorer la longévité et les qualités mécaniques d'un polymère.*

G. Delcroix et M. Havel, *Phénomènes physiques et peinture artistique*, Puteaux : EREC, 1988, p.71.

Il est toujours possible, et cela est systématique dans les produits près à l'emploi, d'ajouter des additifs pour améliorer les propriétés d'un polymère. On peut utiliser :

- des plastifiants (Pthalates, adipates, glycols) pour donner de la flexibilité à la résine et en réduire la fragilité;
- des stabilisants (sels de plomb, stéarate) pour s'opposer au vieillissement sous l'effet de la chaleur et des U.V.;
- des antioxydants (Amines aromatiques) pour lutter contre l'oxydation;
- des anti-U.V. (Benzotriazoles, benzophénones) pour retarder la dégradation photochimique;
- des antistatiques (alkylsulfonate, ammonium quaternaire) pour empêcher l'électrostaticité;
- des antifongiques (dérivés halogénés du phénol) pour lutter contre les micro-organismes.



Il semblerait que cela soit peu utilisé par les conservateurs restaurateurs qui fabriquent eux même leur solution consolidante. Il faut savoir qu'il est d'autant plus compliqué de prévoir les interactions d'un produit de restauration avec les matériaux originaux et sa stabilité que sa composition est complexe. Il semblerait que des produits contenant des additifs soient relativement moins stables que des matériaux purs.

- *la concentration d'une solution de polymère.*

Pour choisir la concentration de la solution de polymère, il est nécessaire de trouver un équilibre entre le désir d'une bonne pénétration (faible concentration) et le besoin d'obtenir un niveau raisonnable de charge en résine (forte concentration) (voir Arno P. Schniewind, « Consolidation of wooden panels », in : *The Structural Conservation of Panel Paintings*, proceedings of a symposium at the Paul Getty Museum, 24-28 April 1995, Los Angeles : the Getty Conservation Institute, 1998, p.93-94). Les deux choses sont importantes pour la réussite de la consolidation : un traitement en profondeur qui renforce efficacement le bois dégradé. Pour les bois sains, il est possible de calculer la charge maximum possible à partir de la porosité du bois (et donc de sa densité). Dans un bois détérioré, le densité relative décroît et la porosité augmente, rendant possible une plus haute charge.

Importance de la température de transition vitreuse du consolidant.

Biblio : Michael R. Schilling « The Glass Transition of Materials in Conservation », *Studies in Conservation*, n°3, vol. 34, 1989, p.110-116.

David Horton-James, Sue Walston and Stevens Zounis, « Evaluation of the Stability, Appearance and Performance of Resins for the Adhesion of Flaking Paint on Ethnographic Objects », *Studies in Conservation*, n°4, vol. 36, 1991, p.207.

La notion de température de transition vitreuse est fondamentale en conservation, surtout dans le cas d'un traitement partiellement réversible comme dans le cas de la consolidation par imprégnation. Après une définition de ce terme, nous examineront les facteurs faisant varier la température de transition vitreuse pour un même polymère. La température de transition vitreuse influence la température de travail des polymères, leur expansion thermique, la formation du film des émulsions, la viscosité, la plasticité du polymère et la rétention du solvant. Nous verrons qu'elle peut être un argument en défaveur des résines thermodurcissables. Mais particulièrement, elle joue un rôle capital dans la stabilité du polymère.

*- Définition de la température de transition vitreuse.*

La transition vitreuse est une transition de second ordre, définie comme une température à laquelle le matériau change de l'état solide, vitreux, à l'état mou, caoutchoutique. Puisque de l'énergie n'est pas libérée à travers la transition vitreuse, c'est par définition une transition de second ordre (la fusion est un exemple d'une transition de premier ordre car les substances dégagent de la chaleur au moment de la recristallisation). La transition vitreuse est une transition primaire pour les matériaux amorphes (non cristallins). A des températures au dessus de la température de transition vitreuse ( $T_g$ ), une énergie thermique suffisante est présente pour permettre aux segments des chaînes moléculaires principales de tourner, causant une augmentation du volume libre du polymère (le volume libre est cette portion du volume total d'un polymère non occupé par les chaînes du polymère). Ce qui conduit à l'augmentation de la capacité thermique (heat capacity,  $C_p$ ), du coefficient linéaire d'expansion thermique (LCTE) et de l'élasticité.

La température de transition vitreuse ne doit pas être confondue avec la température de fusion, car les polymères ne fondent pas en passant cette transition. Cependant, les particules du polymère peuvent se coller ensemble à une température supérieure à la température de transition vitreuse parce qu'ils sont plus collants. Cela donne l'apparence de fondant, mais le polymère n'est pas vraiment liquéfié. Une autre pratique commune est de déterminer la température de transition vitreuse d'un polymère en mesurant son point de ramollissement. Ceci peut être trompeur en raison de la forte dépendance de l'apparence du point de ramollissement en fonction de la méthode d'analyse.



- *Les facteurs jouant sur la température de transition vitreuse.*

La composition chimique et la structure sont connues comme affectant la température de transition vitreuse d'un polymère. Quelques facteurs importants qui changent le niveau de la transition sont :

- a. Le type et la taille des groupes de substitution attachés au squelette du polymère;
- b. Les comonomères incorporés dans le squelette de la molécule;
- c. L'emballage de substituants autour de la chaîne principale;
- d. Liaison hydrogène et autre liaison secondaire;
- e. Réticulation et scissions des chaînes de polymère;
- f. Longueur des chaînes latérales;
- g. Poids moléculaire;
- h. La présence de plastifiants.

Il est difficile de prédire exactement quels effets les facteurs a-h auront sur la transition vitreuse, puisque la situation au niveau moléculaire est très complexe. La température et l'apparence de la transition peuvent aussi être changées par des paramètres instrumentaux.

*- La température de travail des polymères utilisés en restauration.*

La température de transition vitreuse est un facteur très important en conservation. La température de transition vitreuse affecte un certain nombre de propriétés chimiques et physiques des polymères utilisés en conservation. L'une des plus fondamentales considérations souvent étudiée est que la température de transition vitreuse définit le niveau de la température de travail d'un matériau. Une application particulière indique si un polymère doit être utilisé dans son état vitreux ou dans son état caoutchoutic pour donner un résultat satisfaisant.

*- L'expansion thermique des polymères.*

En général, les polymères ont un volume libre beaucoup plus grand au dessus de la  $T_g$  car les chaînes tournent et occupent plus d'espace. Cela a pour conséquence que le coefficient linéaire d'expansion thermique (LCTE) des matériaux est trois à cinq fois plus grand au dessus de la température de transition vitreuse ce qui peut provoquer de sévères problèmes dans certaines circonstances. Nous considérons le cas d'un polymère (consolidant) imprégné dans un objet qui a un plus petit LCTE que le polymère. Après que le consolidant ait séché, l'objet est exposé à des cycles normaux de température de l'environnement. Si les cycles de températures descendent et montent en dessous et au dessus de la température de transition vitreuse du polymère, de grands changements de dimensions seront produits dans le revêtement comme les cycles LCTE entre les petites valeurs en-dessous de la  $T_g$  et les grandes valeurs au-dessus. Pour les matériaux avec des valeurs de LCTE relativement petites et constantes, les contraintes induites par les cycles peuvent causer la délamination ou le craquement du consolidant.

## Les résines thermodurcissables

Biblio : David W. Grattan, « Consolidants for degraded and damaged wood » dans *Proceedings of the Furniture and Wooden Objects Symposium*, Canadian Conservation Institute, Ottawa, 1980, p.27-42.

C.V. Horrie, *Materials for conservation : organic consolidants, adhesives and coating*, Oxford : Butterworths-Heinemann, 1987, p.105-106.

R. Munnikendam, « Consolidation of fragile wood with low viscosity aliphatic epoxy resins » in : *Conservation of Wood in Painting and the Decorative Arts*, Preprints of the Contributions of the Oxford Congress, 17-23 september 1978, London : IIC, 1978, p.71-73.

R. Munnikendam, « Low Molecular Resins for the Consolidation of Decayed Wooden Objects », *Studies in Conservation*, vol. 17, 1972, p.202-204.

R. Munnikendam et Th.J. Wolschrijn, « Further Remarks on the Impregnation of Porous Materials with Monomers » dans *Studies in Conservation*, vol. 14, 1969, p.133-135.

On a développé leur utilisation dans la consolidation par imprégnation pour pallier à un des inconvénients des solutions de résines consolidantes (voir N.S. Brommelle et A.E.A. Werner, « Détérioration and Treatment of Wood » dans *Problems of Conservation in Museums*, Conseil international des musées, Paris : Eyrolles, Londres : George Allen and Unwin Ltd., 1969, p.69-118). Les solutions diluées doivent être appliquées en plusieurs fois pour assurer qu'une quantité suffisante de résines soit déposée dans le bois alors que l'imprégnation de résines thermodurcissables se fait en une application unique. Elles présentent aussi l'avantage de ne pas engendrer de départ de solvant, donc présente peu ou pas de retrait. Elles peuvent être utilisées à faible viscosité. Elles sont très fortes et dures mais il existe des formules plus flexibles. Les résines thermodurcissables utilisées sont les résines époxy, les résines polyesters, des résines acryliques (la polymérisation in-situ peut se faire à l'aide d'un catalyseur tel que le peroxyde de benzoyle avec chauffage ou par rayonnement gamma).

Une expérimentation a été menée par le British Museum Research Laboratory (voir N.S. Brommelle et A.E.A. Werner, « Détérioration and Treatment of Wood » dans *Problems of Conservation in Museums*, Conseil international des musées, Paris : Eyrolles, Londres : George Allen and Unwin Ltd., 1969, p.69-118). Elle a démontré qu'une formulation constituée de : 50 parts d'Araldite CY 219, 25 parts d'Hardener HY219, 1 part d'Accelerator DY 219 et le reste du solvant phtalate de dibutyle, est un excellent consolidant pour des bois très dégradés. La mixture est suffisamment mobile pour pénétrer dans le bois ruiné où elle durcit in situ à froid en une masse dure ce qui redonne au bois une bonne cohésion mécanique. C'est un produit qui peut donc présenter de bons critères techniques et amener à une très bonne consolidation.

Cependant il nous semble plus raisonnable de suivre l'attitude décrite par Barclay (dans « Wood consolidation on an eighteenth century English fire engine », *Studies in Conservation*, vol. 26, n°4, 1981, p.135). Les résines thermodurcissables ont été délibérément omises dans une série de tests de consolidants pour bois pourris qui ont été menées par la Conservation Processes Research section de l'Institut de conservation canadien (CCI). Elles ont trop de désavantages : faible réversibilité à court terme; durcissement dès la première application qui empêche la pénétration d'applications ultérieures; propriétés dépendant d'un mélange précis; des substances dans le bois peuvent influencer sur le durcissement/réticulation. La réussite du traitement semble difficile à obtenir, mais plus que cela ces produits ne sont pas acceptables d'un point de vue déontologique : complètement irréversible, ils ne permettent pas un traitement ultérieur.

Il y a de plus un risque de dessiccation des fibres. La réaction de réticulation est en effet très exothermique. Cette hausse très importante de chaleur n'est pas acceptable pour la couche picturale. Ces résines ont généralement une toxicité élevée. Elles ne semblent vraiment pas être à mettre dans toutes les mains. A n'utiliser vraiment que dans des cas de consolidation structurelle ou peut être dans des bois extrêmement fragiles qui ne pourraient supporter le retrait des solutions de résines synthétiques.



le poly(méthacrylate de méthyle) ou PMMA

biblio : C.V. Horrie, Materials for conservation : organic consolidants, adhesives and coating, Oxford : Butterworths-Heinemann, 1987, p.103 et suivantes.

Le PMMA est extrêmement stable vis à vis de la dégradation à la chaleur et le vieillissement à l'oxygène et aux U.V. (polymère de classe A selon Feller). Cependant, les polymères riches en méthacrylate réticulent à l'exposition aux U.V. La réticulation sous la lumière semble se produire sous l'action de chaînes latérales par un mécanisme d'oxydation. Les méthacrylates sont plus susceptibles de réticuler si ils sont exposés au dessus ou au niveau de leur température de transition vitreuse.

Les laques acryliques ont un pauvre dégagement de solvants pour les films secs au toucher. Il est démontré que le toluène est très fortement retenu - plus de deux mois- dans un film de Paraloid B72. A l'inverse, le para-xylène s'évapore plus lentement pendant la première étape du séchage mais s'en va plus librement durant les dernières étapes. Cela est attribué à la différence de polarité des solvants.

Bien que le Paraloid B72 est généralement rangé dans les poly(méthacrylates de méthyle), c'est précisément un poly(méthacrylate d'éthyle et acrylate de méthyle) avec un pourcentage molaire de 70:30 (voir Eddy de Witte and M. Goessens-Landrie, « The structure of « old » and « new » Paraloid B72 », ICOM CC, 5th Triennial meeting, Zagreb, 1978, 78/16/3, 9). Il est soluble dans des solvants relativement polaires. Il est souvent utilisé dans l'acétone, le toluène ou le xylène.

D'après les tests menés à l'Institut de Conservation Canadien (CCI) (voir R. Barclay, « Wood consolidation on an eighteenth century English fire engine », *Studies in Conservation*, vol. 26, n°4, 1981, p.135), le Paraloid B72 est l'une des résines les plus intéressantes pour la consolidation du bois, après les butyrales de polyvinyle et en parallèle avec le nylon soluble.

Les propriétés chimiques et la stabilité du Paraloid B72 sont bien connues et présente toutes les propriétés désirées pour un adhésif : stabilité (résistance à l'oxydation, lumière, hydrolyse et chaleur modérée), transparence, résistance mécanique et réversibilité. L'usage conseillé par Röhm et Haas est comme revêtement de surface ou liant pour encre flexographiques. Il a été également utilisé en conservation pour la consolidation de toutes sortes de matériaux.

Un de ses inconvénients est sa température de transition relativement basse (40°C) qui peut entraîner des problèmes de conservation dans les pays chauds pour des objets conservés en atmosphère non contrôlée. Il semblerait aussi, d'après les études menées par le Prof. Schießl (dans « Festifheitserhöhlende Konservierung von Holz » in : *Holzschutz, Holzfestigung, Holzerganzung*, Tagungsbericht Nr1, München : Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, 1992, p.25), qu'il ait une moins bonne pénétration, lorsqu'il est en solution dans le toluène, que le Plexigum P28 qui est un polyméthacrylate d'isobutyle, ainsi qu'un changement de coloration plus grande.

## *le poly(méthacrylate de butyle) ou PBMA*

Biblio : C.V. Horrie, *Materials for conservation : organic consolidants, adhesives and coating*, Oxford : Butterworths-Heinemann, 1987, p.103.

Le poly(méthacrylate de butyle) présente les avantages de résister au jaunissement, d'être soluble dans les hydrocarbures et d'avoir une flexibilité suffisante, une température de transition vitreuse qui prévient de la prise de poussière ( $T_g$  autour de  $65^\circ\text{C}$ ) et il est commercialement disponible dans des poids moléculaires relativement bas. Malheureusement, il a été démontré que PBMA n'est pas utilisable à long terme en raison d'une réticulation non souhaitée du polymère sous l'influence de la lumière. Après une exposition de 22 ans sur un mur du laboratoire, il est devenu à 50 % insoluble et demande des solvants plus polaires pour être dégagé. Ces tests ont été menés par Feller pour des vernis; un consolidant n'est pas exposé à la lumière. Il faudrait bien sûr mener des tests spécifiques de vieillissement dans ce cas.

Le paraloid B67 bien qu'il réticule éventuellement, apparaît être particulièrement stable et appartient à la classe A selon Feller. Cependant, cette stabilité semble dériver d'un additif inconnu, des changements significatifs peuvent apparaître si la formulation secrète est changée par les fabricants. Il est soluble dans des solvants moins polaires que le paraloid B72.

D'après Horie, les poly(méthacrylates de butyle) ont été largement remplacés par des polymères plus stables comme le paraloid B72 ou des acétates de polyvinyle. Il continue d'être utilisé pour les cas nécessitant une température de transition vitreuse basse, un bas poids moléculaire et une solubilité dans les hydrocarbures. Il n'y a pas de matériaux stables qui reproduisent les qualités utiles du poly(méthacrylate de butyle). C'est le cas de la consolidation du bois.

Les poly(méthacrylates de butyle) sont vraiment très intéressants pour la consolidation du bois. Le plexigum P28 a été testé par le Prof. Schießl (dans « Festigkeitserhöhende Konservierung von Holz » in : Holzschutz, Holzfestigung, Holzergänzung, Tagungsbericht Nr1, München : Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, 1992, p.25) en solution dans de la 'testbenzin'. Il en conclut que c'est le meilleur des produits dans tous ceux qu'il a testé, c'est à dire le Plexigum P-28 (Butylméthacrylate, Röhm), le Paraloid B72 (Polybutylméthacrylate, Röhm), le Mowilith 30 (Acétate de polyvinyle, Hoescht), l'Araldit BY 158/HY 2996 (résine époxy, Ciba Geigy), l'Araldit DY/ HY2996 (résine époxy, Ciba Geigy) et le Lignol AS/AW-K (consolidant prêt à l'emploi). Les noms commerciaux des poly(méthacrylates de butyle) les plus utilisés en conservation sont les Plexigum P28 (Röhm)/ Paraloid B67 (Röhm & Haas)/ Elvacite 2045 (DuPont). Il faudrait faire un test de ces produits pour comparer leur efficacité pour une consolidation par imprégnation en sachant que d'un fabricant à l'autre les proportions des copolymères changent et les ajouts d'additifs sont différents.

## L'acétate de polyvinyle ou PVAc

biblio : C.V. Horrie, Materials for conservation : organic consolidants, adhesives and coating, Oxford : Butterworths-Heinemann, 1987, p.92-96.

Les homopolymères d'acétate de polyvinyle sont utilisables dans un large éventail de poids moléculaires. La température de transition vitreuse du PVAc est autour de la température ambiante, contribuant à sa dureté et son adhésivité, mais aussi sa capacité à retenir la poussière et sa tendance à s'écouler à froid après de longues périodes. Bien que les alcools purs sont non-solvants, l'addition d'une petite quantité d'eau peut les convertir en solvant. De tous les polymères utilisables par les conservateurs restaurateurs, il a été démontré que le PVAc est l'un des plus stables au vieillissement à la lumière. Bien que le PVAc souffre de l'oxydation et autres mineurs changements, il ne se dégrade pas au contact de l'air et ne réticule pas de manière appréciable. Il a été démontré que le PVAc reste soluble dans les objets après plus de 30-40 ans. PVAc est incompatible avec des méthacrylates en solution.



L'acétate de polyvinyle semble donc être un bon produit de conservation. Seulement il est très polaire. Les PVAc présentent généralement une température de transition trop basse (allant de 16°C à 31°C pour la gamme d' Union Carbide Corporation) ce qui entraîne le risque du fluage ou de l'expansion thermique du polymère. De plus, c'est un matériau sensible à la vapeur d'eau qui variera de volume en fonction des variations d'humidité. Tout cela peut entraîner des contraintes dans les matériaux originaux et les fissurer ou craqueler.

Nous déconseillons donc l'usage de ce produit pour la consolidation de panneaux peints. Il pourra cependant éventuellement être utilisé si on choisit un type de PVAc avec une température de transition vitreuse la plus haute possible, dans une solution avec des solvants aromatiques et si l'œuvre est ensuite conservée dans un environnement stable.

## *Le butyrale de polyvinyle ou PVB*

biblio : C.V. Horrie, *Materials for conservation : organic consolidants, adhesives and coating*, Oxford : Butterworths-Heinemann, 1987, p.99-102.

Le butyrale de polyvinyle est disponible avec des poids moléculaires variés et des proportions différentes de groupements hydroxyles restant. Un poly(butyrale de polyvinyle) avec une grande proportion de groupes hydroxyles (17-21% molaire) est soluble dans les solvants seulement ayant une importante possibilité de liaison hydrogène. Les poly(butyrals de polyvinyle) avec peu de groupes hydroxyles (9-13%) sont solubles dans une plus grande quantité de solvants et ont une température de transition vitreuse plus basse que les acétates de polyvinyle. La viscosité, généralement grande, des solutions de PVB est réduite en utilisant des mélanges de solvants, par exemple 60% éthanol : 40% toluène. Des difficultés ont été rencontrées avec l'adhésion des PVB à forte teneur en groupe hydroxyle, peut être en raison de la haute température de transition vitreuse.

Les PVB peuvent réticuler à cause des traces d'acide ou de la chaleur et d'autres substances chimiques telles que les dialdéhydes. Des tests de vieillissement à la chaleur (100°C durant 14 jours ont montré que la solubilité du polymère peut être affectée. Sur deux types testés, Mowital 330H et Rhovinal B10-20, le Rhovinal apparaît moins adapté, devenant légèrement cassant et perdant de sa solubilité. L'exposition aux U.V. dans l'air cause un peu d'oxydation. Une réticulation importante avec quelques dégradations conduit à un réseau insoluble dans des conditions extrêmes..



D'après les tests menés à l'Institut de Conservation Canadien (CCI) (voir R. Barclay, « Wood consolidation on an eighteenth century English fire engine », Studies in Conservation, vol. 26, n°4, 1981, p.135), les butyrales de polyvinyle sont les meilleures résines pour la consolidation du bois. Barclay a choisi d'utiliser le Butvar B90 (Monsanto) (équivalent de la Bakelite XYHL, Union Carbide) pour consolider une pompe à incendie du XVIIIe qui a un bois pourri. Cependant le Butvar B98 aurait été légèrement préférable en terme de poids moléculaire et de viscosité, mais dans la pratique, ces différences ne se ressentent pas vraiment. Il l'utilise à 5% dans de l'éthanol et l'applique au pinceau. Une légère brillance apparaît après le cinquième passage. La résine est sèche au toucher après 3 heures. Dans toutes les résines testées au CCI, elle est celle qui produit le plus faible assombrissement du bois. Le résultat est satisfaisant : le bois a retrouvé sa cohésion et peut supporter une pression modérée.

D'après Payton (dans « The conservation of an eighth century BC table from Gordion » in Adhesives and Consolidants, Preprints of the contributions to the Paris Congress, 2-8 September, London : IIC, 1984, p.136), bien que le poly(butyrale de polyvinyle) ait montré une bonne résistance au vieillissement naturel, des échantillons sont devenus cassants, jaunes et insolubles après de sévères tests de vieillissements accélérés. Les poly(butyrale de polyvinyle)s contiennent un pourcentage d'alcool de polyvinyle (Butvar B98 contient 18-20%) qui peut réticuler et causer le jaunissement de la résine .

mais peut aussi réticuler avec les molécules de cellulose. Par conséquent, il faut faire très attention en utilisant ce polymère, notamment dans des objets en bois. Si l'absence de coloration et la force sont plus importants que la partielle insolubilité à long terme, ce produit peut être recommandé selon lui. Il a utilisé ce produit pour la consolidation d'un objet archéologique en s'assurant par des tests que ce produit donnait les meilleurs résultats. Il a utilisé une solution dans un mélange de toluène-éthanol (50/50). Il a constaté que les dimensions du bois ont augmenté de 3,47% à 5,38% (en fonction des pièces) en raison du gonflement dans les directions radiale et tangentielle (beaucoup moins dans le sens longitudinal). Cette augmentation est très grande. Même si elle ne semble pas avoir occasionné de dégâts cela ne serait pas envisageable pour le support d'une peinture ou d'un objet polychrome. Cela entraînerait forcément des fissures ou des craquelures dans la préparation et la couche picturale.

Dans les exemples cités, le poly(butyracétate de polyvinyle) est toujours utilisé en solution au moins partiellement alcoolique, donc polaire et déconseillée pour le bois. Ce produit ne semble pas apporter assez d'avantages par rapport à ses inconvénients pour être utilisé pour la consolidation du bois polychrome, qui ne peut tolérer le gonflement produit par l'utilisation de l'alcool.

## Le chlorure de polyvinyle ou PVC

Biblio : C.V. Horrie, Materials for conservation : organic consolidants, adhesives and coating, Oxford : Butterworths-Heinemann, 1987, p.113-114.

Le chlorure de polyvinyle est une résine thermoplastique fabriquée en polymérisant un monomère hautement toxique, le chlorure de vinyle. Ce polymère est un matériau dur et rigide, soluble dans une petite série de solvants organiques. Des plastifiants ou des copolymères sont souvent utilisés pour réduire la rigidité du matériau. Bien que ce soit l'un des polymères les plus courants, c'est l'un des plus instables à la chaleur et à la lumière. Le PVC se dégrade par perte d'acide chlorhydrique à partir de la chaîne pour produire des doubles liaisons. Il a été largement utilisé pour la consolidation du bois dès les années 50. Mais il est aujourd'hui vivement déconseillé de l'utiliser en raison de sa vitesse de dégradation.



## Les nylons solubles

Les nylons solubles sont solubles dans des mélanges de solvants à base d'alcool. Nylon est un nom générique pour une famille de polyamide dont l'unité monomère est le nylon 6,6. Les nylons sont généralement insolubles. Deux altérations peuvent être faites à un polymère de nylon pour le rendre soluble. Les atomes d'hydrogène qui constituent les liaisons peuvent être remplacés. Alternativement, la structure du polymère peut être faite de manière si irrégulière que les liaisons interchaînes coordonnées ne peuvent se développer.

Le N-methoxymethyl nylon est formé en chauffant du nylon 6,6 avec de l'acide formique et du méthanol pour produire de courtes chaînes latérales. Ceci produit un polymère qui est plus flexible que le nylon original et qui est soluble dans l'éthanol ou le méthanol si une petite quantité d'eau est ajoutée. Le nylon soluble se dissout dans des solvants chauds mais forme un gel quand il refroidit à la température ambiante. Les films qui sont formés à partir de la solution rétrécissent en séchant.

La température de transition vitreuse du N-méthoxyméthyl nylon est suffisamment basse quand de l'eau a été absorbée pour résulter à la collecte de la poussière. Les nylons non modifiés, qui sont de façon similaire solubles dans les alcools, sont des copolymères d'un vaste ensemble de différents polymères : Ultramid 6A (BASF) ou Elvamide 8060 (DuPont). Les films formés à partir des solutions séchées à température ambiante sont habituellement opaques et doivent être chauffés à environ 80°C pour assurer la transparence. Ils souffrent probablement des mêmes réactions de dégradation que les nylons les plus communs.

Le Calaton (Impérial Chemical Industries Limited) possède un certain nombre de désavantages dont le plus important est de devenir insoluble. Dans le meilleur cas, les films vieillis peuvent être enlevés seulement avec des solvants décapants tel que le phénol ou l'acide formique, mais dans les cas extrêmes ils sont complètement insolubles. En fonction du pH et du contenu en humidité, les films de nylons solubles deviennent cassant, se rompent ou deviennent poudreux dans des périodes courtes (deux mois) et donc perd sa force. Il a été très utilisé dans les années 50, mais son usage a été condamné dès les années 60.

Des théories divergentes existent sur le mécanisme d'insolubilisation du Nylon soluble. Eddy de Witte et F. Bochoff ont chacun mené une étude qui les ont conduits sensiblement à la même conclusion : l'insolubilité est associée à un phénomène hydrolytique ou chimique. Dominique Fromageot (dans « Photovieillissement de revêtements de consolidation à base de polyamides solubles » dans Technologie industrielle, Conservation restauration du Patrimoine culturel, colloque AFTPV - SFIIC, Nice, 19-22 sept. 1989, Puteaux : EREC, 1989, p.28-33) envisage et démontre que l'insolubilité est due à un mécanisme de nature oxydative. Elle a obtenu une amélioration notable de la durée de vie (une quinzaine d'année en condition musée) d'un tel produit en utilisant un anti-oxydant redox. Elle a cherché à prolonger la stabilité d'un tel produit en raison de ses propriétés mécaniques intéressantes, sa facilité d'application (solubilité dans un mélange éthanol-eau). D'autres produits sont tout aussi intéressants et ne présentent pas ces inconvénients. De plus, les tests ont été faits pour des films de polymères, non pour des imprégnations. Nous préférons écarter ce produit.

## Les nitrates de cellulose

« Un adhésif à base de nitrate de cellulose est une solution de nitrocellulose et autres matériaux filmogènes dans un mélange de solvants organiques. Cet adhésif sèche lentement par évaporation du solvant. Les nitrates de cellulose ne sont pas très effectifs comme matériau pour former un lien avec le bois et n'ont donc presque jamais été utilisés comme adhésif original dans des objets en bois. C'est un matériau instable non recommandable pour des traitements de conservation des objets en bois. » (Donald C. Williams, « A survey of Adhesives for Wood Conservation » in : The Structural Conservation of Panel Paintings, proceedings of a symposium at the Paul Getty Museum, 24-28 April 1995, Los Angeles : the Getty Conservation Institute, 1998, p.82) Cet adhésif a tendance à devenir dur et cassant dans le temps (S.P Koob, « The use of Paraloid B72 as an adhesive; its application for archaeological ceramics and the other materials » dans Studies in Conservation, vol.31, 1986, p.7.)

## *Les acétates de cellulose*

biblio : C.V. Horrie, *Materials for conservation : organic consolidants, adhesives and coating*, Oxford : Butterworths-Heinemann, 1987, p.130-132.

L'acétate de cellulose est fabriqué en chauffant la cellulose avec un acide anhydre et un catalyseur d'acide sulfurique. Les propriétés chimiques des acétates de cellulose changent en fonction du degré de substitution, notamment leur solubilité. A un degré de substitution d'environ 2,5 (acétates secondaires), le polymère est soluble dans l'acétone et solvants similaires. Quand le degré de substitution dépasse cette valeur, il devient soluble dans des solvants moins polaires, comme les solvants chlorés. L'acétate de cellulose s'oxyde à température ambiante : son poids moléculaire est réduit, il devient plus faible et plus cassant. La dégradation est augmentée considérablement par des traces de catalyseur acide restant de la fabrication. Les nouvelles formulations commercialisées sont plus stables que les anciennes. Pour réduire la dégradation d'un acétate de cellulose, un accepteur acide, comme l'acétate de magnésium, peut être incorporé, ainsi que des absorbeurs d'oxygènes ou des antioxydants.

L'acétate de cellulose dans une forme soluble dans l'acétone est devenu largement disponible au cours de la première guerre mondiale (revêtement pour l'aviation). Il a remplacé le nitrate de cellulose qui était trop inflammable.



Les techniques superficielles d'application de consolidant:

*- l'application au pinceau du consolidant*

On peut appliquer le consolidant au pinceau et obtenir la saturation progressive plus ou moins complète des pores du matériau que l'on veut consolider. Cette méthode est utilisée par Barclay sur une pompe à incendie du XVIIIème s. (R. Barclay, « Wood consolidation on an eighteenth century English fire engine », *Studies in Conservation*, vol. 26, n°4, 1981, p.136.) Il s'agissait d'un bois pourri (*Serpula Lacryman*) sur un centimètre. Le résultat est très satisfaisant après des applications successives multiples. Un meilleur résultat est obtenu en appliquant beaucoup de couches d'une solution consolidante avec une faible concentration en résine. Une application de couches moins nombreuses d'une solution plus concentrée conduit à une brillance inacceptable apparaissant très tôt. Mais pour les parties plus profondément endommagées, il a utilisé une méthode d'imprégnation sous vide.

Cette méthode n'est à conseiller que pour des consolidations de surface car elle n'est pas très efficace pour une pénétration en profondeur. Le temps de contact entre la source de consolidant (le pinceau) et la surface à traiter est courte. Dans la plupart des cas, l'application doit être renouvelée de nombreuses fois. Dans une étude (sur la pierre) (Petr Kotlik, « Impregnation under Low Pressure », *Studies in Conservation*, n°1, vol.43, 1998, p.42.), « il a été trouvé qu'après 20 applications au pinceau, un consolidant organosilicate, ayant une concentration réactante de 20% par poids, peut pénétrer à une profondeur de 10mm. Une solution de résines époxy à bas poids moléculaire ayant une concentration de 30% par poids a pénétré à une profondeur maximum de 8mm dans la même pierre calcaire après avoir été appliquée au pinceau en 12 fois. »

#### - *La vaporisation du consolidant*

Une autre méthode superficielle est la consolidation par vaporisation. Son efficacité est relativement faible (Petr Kotlik, « Impregnation under Low Pressure », *Studies in Conservation*, n°1, vol.43, 1998, p.42). De plus, une évaporation intensive de solvant se produit ce qui entraîne une concentration de consolidant à la surface. Cette méthode ne présente aucun intérêt pour une consolidation en profondeur.

## - La consolidation par compresses

Une méthode par compresse a été développée pour la consolidation de la pierre (Petr Kotlik, « Impregnation under Low Pressure », Studies in Conservation, n°1, vol.43, 1998, p.43. Il renvoie à l'ouvrage suivant où ces méthodes peu connues sont illustrées et décrites en détail : C.M. Selwitz, Epoxy Resins in Stone Preservation, The Getty Conservation Institute, 1992.). La surface est mouillée par l'utilisation d'un flux continu de consolidant. L'objet est souvent enveloppé d'une matière absorbant à travers laquelle le consolidant migre et pénètre graduellement dans les pores. Une résine époxy utilisée avec une concentration de 30% peut pénétrer dans une pierre calcaire à une profondeur de 20mm en 10 heures.

Dans le cas du bois, ces méthodes superficielles ne semblent utilisable que dans le cas d'une attaque en surface de micro-organismes. Les dégâts occasionnés par les insectes xylophages étant trop profonds.

Les techniques superficielles ne peuvent être utilisées que pour des consolidations de bois attaqués par des micro-organismes ou ayant une altération superficielle due au soleil et à l'humidité. Elles présentent le désavantage de revêtir la surface du support de polymère et donc entraînent nécessairement une modification de l'aspect esthétique. De plus nous savons que le polymère au contact de l'air et de la lumière aura tendance à se dégrader plus vite. Mais dans le cas des altérations citées ci-dessus, ce sont les seules techniques possibles, avec l'immersion, car il n'y a pas de galeries par lesquelles on peut introduire la solution consolidante.

## La consolidation par injection

### - Les avantages et inconvénients de cette méthode

Une consolidation peut être faite en injectant la solution consolidante à l'aide d'une seringue dans les galeries créées par les insectes xylophages. C'est une méthode largement utilisée dans le cas des bois vermoulus : l'injection se faisant dans chaque trou d'envol des insectes. Le conservateur restaurateur doit avoir une main assez sûre pour ne pas casser le trou d'envol. Il doit continuer d'injecter dans une même zone jusqu'à saturation. Il faut sans cesse contrôler si la solution consolidante ne ressort pas dans une autre zone, particulièrement sur la face peinte. Si une large étendue doit être traitée, cette méthode peut être longue et fastidieuse. Mais elle présente aussi le grand avantage d'un contrôle ininterrompu du traitement. Avec des injections soignées, il ne doit pas y avoir de consolidant à la surface du support. C'est un des avantages de cette technique : le consolidant ne sera pas en contact direct avec la lumière, ce qui réduit un des facteurs participant au vieillissement des polymères.

## - Le choix des seringues

Il peut utiliser les seringues plastiques que l'on trouve en pharmacie. Cependant parfois les aiguilles sont un peu trop rigides. On peut tenter de trouver d'anciennes seringues en verre et essayer de trouver également toutes sortes d'aiguilles plus ou moins souples, plus ou moins longues, au diamètre plus ou moins grands pour pouvoir s'adapter à chaque cas. Il faut choisir la contenance du réservoir de la seringue en fonction du degré d'altération du bois. Plus il est dégradé, plus le réservoir doit être grand. Un réservoir trop petit nous obligerait sans cesse d'introduire et de retirer la seringue au niveau du trou d'envol, ce qui est un trop grand risque de casse.

## -La consolidation avec des pipettes.

-Parfois, dans le cas de bois fortement dégradé, la pression exercée sur la seringue induira trop de force à l'écoulement de la solution ce qui pourra entraîner des destructions dans le bois dégradé, ainsi que l'introduction répétée de l'aiguille dans les trous d'envol. Pour palier à cela, j'ai vu utiliser une méthode très intéressante à la Hochschule für Bildende Kunst, Dresden qui consiste à placer des pipettes dans les trous d'envol (le bout est enveloppé dans une matière hydrophile ou gaze en guise de protection). Elles sont caler dans une grille qui est fixée au dessus de l'oeuvre à consolider. La pipette est introduite une fois pour toute contraire de la seringue. Il ne faut pas qu'elle exerce de pression sur le trou d'envol. Pour cela il faut veiller à la manière de les pencher et de les fixer sur la grille. C'est une méthode intéressante, mais à n'utiliser qu'en cas de bois très dégradé. Elle peut être avantageusement être remplacée par le goutte à goutte.



- La consolidation par goutte-à-goutte.

Il est possible de faire une imprégnation avec l'aide d'un système de perfusion tel qu'il est utilisé en médecine (Brigitte Aberle et Manfred Koller, « Restauratorische Holzfestigung und die Infusionstränkung » in : Restoratorenblätter, Band 10, zum Thema « Holztechnologie und Holskonservierung, Möbel und Ausstattungen », Wien, 1989, p.76-77.). Cette technique est surtout intéressante pour les objets à trois dimensions, plus particulièrement les sculptures polychromes, de grandes tailles, très vermoulues mais aux décors encore intacts (mais qu'une très faible pression pourrait détruire n'étant plus supporté par le support). Ce système de goutte-à-goutte se porte par lui-même. Il garantit une imprégnation graduelle, sans pression et profonde. Il faut utiliser une solution de consolidant à faible viscosité, qui sèche lentement. Ce système a été utilisé avec du Xylamon LX- härtend (Nous n'avons pas présenté ce produit car il s'agit d'un produit prêt à l'emploi qui a plusieurs fonctions : désinsectiser, consolider, protéger le bois... Sa composition est commercialement secrète. Nous déconseillons l'emploi de ce genre de produit en conservation restauration. Il est préférable de traiter les problèmes séparément.) et une solution de Paraloïd B72.

Il est conseillé d'utiliser plusieurs goutte-à-goutte. L'emplacement des aiguilles est très importante. Il vaut mieux consolider partie par partie, une partie par jour. On peut avec cette méthode introduire en continu du consolidant jusqu'à saturation (il faut cependant faire fonctionner le système qu'en présence des conservateurs pour un contrôle fréquent). Il est important de surveiller l'opération et d'éloigner l'aiguille dès que le trou est plein. Selon la taille et le degré d'altération le traitement peut durer de plusieurs jours à plusieurs semaines.

Une autre méthode a été mise au point à l'Organisation des Antiquités égyptienne par Shawki Nakhla (Shawki Nakhla, « A comparative study of resins for the consolidation of wooden objects », dans *Studies in Conservation*, vol. 31, 1986, p.38-44.). D'après lui un des avantages du goutte-à-goutte est de réduire la quantité de vapeur de solvant respiré par le conservateur-restaurateur. L'appareil qui a été développé à l'Organisation des Antiquités égyptiennes a un réservoir séparé conduisant à un flacon en forme de poire muni de plusieurs sorties au même niveau et d'un trou pour la sortie de l'air. Les tubes en caoutchouc sont fixés à chaque sortie. Ils ont une terminaison fine en verre qui peut être introduite dans le bois. Le débit des gouttes peut être réglé. L'opération peut être faite dans une pièce fermée, ventilée sans la fréquente intervention du restaurateur.



Cette méthode est très utile donc pour remplacer le système de consolidation par injection dans le cas d'objets très dégradés et de grande taille nécessitant une grande quantité de consolidant. Il n'est pas possible en effet à un conservateur-restaurateur de se consacrer uniquement à la consolidation d'un objet pendant plusieurs jours voire semaines. Elle présente également l'avantage de ne pas exercer de pression. C'est vraiment une méthode à retenir.

## La consolidation par vaporisation continue dans une enveloppe plastique

Pour un canoë de très grande taille ne pouvant pas être traité par les méthodes classiques de consolidation sous vide ou consolidation par immersion, il a été mis au point une méthode de vaporisation continue dans une enceinte étanche en feuilles de polyéthylène (Arno P. Schniewind et Dale P. Kronkright, « Tests de résistance des bois détériorés après traitement par produit de consolidation » in : Adhesives and Consolidants, IIC, London, 1984, p. 146 -150.). Une pompe de recyclage y a été installée alimentant des gicleurs de vaporisation judicieusement disposés pour produire une diffusion régulière et continue de la solution. Il faut que la solution ait une viscosité très faible. Les tests de viscosité de solution et de pénétration efficace ont été faits avec du Paraloid B72 et des acétates de polyvinyle dans des solvants polaires qui ne sont pas utilisables dans le cas d'un bois polychrome. Cependant, ils arrivent par cette méthode à une imprégnation totale de bois vermoulus et pourris. Elle semble donc intéressante pour des objets de très grandes dimensions ou qui ne supporteraient pas les pressions. Mais reste à voir si elle est utilisable avec des solutions de résines thermoplastiques dans des solvants non polaires.

Dans le cas d'objets polychromes il faut cependant s'assurer que la face peinte ne soit pas vaporisée (cela semble difficile dans le cas d'une sculpture polychrome ou une icône double-face). Cette méthode présente le désavantage de revêtir la surface du bois avec du consolidant. Cette couche est bien sûr éliminable avec des solvants mais cela entraîne une opération supplémentaire avec utilisation des solvants. En connaissant le danger des solvants, pour l'oeuvre et le conservateur-restaurateur, il est préférable d'éviter cela.



La consolidation par immersion.

- Immersion dans une solution de résine thermoplastique.

On peut imprégner un objet en l'immergeant dans une solution de consolidant, qui pénétrera par capillarité dans le bois. Il est évident que la gravitation joue contre la force de capillarité. Après un certain temps, un équilibre s'établit et le liquide ne monte plus (Petr Kotlik, « Impregnation under Low Pressure », Studies in Conservation, n°1, vol.43, 1998, p.43.). Le liquide emplir les pores avec l'aide de la pression hydrostatique (règle d'équilibre des liquide). Les pores ne sont pas vides; ils sont pleins d'air que le consolidant doit chasser en libérant des bulles. Cela se produit plus difficilement lors d'une immersion totale. Il est donc conseillé lorsque l'on souhaite utiliser une méthode par bain, de ne tremper l'objet que partiellement. Cela est d'autant plus souhaitable, dans le cas d'un panneau peint, pour ne pas immerger également la couche picturale et la préparation.

## - Immersion dans de la cire-résine fondue

Dans le cas d'une imprégnation de cire-résine, il faut utiliser une cuve chauffante. Il faut veiller à ce que la température du bain soit constante et ne dépasse pas 60°C qui est la température de fusion de la cire. Les œuvres doivent être chauffées (lampes à infra-rouge) avant d'être immergée dans la cire. Cette consolidation ne se fait semble-t-il quand immergeant complètement l'œuvre dans la cire-résine. Il faut donc bien veiller que la couche picturale puisse supporter cela. Il faut la refixer dans le cas contraire. Une protection de surface me paraît bien vaine dans ce cas, mais elle limitera peut être la pénétration de la cire dans la couche picturale. La consolidation s'arrête quand il n'y a plus de bulles se dégageant. Il faut ensuite nettoyer les excès de cire soit à la chaleur (pastule chauffante) soit au solvant (White spirit). Cette méthode me semble évidemment très condamnable. Dans le cas où on sera obligé d'utiliser de la cire-résine en raison d'une ancienne consolidation à la cire, il faudra chercher plutôt à développer la méthode de goutte à goutte mise au point par Nakla.

## L'imprégnation sous vide

### - Les avantages d'une telle méthode

Il est possible d'améliorer la technique d'imprégnation par immersion (amélioration de la profondeur de pénétration et énorme réduction de la durée du traitement) en diminuant la pression sur la surface du liquide (Petr Kotlik, « Impregnation under Low Pressure », *Studies in Conservation*, n°1, vol.43, 1998, p.43.) Sous ses conditions les gaz sont évacués en dehors des pores. De plus, le mouvement capillaire du liquide dans les pores qui a lieu durant l'évacuation est intensifié les effets de la pression atmosphérique après l'ouverture du système et l'équilibrage des pressions dans le réservoir d'imprégnation. Dans des études où l'acétone a été utilisée comme un liquide modèle, il y a une grande différence entre la quantité qui a pénétré dans une pierre calcaire quand l'immersion a été faite sous pression atmosphérique et quand le vide a été employé. Sous une pression normale, les pores de la pierre sont pleins après 1000 heures (41 jours) mais lorsque l'imprégnation est faite sous une pression réduite, cette valeur est obtenue en moins d'une heure. Cette méthode ne permet pas seulement de faire entrer une grande quantité de liquide dans le matériau poreux mais d'atteindre une plus grande profondeur de pénétration.

- Nécessité d'une chambre à vide.

Ces techniques d'imprégnation sous vide ont été développée dans l'industrie, notamment pour pouvoir fabriquer des bois plus résistants. Il est nécessaire pour pratiquer une telle méthode de posséder une chambre à vide. Peu d'ateliers encore à l'heure actuelle, possède un tel équipement, en raison du coût de l'installation, de la place nécessaire.

Barclay (R. Barclay, « Wood consolidation on an eighteenth century English fire engine », Studies in Conservation, vol. 26, n°4, 1981, p.136-137.) utilise une chambre à vide portable à une pression de 635 torr (25'' Hg) (Il ne donne aucune information sur la marque, la taille, le coût de cet appareil.). Après avoir été pesées, les pièces à consolider (non polychromes) sont immergées dans la résine en solution dans la chambre à vide, mises sous poids (sacs de polyéthylène remplis de billes de plomb) et laissées dans le bain jusqu'à ce que cesse le dégagement de bulles. L'air est ensuite réintroduit dans la chambre. Cette opération est renouvelée trois fois. Ensuite les pièces sont sorties de la solution, mises à égoutter dans des vapeurs d'éthanol dans la chambre. Quand l'égouttage est terminé, les pièces sont mises à sécher à l'air dans des tentes de polyéthylènes ventilées.

Erika Schaffer et Fern Brisebois (Erika Schaffer et Fern Brisebois, « Inexpensive Home-made vacuum Chamber for Impregnation », dans *Studies in conservation*, vol. 19, n°2, 1974, p.91-96.) proposent de fabriquer par soi-même une chambre à vide pour imprégnation (mais qui peut être utilisée pour d'autres traitement : fumigation, séchage, séchage par congélation). Cette chambre semble effectivement pas trop difficile à construire pour tout bon bricoleur. Cependant, elle est prévue pour des objets de relatives petites dimensions (1m22 de long, 45cm de large). Cela n'est pas suffisant pour la majorité des icônes. Serait-il possible, sans augmenter considérablement les coups de faire une chambre plus grande? (Erika Schaffer, « Consolidation of Painted Wooden Artefacts », dans *Studies in conservation*, vol. 19, n°4, 1974, p.213. Dans cet autre article, Erika Schaffer dit qu'il n'est pas possible de construire une chambre à vide pour des objets de grandes tailles.) Pourquoi une forme cylindrique a-t-elle été choisie?

#### - Les enceintes plastiques

Il est aussi possible de créer des enceintes imperméables à l'air qui pourront servir de substitut à une vraie chambre à vide. Elles ont l'avantage de s'adapter à la taille de l'objet et de ne pas prendre de place en dehors des périodes de traitement.



Kotlik présente plusieurs méthodes pour fabriquer des enveloppes imperméables qui ont été utilisées pour la consolidation de sculpture en pierre (Petr Kotlik, « Impregnation under Low Pressure », *Studies in Conservation*, n°1, vol.43, 1998, p.43-48.). La sculpture est enveloppée dans un textile puis un latex aqueux pré-vulcanisé de caoutchouc naturel est appliqué au pinceau sur ce textile (méthode développée par Hempel (K. Hempel, « An improved method for the vacuum impregnation of stone », *Studies in Conservation*, vol.21, 1976, p.40-43.)). Après séchage, cette enveloppe en latex donne une chambre flexible, imperméable aux gaz. Le latex contient une grande quantité d'eau, qui s'évapore partiellement, mais surtout pénètre dans le textile et le matériau poreux qu'il enveloppe. Cette méthode ne semble donc pas à préconiser dans le cas d'un objet en bois. De plus, le caoutchouc naturel gonfle facilement dans les solvants organiques non polaires (white spirit, toluène...) ce qui peut résulter en la dégradation de l'enveloppe et des fuites dans quelques cas. L'idée est bonne, mais les résultats pratiques mauvais. Hempel a ensuite eu l'idée de remplacer le latex par un film de polyéthylène et le textile par un filet en polyéthylène. Ce polymère est résistant à la plus part des solvants organiques communément utilisés en restauration : il ne se dissout pas, de se détériore pas et ne gonfle pas. Quelques solvants (par exemple Toluène) diffuse à travers le film mais la diffusion n'a pas un taux très élevé. Il présente en outre des avantages intéressants : transparence (visibilité de l'objet durant le traitant), scellable à chaud, un coût faible, un usage répété.

A l'Institut de Technique chimique (Prague) où travaille Kotlik, cette méthode été modifiée pour être utilisée avec des matériaux disponibles près à l'emploi (aucune marques commerciales ni noms de produits ne sont cependant donnés). L'objet est enveloppé dans un filet de polyéthylène qui reste ouvert dans le bas (fourreau) avant d'être posé dans le réservoir contenant le consolidant. Cela a plusieurs fonctions : protéger le réservoir des angles saillants de l'objet à traiter, empêcher le film d'être rabattu trop près de la surface quand le vide est fait ainsi que fournir assez de place à la solution consolidante pour entourer l'objet.

Le filet doit être bien fermé en différents points pour empêcher les mouvements durant l'évacuation. Un système de tubes est mis en place. Un tube est fixé dans une ligne de double soudage par scellage à chaud en forme de coin. Pour éviter l'obstruction du tube par le film de polyéthylène lorsque le vide est fait, ce tube est passé à travers le film dans le réservoir à l'intérieur d'un tuyau en plastique. L'un des tubes est équipé d'une valve et est immergé dans le consolidant qui est placé dans un réservoir de stockage (différent du réservoir dans lequel est placé l'objet). Un autre tube, (dans la partie supérieure du système) est aussi équipé d'une valve et est connecté à un réservoir de sécurité pour empêcher le liquide de fluer dans la pompe à vide. Une jauge de vide est connecté à l'équipement pour pouvoir suivre l'évolution de la pression dans le sac.

Après la mise en place de ce système, l'air est pompé dans le sac durant deux ou trois heures (temps à adapter avec les dimensions de l'objet : le but est de faire sortir un maximum d'air de l'objet). La pression étant réduite, le sac va se coller à l'objet en raison de la pression externe. Cela peut créer des enfoncements sur des objets particulièrement fragiles.

Ensuite la valve du tube de la solution consolidante est ouvert. Le liquide remplit graduellement le sac. Lorsqu'il atteint l'embouchure du tuyau de sécurité , le flux de liquide est stoppé. Après 20 min. , la pompe à vide est fermée et le système est ramené à la pression ambiante. Quand cela est atteint, le niveau du liquide est redescendu complètement. Après 10 min. le vide est de nouveau fait. Il n'est pas nécessaire de rajouter du consolidant. Cette opération est répétée trois fois. Le restant de consolidant est enlevé et l'objet désenveloppé.

Cette méthode a été utilisé avec succès dans le laboratoire de Kotlik, aussi bien sur des objets en pierre, qu'en bois (sculpture et panneau) avec de bons résultats (notamment une très bonne pénétration). Ils ont utilisé aussi bien des solution de copolymère acryliques, que des époxy. Cependant, aucune réflexion n'est faite au sujet de la polychromie. Par cette méthode, il semble inévitable que la couche picturale et la préparation soit imprégnées du consolidant. Cela est très mauvais.

## - Les pompes à vide

Il existe différentes sortes de pompe à vide. Certains sont plus ou moins adaptées à des objets fragiles. Payton (R. Payton, « The conservation of an eighth century BC table from Gordion » in Adhesives and Consolidants, Preprints of the contributions to the Paris Congress, 2-8 September, London : IIC, 1984, p.134.) utilise une pompe à vide lente, contrôlable à la main, avec une petite capacité (16cm<sup>3</sup>). Cela permet de s'assurer que le taux de vide n'excédera pas le dégagement de l'air de la dense structure du bois.

Cette méthode de consolidation par imprégnation sous vide présente les mêmes désavantages qu'une imprégnation par immersion (voir plus haut) et en plus les risques de d'effondrements des galeries, d'enfoncement de la surface du support ou de la couche picturale (Voir dans la partie I, 2 les critères techniques, le c : Les observations dans la pratique de la pénétration du consolidant.). Nous déconseillons vivement cette opération pour les supports trop attaqués par les insectes xylophages et plus généralement pour les objets polychromes en raison de la forte imprégnation de la couche picturale par le consolidant.



**ENGLISH TEXT BY GAELLE LE MEN**

**The application of the synthetic resins in  
solution for the icon consolidation.**

**Advantages and inconvenients of each solution.**

## Introduction

We are going to do neither the history nor the review of the old methods used by restorers for the consolidation of wood. These methods are numerous (animal glues, wax, resins solutions...) and they are similar in all countries. They had been well studied and presented particularly by the prof. Ulrich Schiessl (see further). This presentation is a synthesis of reading so large as possible. It is the result of a work realised for the acquisition of the diplom of conservation restauration (Maîtrise des Sciences et techniques de conservation restauration des biens culturels, Paris I Panthéon Sorbonne) in 2000. Our objective is not to survey all products and methods which are at the disposal of the conservator.



We are going to examine the method which is the most used by the icon conservators today from the questionnaire which has been distributed during the meeting « The conservation of Icons of 18th -19th Century : Exchange of Experience » in Uusi Valamo, Finland, June 5-10th 2000 : the consolidation with resins in solution by impregnation. It is important to put the problem of the consolidation (I.) before to examine the resins at the disposal of the conservator (II.) et their applications (III.)

### III. Consolidation problems

The term consolidation is used for various interventions like gluing, impregnation or external strengthening. We are going to take interest here only for the technics and products of consolidation by impregnation. To succeed a consolidation, it is necessary to follow some deontological rules and in another hand some technical, physical and chemical rules.

The following papers give a good definition of the consolidation problem :

R. Barclay, « Wood consolidation on an eighteenth century English fire engine », Studies in Conservation, vol. 26, n°4, 1981, p.135.

Ulrich Schießl, « Festigkeitserhöhende Konservierung von Holz » in : Holzschutz, Holzfestigung, Holzergänzung, Tagungsbericht Nr1, München : Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, 1992, p.9-41.

Arno P. Schniewind, « Consolidation of wooden panels », in : The Structural Conservation of Panel Paintings, proceedings of a symposium at the Paul Getty Museum, 24-28 April 1995, Los Angeles : the Getty Conservation Institute, 1998, p.87-107.

## Deontological data

The conservator has a big responsibility with the work which has been put into his hands. The consolidation is not a harmless operation : it is going to change the nature of the object. Considering that the reversibility of a consolidation by impregnation is partial, it is really important to be sure of the necessity of the treatment and particularly of the stability and compatibility of the used consolidant with the support, preparation and painting, that the treatment last a long time and doesn't involve the destruction of the work of art in ,the near or far future. It should modified neither the nature of the objet nor its aspect. At last, before all, this treatment should be efficient . However when the deontological data are definite, it is some times difficult to respect them totally in practice. Neither ideal method nor perfect product exist to respect the deontological exigences.

The technical, physical and chemical aspects of the treatment.

It is really difficult to conciliate the deontological exigences of the conservation restoration with the physical and chemical reality of the original materials and those used for the treatment of conservation. Some imperatives are contradictory. For example, to do a good consolidation, the used polymer should present a good adhesive quality, i.e. a good wetting, an adsorption reaction, strengthen efficiently the damaged wood. But it should also to penetrate deeply in the wood, which require the opposite qualities. We have to find a compromise between all these data.

In priority, the conservator should learn the constitution of the wood material that he wants to consolidate, he has to be able to understand, theoretically and practically, how the solution of consolidant is going to circulate. In fact, this is still very difficult to evaluate. In case of very damaged objects (the « sponges »), where the permeability of wood has extraordinary increased, the conservator could have the surprise, particularly in the case of a little thickness like the icons, to see the consolidant creep to the surface in no time. If he didn't make tests to evaluate this risk before and has introduced directly a large quantity of solution, it is going to soak completely the surface and so on the paint layers (the impregnation is generally done by on the revers), the back side. With a preliminary test, the viscosity of the consolidant could be estimated. This will be done generally, empirically and with experience.

The consolidation issue is closely related with the quality of the products used. We have to grant the same importance at the solvent choice that at the resin itself. The solvent choice could appear given by the choice of the resin, which is soluble in a definite number of solvents. But the solvent could have such an influence on the original materials and on the issue of the consolidation, that it could order, for example, the elimination of a resin only soluble in a solvent no compatible with the wood.

The following properties of solvents should be known to choose a consolidant solution, as much as the properties of the resins. Unfortunately it is often forgotten. The wood is a polar substance, the solvent polarity should be considered and decreased as much as possible to avoid the wood swelling, particularly in the case of polychrome objects. It is very important also to play with the volatility of the solvent : we have to find a balance between a low volatility to facilitate the penetration and a low retention to avoid the plastification of the pictural layers. The solvent volatility influence also the apparition of internal stresses as well as the internal humidity balance. By chosing a good solvent of the resin (strong chimical affinity) or a poor solvent, we can interfere on the viscosity and so on the flow of the solution.

In conclusion, we need a solvent neither too much volatile nor too polar. The aromatics seem to be well appropriated. They present meanwhile an interaction problem with the pictural layers and particularly with the varnishes. Ideally, we should used an aliphatic. But rare are the resins soluble in the aliphatics. It is very frequent to use a mixture of aromatics (solvent) and aliphatics (diluent).

It isn't easy to choose a good consolidant. In the literature, we can read different opinions about the available products. In reality, we must pay attention to the chemical, mechanical and physical properties of the resin. First, a good consolidant will be the product which is able to give a good cohesion to the wood, particularly by his adhesion properties. The wood is not an inert material, even in the better conservation conditions, we should choose in all available resins which have the best mechanical properties (flexibility, hardness, plasticity). We must use stable products, with a good aging. Shortly, the qualities of a consolidation resin are a high glass transition temperature (renvoi C6-E), a low molecular weight, a low viscosity, a solubility in less polar solvents to avoid the swelling of the wood. The working conditions must be acceptable for the conservator (low toxicity, reasonable drying time...). It is necessary to accept some compromises when we choose a product which will be the better but not the ideal.

Other data to choose consolidation product and method.

Beyond the deontological and technical data, the practical question should be considered. This study is destined principally to private conservators. The proposed methods must be appropriate in any atelier and not only in very well equipped instituts.

This eliminates the thermosetting resins and the monomer polymerisation in the object. Besides some deontological reserves, the application of these products is extremely delicat. It is the reason why we have chosen the products setting by evaporation of the solvent, particularly the thermoplastic resins.



It is always polymers in solution which are used. Although during the years 50-60, dispersions have been used for the consolidation of wood, they are very much criticized today because they are not efficient (see : Ulrich Schießl, « Festifheitserhöhlende Konservierung von Holz » in : Holzschutz, Holzfestigung, Holzergänzung, Tagungsbericht Nr1, München : Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, 1992, p.24). According to Brigitte Aberle and Manfred Koller (in « Restauratorische Holzfestigung und die Infusionstränkung » in : Restauratorenblätter, Band 10, zum Thema « Holztechnologie und Holzkonservierung, Möbel und Ausstattungen », Wien, 1989, p.74), dispersions like the Synmalon® (white glue of synthese manufactured in Vienna), the Vianavil NPC (Montecatini, Mailand) or Mowilithe (Hoecht) have been used for the consolidation of wood. The penetration is disturbed by the size of the dispersed particles. Moreover, the wood powder is consolidated weakly. The big proportion of water in emulsions involve the swelling of the wood. According to Horrie (Materials for conservation), the acrylic emulsions (Primal AC 33, Plextol B500 or Texicryl 13-002) have qualities especially for film applications (gluing, painting...). It had been shown, in other (textile, applications, paper...) that the results are very different with different actifacts, that these products are no stable (because of the numerous additives). It isn't recommended to use these products.

We are going to examine the different synthetic resins which soluble and can be used to consolidate the wood in regards to the data that we have enumerated before.

II. The synthetic or semi-synthetic resins available for the consolidation of wood.

For further information about the products, you can refer to the following papers:

Françoise Cuany, Volker Schaible und Ulrich Schießl, « Studien zur Festigung biologisch geschwächten Nadelholzes : Eindringvermögen, Stabilitäterhöhung feuchtephysikalisches Verhalten », in : Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, Jahrgang 8/1994, heft 1, p.249-292.

C.V. Horrie, Materials for conservation : organic consolidants, adhesives and coating, ed. Butterworths.

Liliane Masschelein-Kleiner, Liants, Vernis et Adhésifs anciens, Cours de conservation 1, Bruxelles : IRPA, remise à jour, 1983.

Arno P.Schniewind, « Consolidation of wooden panels », in : The Structural Conservation of Panel Paintings, proceedings of a symposium at the Paul Getty Museum, 24-28 April 1995, Los Angeles : the Getty Conservation Institute, 1998, p.90-92.

Ulrich Schießl, « Festifheitserhöhlende Konservierung von Holz » in : Holzschutz, Holzfestigung, Holzerganzung, Tagungsbericht Nr1, München : Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, 1992, p.9-41.

Henri Valot et Jean Petit, Les résines synthétiques et les substances naturelles, Ecole du Louvre, Ministère de la Culture. Muséologie, 4ème année, Paris, 1988.

When we have eliminated the thermosetting resins and the emulsions, the choice of resins is still very large : acrylic, vinyl, polyamid, cellulose and hydrogenated hydrocarbon resins.

Solutions of acrylic resins.

The majority of acrylic polymers used in conservation issue by two sorts of monomers : the poly (alkyl acrylate) derivate from the acrylic acid and the poly(alkyl methacrylate) derivate from the methacrylic acid. The alkyl fonction can be chosen to produce a serie of polymers.

The glass temperature of a methacrylate polymer is higher than the equivalent acrylate. It is relatively easy to produce some copolymers with a chosen glass transition temperature by using one or several acrylic monomers.

Different acrylic monomers exist and could be used for the consolidation of wood : the poly(methyl methacrylate) (PMMA) like the Paraloid B72 , the poly(butyl methacrylate) (PBMA) like the Paraloid B67 or the Plexigum P28. Different manufactured products exist on the basis of these monomers. They are similar but not identical. It is necessary to test each new product. Their properties, particularly viscosity, is different according to the solvent used and the concentration chosen. In the case of a polychrome object like an icon, it is better to avoid to use the Paraloid B72 soluble in too polar solvents. The studies of the Prof. Schiessl have shown that the consolidation is better with a poly (butyl methacrylate). This last stay one of the best available product on the market for this sort of intervention.

## Solutions of vinyl resins

The basic monomer is the vinyl acetate. It could be polymerised and given the poly(vinyl acetate) ou PVAc. Then, regarding to the substitution or other chemical reaction, it is possible to produce poly(vinyl alcohol) or poly (vinyl butyral). I haven't found cases where poly (vinyl alcohol) has been used for the consolidation of wood (certainly too polar). But it is possible to use poly (vinyl acetate) or poly(vinyl butyral) in solution. They are thermoplastic resins. The PVAc, very numerous, are however not recommended for polychrome wood consolidation because they are too polar and have too low glass transition temperature. As to poly(vinyl butyral) resins, they seem to be good products. The only disadvantage for polychrome wood is that they are soluble in polar mixtures. It is the reason why we don't grant this product for icons consolidation.

A resin has been largely used for the consolidation of wood, the vinyl chlorid but its instability is widely known today.

## Solution of polyamid resins (soluble nylons)

Two forms of soluble nylons are available : the N-methoxymethyl nylon which is a substitue nylon and very irregular polymer.

After the reading of different studies on this product, it seems to be more cautious not to use it (see particularly Horie, Material for Conservation et F.J. Bockhoff, K.M. Guo, G.E. Richards et E. Bockhoff, « Infrared studies of the kinetics of insolubilization of soluble nylon » in : Adhesives and Consolidants, Preprints of the contributions to the Paris Congress, 2-8 September, London : IIC, 1984, p. 81-86). This in spite of the fact that, regarding to the tests realized at the Canadian Conservation Institut (CCI) (see R. Barclay, « Wood consolidation on an eighteenth century English fire engine », Studies in Conservation, vol. 26, n°4, 1981, p.135.), the soluble nylon is one of the more interesting resins for the consolidation of wood, just after the poly(vinyl butyral) and in parallel with the Paraloid B72. Barclay discuss only about the physical and chemical characteristics and about the good results of consolidation (good penetration, good distribution, efficacy of the consolidation), but he doesn't speak about the aging of this product. It seems to be too criticized for its stability and reversibility to be used for wood consolidation. Moreover, it is soluble in polar solvents (mixture of alcohol and water). Optical consequences exist : shining and darkning.

## Solutions of cellulose resins

This resins are sometimes qualified of semi-synthetic because they are derivated from a natural macromolecule : the cellulose. This is generally cellulose esters which are used in the consolidation of wood : acetate or nitrate of cellulose. Their instability and their bad compatibility with the wood are the reasons why it is not recommended to use it for a consolidation by impregnation.



The utilisation of cellulose ethers (methylcellulose, carboxymethylcellulose) has been developed recently for the wood gluing (see Markus Döll, « Methylcellulosen und die Verklebung von Holz » in : Restauro, 5/1997, p.332-336.). However, these technics being aqueous, it is not conceivable to try to apply them for the consolidation of wood by impregnation.

### Hydrogenated hydrocarbon resins

The hydrogenated hydrocarbon resins arrived very recently in the conservation field (Régalrez® 1094, Arkon® P90). They are searched for their optical qualities connected with their stability and so for the preparation of varnishes. However, some experiences have been leading in Spring 1999 by a conservator of wooden objects, Ralph Stoian, in the Historical Museum Basel (Switzerland) for the consolidation of wood (information found on internet; for more informations, contact [ralph.stoian@bs.ch](mailto:ralph.stoian@bs.ch). and see the catalogue de Wendy Samet, Painting conservation catalog. Vol I : Varnishes and Surface Coating, 1998, p.109 à128).

According to him, these resins present the following properties :

- good, fast solubility in pure aliphatic (nonpolar) solvents resulting in a low probability of solvent-damage to the object;
- low molecular weight of the substance resulting in good flow properties;
- very stable resin and no tendency of eventual crosslinking (fully-saturated molecular structure).

Tests done by him show that hydrogenated hydrocarbon resins are preferable over an acrylic resin such as Paraloid B72 but he hasn't compared to other interesting resins like Paraloid B67 or Butvar 90 for example. It will be interesting to go further in this research because this resin seems to be full of promise.

We remind that one of the essential qualities is the stability of the used products. Two points are important in this case : the glass temperature and the aging tests. The glass temperature is going to play on the flow and the thermal expansion of the polymer. In the case of a consolidation by impregnation, the glass transition temperature should be superior to the ambient temperature (the minimal value is 40°C in a mild climat). This eliminates the poly(vinyl acetate)s which are however products with a good aging. This is also a problem for Paraloid B72 which has a glass transition temperature of 40°C. This is acceptable for mild climats like in France for example but it could be a risk in hot countries like in Greece. We don't eliminate Paraloid B72 still, but we want to pay attention to this important point in the case of an object which return in an uncontrolled climat in hot countries. The aging tests could indicate the resistance of the polymers to the water hydrolysis, to the light and heat oxydation... Some materials are very sensitive to this type of deterioration and should be avoided : the poly(vinyl chlorid), the soluble nylon (polyamide), acetate and nitrate of cellulose.



The method and materials must be compatible not only with the wood but also with the paint layers. This point eliminates all the resins or products soluble in water or polar solvents, like acetone or alcohol, because the swelling factor is too big with an inevitable risk of cracks in the original materials (it eliminates the polyvinyl butyral, the Paraloid B72 in acetone). We have attached less importance to the problem of aspect change, but it is a good argument to eliminate the methods with waxes for example.

Finally, there are not a lot of products showing good qualities for the consolidation of wooden panels with painting : the acrylic resins in aromatic solvents like the paraloid B72, the paraloid B67 or the plexigum P28. The paraloid B72 show the better qualities of aging but it is not soluble in aliphatic solvents. So it is necessary to use it with maximal security conditions. The PBMA seem to be more appropriate for a consolidation even it is less stable than the PMMA. It seem to be really the most adapted. It will be possible also to use a poly(vinyl acetate) or a poly(vinyl butyral) if we pay attention to the solvent or the glass transition temperature for the PVAc. It left to test the new hydrogenated hydrocarbon resins which could replace favourably all these resins.

Don't forget that a product is good only if it is well applied.

III. Application and practice.

The choice of the methods used to introduce the solution in the porous substrat is very important. It depends of course on the degree and the depth of the damages. After the presentation of different methods, some advices will be given as well as some security instructions.

### Different application methods

Numerous methods exist. Which can we choose? It depends on the size of the wood object to consolidate, the degree of deterioration and the treatment possibilities. Superficial methods (brush, spray or compress; could be interesting in the case of superficial damages. They will be however generally unefficient.

The methods by injection of consolidant with a syringe present good results in the case of support like icon panels. These objects are relatively thin and of small size compared to sculptures. It is necessary to control the diffusion of consolidant, which can fast go through the face for example. A dropwise system could be a solution to use in the case of the consolidation of an iconostasis (this could possibly avoid a hazardous disassembling) or in the case of very big icons (more than 1m 50 by side), worm-eaten requiring several days of treatment.

Other methods could be used in case of very important damages : the uncreasing spraying in a plastic enveloppe, the immersion , the vaccum impregnation. The first seem to be very difficult to apply with a flat and polychrome object.

The second seem to be accusable regarding to an esthetical point of view and the difficulty of controlling of the quantity of consolidant introduced in the object. For the last, it is necessary to evaluate the fragility of the wood and use a soft method.

It is necessary to conform oneself to each case and situation (available material and room). A technic is not better than an other, even certain are more simple to control than other like the injection. Each has a reason to exist, even the brush consolidation for superficial damage.

Generally, for the icons, the injection of consolidant with a syringe seem to be a good solution. It has the advantage of no coat the surface of the wood with the consolidant, which limit the risk of aspect changes. It has the inconvenient to last a long time and to be tedious. We grant the dropwise consolidation in the case of a very fragile and big object.

We will expose now some precaution to take so as to succeed a consolidation.

Some advices to succeed on consolidation

We work on an object having a paint layer, which is in danger during the consolidation of the wood. It is possible to protect it with a facing. But it is not obligatory. It depends on the level of support deterioration For avoiding the paint layer collapse, it is better to put a facing. It is not necessary to protect all the surface but only the zones with risk. Generally, it is better to see what it is happening during the treatment.



If the paint layer show by itself some adhesion or cohesion problems, it is better to consolidate that before consolidating the wood. It is important to adapt the facing to the type of surface (tempera, gold...). On gold, we must avoid all the facings put with aqueous glue : the gold will stick on the paper and it will be impossible to remove the facing without destroying the gold. It is possible to use a facing gluing with a resin soluble in aliphatic or aromatic solvents. Nicole Delsaux, icon conservator in the Service de Restauration des Musées de France, use a facing glued with a resin-wax (7 beeswax/ 2 dammar/ 1 elemi) diluted in white spirit. The advantage of a wax facing is its flexibility. It occurs no stresses when the pannel will swell during the consolidation.

If we want that a deep penetration of the consolidant in the material, we should start with very weak concentration. It is also possible to saturate the pores with pure solvent, the resin in the solvent will progress later by the balance of concentrations towards the zone of pure solvent. However, we could encounter the risk that, in the case of thermoplastic resins, the consolidant goes in the direction of the surface during the evaporation of the solvent (see Arno P. Schniewind, « Consolidation of wooden panels », in : The Structural Conservation of Panel Paintings, proceedings of a symposium at the Paul Getty Museum, 24-28 April 1995, Los Angeles : the Getty Conservation Institute, 1998, p.95.).

It is important to have an installation which allows every time to control the painted face of the icon. During a consolidation by immersion, it is quite easy because the back side soaks in the consolidant where as the face is visible. In the case of injection with a syringe, for there are seldom fly holes on the face, we must inject by the back side. When the icon is small, it is always possible to return it during the treatment seas to control. But we must be careful that the paint layer is not in contact with any surface because the consolidant could come out by the front (fly holes, cracks, joints) and so glue the icon on the table. It is necessary to build a frame which any contact with the table. In the case of big icons, we can use trestles or a frame so as to have a look on the front frequently. It is also possible to try to put the icon vertically if its conservation state is good enough. It is not a problem for the penetration of consolidant (low capillarity)

It is very important to control the quantity of consolidant introduced in the object. For that, we have very simple methods to use : weighing before and after, measurement of the quantity of consolidant introduced (in liter). This quantity must be noted on conservation documentation. This gives an important information about the composite material which is now the treated support.

## Security instructions

A consolidation by impregnation need a big quantity of solvents. Effectively, we use in generall solutions containing 60 to 80 % of solvents, even more. The solvents will be evaporated. Aromatics, like toluene and xylene, are particularly toxic. Benzene is forbidden because very toxic.

Using aliphatic reduce the risk of toxicity. It is not the question here to developpe on this question. It is really important before using a solvent to know the risks that you incur by inhalation or by contact (see Norbert S. Baer, « Risk assessment as applied to the setting of solvent toxicity limits » in : Adhesives and Consolidants, Preprints of the contributions to the Paris Congress, 2-8 September, London : IIC, 1984, p.26-31.). Particularly, it is necessary to take some precautions during the impregnation. You need a gaz mask with canister adapted to the used solvent, gloves and creams, both impermeable to solvent vapors.

It is better to put the consolidated objects more than one month, in an isolated room that the working room. It is moreover recommended to realize an impermeable to solvent vapors plastic tent. It is better to control the climate inside with silica gel for example. You could make a window to introduce the extractor when it will be necessary.

The solvents used are very inflammable. In very damaged objects, it is frequent to introduce liters of solution. The fire risk is big: smoking must be totaly forbidden.  
Conclusion.

The miracle method doesn't exist. The consolidation success depends as well as the product to the application. A good applied product badly apply (bad solvent, bad concentration, bad quantity introduced) will give a very bad result.

Finally, the choice of available products for a consolidation of polychrome wooden objets, so for the icon, is not so large. We grade those we have keeping by decreasing order for this particular intervention :

- the poly(butyl methacrylate) like the paraloid B67 or the plexigum P28 in an aliphatic solvent or a little aromatic mixture;
- the poly(methyl methacrylate) like the Paraloid B72 in an aliphatic and aromatic mixture (and absolutly not in a mixture of alcohol or/and aromatics);
- the poly(vinyl butyral) like the Butvar 90, in a mixture of alcohol and aromatics, trying to decrease the polarity.

But we want to insist on a new product, the hydrogenated hydrocarbon resins which haven't been well studied yet but which are full of promise for the wood consolidation, like Regalrez® 1094 or Arkon® P90.

We have tried to choose the best products regarding to the aging and how to apply them in the better way. Only a point is not well known : the properties of wood-polymer composite. In the industriy this has been studied to produce resistant wood for the commercialisation.

## Definition of the term consolidation

Literature : R. Barclay, « Wood consolidation on an eighteenth century English fire engine », *Studies in Conservation*, vol. 26, n°4, 1981, p.133-139.

Petr Kotlik, « Impregnation under Low Pressure », *Studies in Conservation*, n°1, vol.43, 1998, p.42.

Erika Schaffer, « Consolidation of Painted Wooden Artefacts », dans *Studies in conservation*, vol. 19, n°4, 1974, p.212-221.

Arno P. Schniewind « Consolidation of wooden panels », in : *The Structural Conservation of Panel Paintings*, proceedings of a symposium at the Paul Getty Museum, 24-28 April 1995, Los Angeles : the Getty Conservation Institute, 1998, p.87.

In general sense, the term consolidation refers to merging or joining separate parts or to making something strong and stable or to making it solid and compact. As used by conservators, the term refers to remedial treatments of materials that have lost cohesion as a result of deterioration in order to stabilize an object and make it safe for its intended use.

A wooden support need to be consolidated when it has lost stability (opened joint, cracks...) or when the substance of wood itself has lost cohesion for different reasons : wood worm eaten, microbiological attack often associated with dry and humide cycles.



In general sens, consolidation cover as weel as :

- joint and crack gluing;
- strenghthening or filling (for example : filling the gap of wood with wood or filling material; battle or craddle...);
- impregnation with a consolidant.

The two first interventions don't change the internal structure of the support, whereas the last change the nature of the wood. After treatment, we should consider the support like a composite material which could have different mechanical properties.

A material to be consolidated should have a degree of porosity so that an other substance can be introduced into the pore space to achieve a particular objective, such as strengthening of deteriorated wood. The wood is a porous material.

It is not always necessary to obtain the same degree of consolidation. The objectives are particular to each intervention and vary according to the futur utilisation of the object. For example, parts with a structural function demand to be consolidate very strongly, even replace by new, to resist to the weight that they support. It could be for example the framework of an iconostasis or the staff of a procession icon. Generally, icons using for the cult after conservation need to recover a very good cohesion and stability in order to be manipulate often and resist to the veneration. In all cases, the object should be sure to handle.

The consolidation succeed is proportional to the depth of consolidant penetration into the damaged zones. This depend on three principal factors : properties of the material to treat (deteriorated wood), the penetrating qualities of the consolidant solution and the impregnation method (time, pressure...). It depends also of the affinity of the consolidant with the wood et its capacity to bound the fibers between them particularly in the case of rotten wood.

Although the modern chemie of polymers allow the consolidation of wooden objects, even seriously damaged, the presence of painting film introduce big difficulties. The presence of a pictural layer with a preparation reduce the ways of access for the impregnation. There are rarely fly holes on the face, in any case for the icons (presence of cloth, preparation...). It forbidden total immersion. The pictural layer should be protect during the consolidation of the optical changes but also of mechanical stresses. It is really important to pay attention when you read an article about the wood consolidation, if the related treatment is reasonable with a polychromy.

### *Importance of diagnostic.*

A consolidation of a dry wood by impregnation with any substance will be never really reversible (see R. Barclay « Wood consolidation on an eighteenth century English fire engine », *Studies in Conservation*, vol. 26, n°4, 1981, p.138). So it is really important to lead this operation, with isn't harmless, only if it is really necessary. It is frequent to want to do a consolidation when wood, although it is worm eaten, is still strong. It is true that it is not always easy to evaluate the deterioration degree. Then, it is important to use all the possibilities to do a good diagnostic.

Different non destructive methods could give us an information on the damages extent : thermography, X-ray... These methods have their limits and need some experience to be interpreted. The old methods consist to tap on the surface : the sound inform us if the support is hollow or full. You must be careful not to push in the surface in the case of very damaged objects. The number of fly holes is not a good indication. It depends of the life of larvae, of their appetite... A support could be totally destroyed inside whereas it shows only few fly holes. However it is not really difficult to have an idea about the importance of the problem. More difficult will be to evaluate what quantity, what concentration and what viscosity of consolidant to use.

## *Consolidation reversibility.*

The reversibility, although very claimed in conservation, is rarely feasible. « The basic, material, even materialistic definition, signify the simple possibility of re-dissolution, of removing of filling materials or of conservation according to signification only chemical and physical. » (Ulrich Schießl, « Festifheitserhöhlende Konservierung von Holz » in : *Holzschutz, Holzfestigung, Holzerganzung*, Tagungsbericht Nr1, München : Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, 1992, p.12-13 / « Die einfachste materielle, ja fast materialitische Definition meint schlicht und einfach die Möglichkeit des Wiederlösens, Wiederauslösens oder Wiederabnehmens von Ergänzungen oder Konservierungstoffen in einem lediglich chemischen und physikalischen Sinn »). Even if a product is theoretically reversible, because it stay soluble with the time, it is a no-sens to want to extract a consolidant from a fragile wood. The reversibility is a notion more realisable for a gluing. The adhesive is only an interface that we could eliminate.

In some cases, conservators have succeed to extract old consolidants. For example, R. Payton (see « The conservation of an eighth century BC table from Gordion » in *Adhesives and Consolidants*, Preprints of the contributions to the Paris Congress, 2-8 September, London : IIC, 1984, p.133-134) mention the case of an ancient consolidation with a solution of paraffin wax in benzine which was unsucessful, even dangerous for the object. Deux technics have been used to remove the wax. A surface cleaning has been done with cotton-wool swabs dampened with toluen. The wax in the pore of the wood has been removed during the vacuum impregnation process of a solvent (toluen).

The reduced pressure caused the wax, mixed with wood dust, to be evacuated from the pores by the back pressure of evolving air-bubbles. The solvent extraction under vacuum was a complete success and left the wood very clean. After that a efficient consolidation with a thermoplastic resin was possible. Arno Schniewind, as for him, demonstrated the reversibility of Paraloid B72 consolidation which is not complete but satisfying according to the ethical code of AIC : « The conservator is guided by end endeavors to apply the *principle of reversibility* in his treatments. He should avoid the use of materials which may become endanger the physical safety of the object. He should also avoid the use of techniques, the results of which cannot be undone if that should become desirable. » (see : « What goes up must come down ... but is it reversible? » dans *Preprints of Papers at the XVth the Vancouver Annual Meeting, American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works*, Vancouver; British Columbia, Canada, May 20-24, 1987, Washington DC, 1987, p.107-117.)

However, we must admitted that the impregnation technics are reversible only chemically and partially. Horrie has shown that it is impossible to extract completely an impregnated resin in a porous material : resin is always reminding (C.V. Horrie, *Materials for conservation : organic consolidants, adhesives and coating*, éd. Butterworths, p.78).





*Stability of consolidants and compatibility with all materials of the object.*

Because of the no-reversibility or the partial reversibility of a consolidation by impregnation , « only materials of proven stability should be used. (...) Objects consolidated with products whose glass transition temperature is below ambient temperature will not be self-supporting » (C.V. Horrie, *Materials for conservation : organic consolidants, adhesives and coating*, éd. Butterworths, p.78). So the choice of the material is very important.

A stable consolidant is a material which won't deteriorate with time, which won't flow, which give a good strengthening to stabilize the wood, which will keep its good mechanical properties.

It is very important to choose products which won't have interaction with the original materials (wooden support, cloth or paper, preparation and pictural layer). We notice that this problem isn't always consider. The wood can swell with a polar solvent and so creat stresses in the pictural layer. However it is very frequent to use acetone to prepare a solution of Paraloid B72 for an impregnation. It is not always easy to find a ideal solution but it is important to know all the sensibility of original materials.

It is inevitable to modify the nature of the support by the impregnation of a product. However we must pay attention that this change will be little as possible. The used consolidant mustn't change the wood reaction to the external conditions, particularly in the case of a partial consolidation. It is really important to evaluate the properties of the wood consolidant composite to be able to conserve it in good conditions. (voir Arno P. Schniewind, « Consolidation of wooden panels », in : The Structural Conservation of Panel Paintings, proceedings of a symposium at the Paul Getty Museum, 24-28 April 1995, Los Angeles : the Getty Conservation Institute, 1998, p.96 : Properties of wood and consolidant composites). The consolidant used should be stiff but flexible in order to not interfere the wood variations.

The consolidant mustn't involve an aspect changement (darkening, colour change, shining...) the support as well as the pictural layer. However it is nearly inevitable. It need to do some tests and choose the product which occure the more little change. It is evident that this will change according to the objects and the sorts of deterioration. It is necessary to clean well after the consolidation (see R. Barclay, « Wood consolidation on an eighteenth century English fire engine », Studies in Conservation, vol. 26, n°4, 1981, p.133-139).

*Treatment efficiency with the least product possible.*

Consolidant should be an effective strengthener (good penetration, ample loading of consolidant...). The wished strengthening degree could be different according to the objects or the choice of conservation (cleaning, handling, structural strength). Consolidant should have enough strength, flexibility and hardness. It should act like an adhesif for the non attached particules of wood. We must to introduce the necessary and sufficient quantity. It is never necessary to do a total impregnation, which lead obligatory a very high rigidity, a complet modification of the support nature (it is more then plastic than wood), a great modification of the appearance.

We remind that the efficiency of treatment depend of the following requirements :

- non-destruction or deterioration of the fragile wood support and its pictural layer by the used impregnation methods;
- penetration depth of consolidant resin and treatment of all fragile ou weakened zones;
- good strengthening degree by the resin of the damaged wood.
- *The non-destruction or deterioration of the fragile wood support and its pictural layer*

The first requirement, the non-destruction or deterioration of the fragile wood support and its pictural layer by the used impregnation methods, is not so easy to follow. A consolidation by impregnation modify obligatory the nature of the original materials. We must be aware of the fact that this necessary operation for the survival of the object is not anodyn and could creat some damages or no acceptable modifications after a bad application. The product choice is essential in this case.

The more difficult to obtain is not to impregnate the pictural layer in the same time than the wood, because of its high porosity. We must to take away all products to be able to lead a coloration, a darkening or a high shining. We must to avoid all polar solutions or all hygroscopic material or a product with a glass transition temperature near of the ambient temperature (thermal expansion of the polymer) what will creat swelling and shrinking more or less repeated leading to the splitting and crack of preparation and pictural layer.

The application is very important. The support and the pictural layer are very sensitive to the pressure : whose made by the conservator during the handling or whose made during the vacuum. It is important to evaluate the risks of breaking or collapsing to adapt the chosen method. It is better to avoid the vacuum for the treatment of an icon whose the support fall in piece, in any case without realise a previous consolidation, with dropwise for example.

- *the penetration depth*

The penetration depth of consolidant resin and treatment of all fragile ou weakened zones depend of the used products (no polarity to avoid the adsorption, viscosity, superficial tension) and the application (concentration of the solution, pressure, vacuum). But a great part can't be control by the conservator : it depends a lot from the wood porisity itself. However the chosen products in this paper have shown that they well penetrate in worm-eaten and/or rotten wood. Of course, it is necessary to apply them correctly and to do a good diagnostic in order to reach all the fragile parts.

- *good strengthening degree.*

Schniewind (see : « Consolidation of wooden panels », in : *The Structural Conservation of Panel Paintings*, proceedings of a symposium at the Paul Getty Museum, 24-28 April 1995, Los Angeles : the Getty Conservation Institute, 1998, p.96-100 : « Consolidant Effectiveness ». See also Shawn M. Carlson and Arno P. Schniewind, « Residual solvents in wood-consolidant composites », in *Studies in conservation*, vol.35, 1990,) present and resum different physical studies to define the strengthening effect of a given consolidation treatment. He inform us that « epoxy resins can be formulated with excellent strength properties, which is an important justification for their potential application in the repair and consolidation of engineered structures. Accordingly, epoxy resins will result in propably the best possible strengthening in the consolidation of deteriorated wood if their use can be justified. (...)



The strengthening effect of soluble thermoplastic polymers tends to be significantly less, because it is rarely possible to achieve levels of loading as high as 50% and because of the lower strength of the resins themselves. » So we never succeed by using thermoplastic resins to return to the original strength of wood. However, a sufficient strength is obtained with thermoplastic resins in order to the icon find again its function and can be handled, exhibited or venerated. In this last case, when icons have a very damaged support, a reserve could be expressed regarding to the veneration which is very stressing for the object. We doesn't speak about this strengthening effect when we present each resin which could be used for a consolidation by impregnation because the difference is not so big between whose we have retained. It seem that the poly(vinyl butyral)s strengthen little better the wood than the acrylic resins.

How to test the strengthening of the treated objects? A method has be find for that (see Arno P. Schniewind et Dale P. Kronkright, « Strength evaluation of deteriorated wood treated with consolidants » in : *Adhesives and Consolidants*, IIC, London, 1984, p. 146-150.). However these tests are destructive. Because of the size of the sample to take on the object (50X50X760 mm), it isn't possible to look at using a such control on an icon. We should content ourself of the test by driving a pin or a nail in the support to control the efficiency of the done treatment.

## Particularities of deteriorated wood.

The support that we should consolidate is a deteriorated wood : either attacked by insects or infected by micro-organisms. In the first case, we speak about worm-eaten wood, in the second about rotten wood. The worm-eaten or/and rotten wood can have very different degrees of deterioration : damages could be very superficial or nearly invisible to the naked eye but very serious in depth. Damages could be very located (for example a corner of the support) or generalized to all the support. It could have an important loss of wood and big gaps. In all cases, the deterioration is heterogenous and put the problem of the interface between the sound and deteriorated zones. The wood can be described like crumbly, soft, sponginess... In the most extrem cases, the wood turn to dust as soon as it is touched.

In the structure of the wood itself, transformations are very different if wood is deteriorated by insect or by micro-organisms (see : Ulrich Schießl, « Festifheitserhöhlende Konservierung von Holz » in : *Holzschutz, Holzfestigung, Holzerganzung*, Tagungsbericht Nr1, München : Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, 1992, p.13-17). It is very important to understand this difference because this will have consequences on the consolidation itself or the more or less high easiness to impregnate the wood.

The rotten wood is destroyed in its substance itself. The micro-organisms destroy the cell walls of the wood. There is a chemical change in wood. The substance (cellulose, lignin) of the cell walls is destroyed by an enzymatic attack. Then, the cells are in connection between them. In general, a rotten wood has an inner humidity higher than a sound wood. We notice a great loss of volume and the apparition of a cubic parcelling out. A loss of humidity increases the wood decay. We notice a loss of weight. The wood is discolored because of remaining lignin and transformation products of mould. A fluid solution of consolidant enters widely and homogeneously in a such wood.

The worm-eaten wood isn't chemically changed. Outside the tunnel where the worm has eaten the wood, the wood is undamaged. We notice a more or less high loss of weight but no loss of volume. The behaviour to the humidity is a little different. It could be decay more or less widely. Consolidant penetration is very variable according to the degree and the type of attack (tunnels with a diameter more or less large; more or less superficial according to the insect species...).

## *The wood material.*

Literature : Jean Campredon, « Bois », in *Encyclopedia Universalis*, corpus 4, Paris, 1993, p.297-300.

After a quick presentation of the chemical nature and the physical characteristics of the sound wood, we will insist particularly on the porosity of this material, especially when it is deteriorated .

### *- The chemical nature of the sound wood.*

Two principal substances form the wood constituents, the cellulose and the lignin (membrane constituents and fibers of wood). Beside them other substances exist : the hemicelluloses, the polysaccharides, the pectines (reserve substances, cells constituents). The wood behaviour in front of the different chemical agent is linked to the particular character of the lignin-cellulose complex in which the lignin could resist, to some extent, to acids and the cellulose to the bases. The wood is a polar, absorbent substance.

- *The physical characteristics of this material.*

Physically, the wood is characterized by his humidity level, i.e. the content of water in the cells; by his density, variable with the humidity level et whose is given par the weight by cubic meter; by his retractability, i.e. the properties that it has to diminish or to augment of dimensions with the variation of its humidity level.

The inner humidity of a air dry wood (so of an ancient wooden support) is 17 to 13 % in mild climat. The inner humidity vary in fonction of the relative humidity and of the seasons. Below 13%, the wood is dry and crack. If the inner humidity exceed 20%, it is propitious to the developpment of micro-organisms. The variations of the water content lead dimensional variations (shrinking during the drying, swelling during the moistening) because the wood is an hygroscopic material. So it is necessary to be careful to the fact that the wood is conserved in relative humidity condition as stable as possible. The shrinking is different according to the nature of the wood; a hard wood is also nervous and its shrinking is high; a soft wood have, in opposite, a little shrinking. With the grain of wood, the dimensional variations are very small and almost insignificant : the axial shrinking is nearly null. In the transversal section, perpendicular to the grain of wood, the retractability doesn't distribute equally :



- in the tangential direction (tangential to the annual rings) the dimensional variations are the higher;
- in the radial direction (direction of the ray in the ring of growing), the variations are smaller (2 or 3 time less than the tangential retractability).

These variations exist even on objects in wood old for several centuries, even if the reaction is reduced. You should never change suddenly the climat of an objet which is in balance with its environment : it will react always strongly. However, it is possible to transport it into a box or a impermeable plastic enveloppe, air-conditionned to the original ambient conditions and after to conserve it in a tent or chamber with the same climatical conditions. It should be maintained in its own climat if it should return in the same place or acclimated progressively and slowly to the new climat. Generally, it is necessary to dry a pannel which come from a church and go after conservation in a museum.

The impregnation of a synthetic polymer will change inevitably the wood behaviour to humidity. It is some time a researched quality of this intervention to creat a humidity barrrier in order to stabilize the wood. However, we won't speak of that here. It is a very interesting question which is the subject of an important literature. But, although it give a essential complement to the consolidation question and to the problem of the study of the wood-polymer composite, we will go too far from the question treated here.

The wood is a heat non-conducting. The conductivity vary according to the essence, the humidity level and also according to transmission; it is higher in parallel with the fibers than in transversal. It is relatively important to know for all consolidation which require that the wood is previously heated, particularly with the wax-resin impregnation : the wood will never be hot in the heart and so on the wax couldn't penetrate very deeply.

The wood is a permeable material (see Arno P Schniewind, « Consolidation of wooden panels », in : *The Structural Conservation of Panel Paintings*, proceedings of a symposium at the Paul Getty Museum, 24-28 April 1995, Los Angeles : the Getty Conservation Institute, 1998, p.88-89). The transport of fluids (gas and liquids) can be represented by Darcy's law (so it is a date definite by physic) and Poiseuille's law (capillarity). The permeability depend both of the nature of the material (diameters, length and size of capillaries or pore) and of the nature of the fluid which go through the capillary. We notice with this law that it is only possible to make the fluid viscosity (diminution) or the differential pressure (augmentation) to vary in order to ameliorate the flow of the fluid. Normally, according to the rules of the permeability a fluid enter by a face and go out by the other. The permeability of a sound wood is an extremely variable property. Permeability may vary from one species to another by as much as a factor of 1 million. Longitudinal permeability is greater than transverse (radial or tangential) permeability. The softwoods are very less permeable than the hardwoods. Biological deterioration can cause occur dramatic increases in permeability. Thus, the ease of treatment tends to increase with the degree of deterioration.

- *A porous material.*

The wood is a material with a cellular structure (see Ernest Chevalley, *Le bois : panneaux et matériaux; technologie à l'usage des métiers du bois*, Lausanne : SPES, 1976, p. 1 à 28). The cells are the anatomical unit of wood. For the whole of the trees, the cells can be classified in three groups :

- support cells or fibrous tissues;
- conductive cells or vessels;
- reserve cells or parenchymas.

In hardwood, the wood porosity is given by the conductive cells or the vessels which can be compared to very thin tube set parallelly to the axe of the tree. They are visible to the naked eye in the zone of the sap-wood and spring wood. This system of channels is completed by perpendicular channels, the medullary rays. Their role is to conduct the sap to the center of the trunk. The sap can circulate of a vessel to another by going through pores called trachea.

For the softwood, the system of the sap adduction is different. Instead of having a system of vertical and radial vessels, the support cells are rolled into one with the vessels. Thus the circulatory system is compound of tracheids which are disposed vertically as well as horizontally. The communication between them is done by the alveolus. In spring, the revival of the vegetation induce in the initial wood vessels and tracheids with a diameter relatively important, whereas the autumn wood, the vessels are insignificant.

In a dry wood, the liquids, and so on the consolidant solution, can follow these circulation ways. Even in a sound wood, the possibilities of penetration are heterogeneous to depend on diameter of the pore variable between the initial and final wood.



In a deteriorated wood, i.e. weakened by humidity, sun, worm and micro-organism attacks, porosity is very increased. An old and well dry wood have generally micro-cracks if it isn't splitted and cracked. The penetration of consolidant will be always easier in a deteriorated wood than in a sound wood.

We notice a difference of porosity between a worm eaten wood and a rotten wood (see Françoise Cuany, Volker Schaible und Ulrich Schießl, « Studien zur Festigung biologisch geschwächten Nadelholzes : Eindringvermögen, Stabilitäterhöhung feuchtephysikalisches Verhalten », in : *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung*, Jahrgang 8/1994, heft 1.) (renvoi C1a-E). In a worm eaten wood, the network of tunnels depends only of the larva appetit (itself change by the climat) and their life. The tunnels are generally continued even if it could happen that they are obturated by wood flour or by larva dejections. Diameter of the channel vary to a species to another, it increase generally along the tunnel according to the larva growing. So the fly hole is larger than the middle diameter of the tunnel. The great number of tunnels increase the porosity and help to the introduction of consolidant (increasing of the capillarity, more numerous communications between cells). But in extrem case, the wood is powdery and fill totally the tunnels which could interfer with the penetration of consolidant. So the consolidation will be homogeneous with difficulty .

In a rotten wood, there is no problem with the wood flour or the larva dejections which could interfer with the penetration of consolidant. The consolidation is generally easier et more homogeneous than in a worm-eaten wood.

- *A porous material.*

The wood is a material with a cellular structure (see Ernest Chevalley, *Le bois : panneaux et matériaux; technologie à l'usage des métiers du bois*, Lausanne : SPES, 1976, p. 1 à 28). The cells are the anatomical unit of wood. For the whole of the trees, the cells can be classified in three groups :

- support cells or fibrous tissues;
- conductive cells or vessels;
- reserve cells or parenchymas.

In hardwood, the wood porosity is given by the conductive cells or the vessels which can be compared to very thin tube set parallelly to the axe of the tree. They are visible to the naked eye in the zone of the sap-wood and spring wood. This system of channels is completed by perpendicular channels, the medullary rays. Their role is to conduct the sap to the center of the trunk. The sap can circulate of a vessel to another by going through pores called trachea.

For the softwood, the system of the sap adduction is different. Instead of having a system of vertical and radial vessels, the support cells are rolled into one with the vessels. Thus the circulatory system is compound of tracheids which are disposed vertically as well as horizontally. The communication between them is done by the alveolus. In spring, the revival of the vegetation induce in the initial wood vessels and tracheids with a diameter relatively important, whereas the autumn wood, the vessels are insignificant.

In a dry wood, the liquids, and so one the consolidant solution, can follow these circulation ways. Even in a sound wood, the possibilities of penetration are heterogeneous to depend on diameter of the pore variable between the initial and final wood.



In icon, there is not only the support which is porous. But also the preparation, generally a mineral loading (calcium carbonate or sulfate) bound with an animal glue (esturgeon glue, skin glue...) and the picturale layer (porosity depend on the holder in binding and the pigment grinding. See G. Delcroix et M. Havel, *Phénomènes physiques et peinture artistique*, Puteaux : EREC, 1988, p.191-193) are layers with high porosity. Consolidant and solvents will impregnate obligatory these layers. So it is really important to choose materials for consolidation which are compatible with all constitutive materials of the object. We should particularly pay attention to choose products which not change the color and which not darken the painting.

*Behaviour of consolidant solution when it penetrate the wood.*

Literature : Françoise Cuany, Volker Schaible und Ulrich Schießl, « Studien zur Festigung biologisch geschwächten Nadelholzes : Eindringvermögen, Stabilitätssteigerung feuchtephysikalisches Verhalten », in : *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung*, Jahrgang 8/1994, heft 1, p.249-251;  
Liliane Masschelein-Kleiner, *Liants, Vernis et Adhésifs anciens*, Cours de conservation 1, Bruxelles : IRPA, remise à jour, 1983.

Gilbert Delcroix et Marc Havel, *Phénomènes physiques et peinture artistique*, Puteaux : EREC, 1988.

It is important to understand the behaviour of consolidant solution when it penetrate the wooden support. However, it is a very complex question. Different sorts of flow in a porous material of thick liquid exist. This behaviour is difficult to foresee because of the concomitance of different physical and chemical phenomenon : the superficial phenomenon (superficial tension, wetting), capillarity, adsorption, viscosity, air compression.

- *The different sorts of thick liquid flow in a porous material.*

The impregnation of wood can be characterised like a flow of a generally thick liquid, the consolidant solution, in the wood pores. With a physical point of view, three sorts of flow exist : laminaire, turbulent or mixte. A fluid which flow without obstacles in a well smooth and cylindric channel present a laminaire regime. The speed of flow increase from the wall to the axe of the conduct where it rise a maximum value. As soon as there are obstacles, like it is the case in the porous network of wood (rough walls, tortuous conducts...), the obligatory changements of direction given to the flow make the flow speed to vary, which become irregular : the regime is so-called turbulent. It is also possible to have a combination of these two types, which give a mixt regime. The passage of laminaire to the turbulent regime depend on the flow speed, the fluid viscosity and the geometry of conducts. By the fact, in the case of the wood, particularly of deteriorated wood, it is impossible to know what it could happen.

The physical properties of consolidant substances themselves and their interactions with the cells walls are known only partially. These properties can aid or impede the penetration of the consolidant solution in the wood. It is possible to extrapolate with the well kown laws of rheology but it will be never possible to foresee exactly the consolidant behaviour.

- *the superficial phenomena.*

When a fluid penetrate in a porous body, superficial phenomena occur where different physical parameters like superficial tension and wetting of the solution act.

The superficial phenomena are based on the concept of superficial tension. All is as the liquid surface was an elastic membrane uniformly strained, searching always to occupy the minimal surface. The tension degree of this membrane is measured by a coefficient of superficial tension, which is a caracteristical constant of a liquid. The superficial tension is the force which maintain in contact the surface molecules of a liquid. It exist also a tension interfacial between a liquid and a solid. The notion of superficial tension can explain the wetting and capilarity phenomena which interfer fundamentally in a consolidation by impregnation.

More the superficial tension of a fluid is high, more the fluid will have tendency to get together in drop et more he will wet with difficulty. The interaction forces of the fluid molecules are in competition with the interaction forces of the solid molecules. When these last win, the wetting is good.

- *the capillarity*

The penetration speed of liquids can be increased by the capillarity phenomenon. Effectively, many channels in the wood have capillar dimensions (a very little diameter for a very big length). This phenomenon is describe by the Jurin law : the heigth which rise the liquid in a capillar vary in opposite proportion with the tube ray to the place where the liquid stop and in direct proportion with the superficial tension.

It is possible to show by calculus that the widest capillars are filled the quickest, but this speed is braked because they should feed the thickest capillars with whose they are connected and where the height of migration is more important. The capillarity laws can be modified by the presence of widening and narrowing of capillars.

In the case of a consolidation by impregnation, the question is very complex, because we would like in the same time a good penetration, so a high superficial tension and a good wetting, so a low superficial tension. However, the physical and chemical interactions between the materials play also a great role.

#### *-The adsorption.*

An other phenomenon can reduce the speed of penetration (but favour the wetting) : the adsorption. The adsorption is the phenomenon according to which gas, liquids or solids stay fixed on the surface of some solids or liquids without the formation of definite chemical compounds. It seems that, in the case of liquids, that the adsorption is essentially chemical and that the adsorbed layer is monomolecular. We have notice that, when a solution is put in contact with an adsorbant, the concentration of the solution change. So the adsorbability of the two constituents can be different and the composition of the absorbed layer is not necessary the same that those of the solution.

With evidence, the adsorption play a role during the movement of a solution in a porous body. The progression of the solution in a such body follow the following steps. There is first a migration of the vapor and adsorption on the walls of the pores, the layer is monomolecular. As soon as the walls are saturated, the vapor go free. Then the liquid start to condensate in the narrowings. After, it adsorb on the walls of the cavity. The liquid start to flow on the walls. Finally, it fill all the cavity.

-the viscosity.

The viscosity of the solution is may be the essential factor to understand and to deal with to obtain a good penetration of the consolidant. The viscosity is the flow resistance of a liquid. It depends only of the substance (particularly of its glass temperature, and the temperature (the viscosity decrease when the temperature increase). The molecules of a fluid can slip some on others but it is only in perfect fluids that they do that without rubbing. The rubbings between the molecules of the fluid itself and with the surface on which it flow, give a certain viscosity. The liquid flow is easy far from the walls but difficult in contact with them. This difference is explained by the fact that the viscosity is a variable force of resistance which is subject in all points to a constant force which is the gravity and the pressure done to make penetrate the consolidant (brush, syringe, vaccum). More a consolidant is viscous, less it penetrate easily and deeply in the wood.

It is possible to evaluate the viscosity by different methods (see « Méthodes industrielles et d'ateliers pour mesurer la viscosité » (Industrial methods and methods of atelier to measure the viscosity) in Gilbert Delcroix and Marc Havel, *Phénomènes physiques et peinture artistique*, Puteaux : EREC, 1988, p.221-223). These methods are the only efficient to determinate the viscosity of a product. No physical law is reliable. It is more difficult to foresee the final viscosity of a mixture (mixture of solvents or of resin and solvent).



Consolidants are classified by low, medium or high viscosity. We find seldom a precise value in centipoise. Often, the given value mean nothing because it is not precised with which solvent, which concentration, at which temperature the measure has been made. It will be interesting to have a range of measure with different consolidants in solution in different solvents in order to be able to compare these measures. It is necessary to search polymers which for a low viscosity will have a maximal concentration. It depend of the resin and of the solvent. David Grattan (in : « Consolidants for degraded and damaged wood » dans *Proceedings of the Furniture and Wooden Objects Symposium*, Canadian Conservation Institute, Ottawa, 1980, p.27-42) has made a compilation of informations on viscosity given by manufacturers : the poly(vinyle butyral) are the badder and the acrylic resins are the best.

The consolidants generally used for the impregnation, solutions of polymer in organic solvents, have rarely a low viscosity (see : Petr Kotlik, « Impregnation under Low Pressure », *Studies in Conservation*, n°1, vol.43, 1998, p.42). The viscosity of macromoleculaire solutions increase very quickly when the concentration of the polymer increase. Low values of viscosity can be reach only with solution with a little quantity of polymer. On this point of view, the polymer dispersions are the more interesting. For a solid content of 50%, the aqueous dispersions have a relatively low viscosity. However, the polymer particles in a dispersion are relatively large, which can slow down the penetration in the porous material. An other solution to the viscosity problem is to used oligomers or even monomers (epoxies, acrylic or methacrylic esters), which will have macromolecules properties after in situ polymerisation).

## - *Air pressure*

It is necessary to take notice of confined air in the cells of wood. When a consolidant solution is introduced, air will be partially compressed because of the initial pressure. It is extremely difficult to know in which proportion the compressed air can be a problem for the penetration or not. It is not necessary to fill all the pores but it is better if the consolidant can reach all the deteriorated zones, which is very difficult to control. Some practical solutions have been found to solve this problem like the vacuum consolidation

### *Observations in the practice of the penetration of consolidant.*

It is difficult according to the theoretical rules of a liquid circulation in a porous material to foresee how a consolidant is going to penetrate in the wood to be treated. The purpose of a consolidation is not to fill all the pores of the wood, but to strengthen the wood fibers, particularly to restore the bounds that have been broken by the worms or by the micro-organisms. Some how, the consolidant should play the role of an adhesive. When we use the term total consolidation, that means that the consolidant is distributed homogeneously in all the parts needing a consolidation.

The diffusion of a consolidant is not at all the same in a sound wood than in a worm-eaten or rotten wood. A lot of researches have been done in the industrial world in order to manufacture composite wood thougher to the humidity changes. But their preoccupation and reflexion are not at all whose should have a conservator with a deteriorated wooden support. A conservator will not use the same methods.

Analyses with MEB has been done by the Prof. Schiessl and his collaborators on samples of consolidated wood with different consolidants, natural and synthetic by an impregnation under normal pressure (see Françoise Cuany, Volker Schaible und Ulrich Schießl dans : « Studien zur Festigung biologisch geschwächten Nadelholzes : Eindringvermögen, Stabilitäterhöhung feuchtephysikalisches Verhalten », in : *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung*, Jahrgang 8/1994, heft 1, p.252-265). They have establish that the consolidation of a rotten wood is more homogeneous that those of a worm-eaten wood. In a rotten wood, the capillar network is more regular than in the worm-eaten wood, where accidents in the tunnels, some wood flour accumulation or dead larva bodies can be obstacles to the consolidant penetration.

The MEB has been used to study the distribution of synthetic resins after the treatment of deteriorated wood samples by vaccum impregnation done by Arno P. Schiewind and Peter Y. Eastman (see « Consolidant distribution in deteriorated wood treated with soluble Resins » dans *Journal of the American Institute for conservation*, vol.33, n°3, 1994, p.247-255). The studied resins are the followings : Butvar B98, Paraloid B72 et Butvar B90. The autors concluded that the resins don't penetrate homogeneously in the wood : some tracheids are entirely filled, others present no deposit of resin. They show also that this technic can occure damages in the cellular structure of wood. It is not recommanded to put under vacuum an fragile object, the difference of pressure itself can bring about the collapsing of tunnels; the increased speed of the flow can be also a problem. However, it is uncontestable that the vacuum improve the penetration deepth and sometimes, can be useful, when the deteriorated zones are far from the surface of the wood for example, case in which the consolidant should flow through an important zone of sound wood, less penetrable.

## Aromatic and aliphatic hydrocarbons.

The mixtures of aromatic and aliphatic hydrocarbons are extracted from the mazout by fractionnal distillation and are known under different names : naphta, benzine, mineral spirits, white spirits, etc. Because the petrol fractions are natural products, they differ in fonction of the pur materials whose from they are derivated and the method by which they have been refined. Solvents extrated from petrol and with a different chemical composition can have an identical name in different countries. A compagny can manufacture a product under a name without a fixed date. Berger give the example of the shell compagny which produce six mineral spirit in USA with an ebullition point varying of 5°.

Although is better to prepare an home mixture of solvents for a consolidation from highly refined solvents, it is very much cheap to use less refined petrol fractions which are mixture of solvents with a rate of x% aromatics. However, it is better not to use the products with the rate of aromatics indicated and relatively pur to limit the risks of deterioration of consolidants. According to Berger, an indication of the purity of solvents is the difference between the initial point of ebullition and the dry-end-point. A high rate of C8 and aromatics (last column of the table) must also to be avoided except if their composition is known, like in the case of the toluene. A hight dry-end-point and a yellow coloration are dangerous signes.



Name of solvent					Aromatic composition in %			
	Evaporation rate : Toluene =1	Initial ebullition point	Dry-end-point	Kauri Butanol Number	Aromatic	Paraffin	Naphtane	C <sub>8</sub> and following aromatics
Toluene	1.00	110	111	105	100	0	0	0
Xylene	0,34	138	139	94	100	0	0	75
VM & P Naphtha	0,45	113	143	34	9,5	72,8	17,7	7,7
Oderless Mineral Spirit	0,03	179	190	28	0	84	16	0
Mineral Spirit	0,06	156	198	36	15	49	34	15
Amsco Solv. B	0,12	137	190	73	70	15	14	52

Data from : Amsco Solvents / Chemicals Emulsions, Holtmelt Adhesives, Amsco International, 1345, Avenue of the Americas, New York, NY 10019.



### *Importance of the solvent choice.*

The solvent choice can seem to be given by the choice of the resin, which is generally soluble in a definite range of solvents. But the solvent can have so influence on the original materials and the success of the consolidation that it will order for example the elimination of a resin only soluble in a solvent no compatible with the wood. The following properties are very important to know to choose a consolidant solution, as well as the resin properties. This is unfortunately often forgotten. The wood is a polar substance, the polarity of solvents should be considered and decreased in maximum to avoid the swelling of the wood, particularly if the object is polychromed. It is also very important to play on the volatility of the solvent : a balance should be find between a low volatility to facilitate a better penetration and a poor retention to avoid the plastification of the materials of the pictural layer. The volatility of the solvent influence also the apparition of stresses into the wood and the balance of the inner humidity. By choosing a good solvent of the resin (great chemical affinity) or a poor solvent, we interfere on the viscosity and so on the flow of solvent.

- *the polarity of solvents*

The wood is a substance polar (see Ulrich Schießl, « Festigkeitserhöhende Konservierung von Holz » in : *Holzschutz, Holzfestigung, Holzergänzung*, Tagungsbericht Nr1, München : Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, 1992, p.28-29). Polar solvents (acetone, methanol) are generally used to ensure a better strengthening of wood : « The property of a given polymer deposited from solution may depend on the dynamic quality of the solvent used. Hansen and coworkers found significantly different mechanical properties of films of AYAT cast from acetone and from toluene, with toluene giving the lower values. Wang and Schniewind found evidence that the use of polar rather than non polar solvents tended to result in somewhat greater levels of strengthening.» (Arno P. Schniewind, « Consolidation of wooden panels », in : *The Structural Conservation of Panel Paintings*, proceedings of a symposium at the Paul Getty Museum, 24-28 April 1995, Los Angeles : the Getty Conservation Institute, 1998, p.98) In fact, the polarity may allow a better adherence of the resin (and so a more efficient strengthening) by making the adsorption possible and so a very good wetting.

« Although polar solvents have an affinity for wood, they tend to penetrate poorly compared to nonpolar solvents, because polar molecules may be adsorbed on the internal wood surfaces, and such adsorption would reduce their mobility. » (Arno P. Schniewind, « Consolidation of wooden panels », in : *The Structural Conservation of Panel Paintings*, proceedings of a symposium at the Paul Getty Museum, 24-28 April 1995, Los Angeles : the Getty Conservation Institute, 1998, p.93.) In fact, it seems that the distribution of consolidant isn't significantly influence by the polarity of solvents (see ibidem, p.98).

However, the polar solvents are able to make the wood swell. The unpolar solvents don't occur these effects. The consequences could be very serious on a rotten wood, for example, which will react strongly with a polar solvent and will occur no reversible damages. A solvent such ethanol can involve the opening of cracks initially present in the wood to consolidate (see R. Barclay, « Wood consolidation on an eighteenth century English fire engine », *Studies in Conservation*, vol. 26, n°4, 1981, p.137).

The polar solvents are water, ethanol, methanol, acetone, ethyl acetate, ethylglycol (alcohols and esters). The slightly polar solvents are : trichloroethylene, toluene, xylene (aromatics). The unpolar solvents are : benzene, turpentine, tetrachloromethane (aliphatics).

List of swelling factors of some solvents (Factor of swelling of 100 for water):

n-butylamine	139
water	100
methanol	95
ethylglycol	87
ethanol	83
methyl acetate	80
ethyl acetate	around 70
acetone	63
propanol	45
butanol	13,5
amylalcohol	4,9
chloroform	3,2
tetrachloromethane	1,7
toluene	1,6
benzine	0,0

(from Bergman, data found in : Françoise Cuany, Volker Schaible und Ulrich Schießl, « Studien zur Festigung biologisch geschwächten Nadelholzes : Eindringvermögen, Stabilitäterhöhung feuchtephysikalisches Verhalten », in : *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung*, Jahrgang 8/1994, heft 1, p.263)

Better than this, Arno P Schniewind (in « Consolidation of wooden panels », in : *The Structural Conservation of Panel Paintings*, proceedings of a symposium at the Paul Getty Museum, 24-28 April 1995, Los Angeles : the Getty Conservation Institute, 1998, p.93) give indications of swelling for solutions of 15% consolidant (weight basis):

- Paraloid B72 in toluene	0,06% of swelling
- AYAT in toluene	0,07%
- Paraloid B72 in acetone	1,03%
- AYAT in acetone	2,17%
- Butvar B98 in methanol	3,31%

This swelling is not permanent and after four weeks, the object has found again its initial volume. However, for painting panels, even a temporary swelling isn't acceptable because that involves undesirable stresses in the pictorial layers. The use of polar solvents should be forbidden in the case of impregnation of polychromed wood.

- *the volatility of the solvent*

It is one of the most enigmatic questions about the solvents. It is relatively easy to know the properties of a solvent, but it is difficult to know how it can react with the resin, with the wood... The climate plays also an important role : it is better to consolidate a wood at a temperature of 20°C and a relative humidity of 55-60%. For the consolidation is efficient, it is better that the evaporation don't occur too fast. So it is better to use not too volatile solvents. But the solvents shouldn't stay during several months into the wood (plasticisation of the resin, even the pictorial layers). If a mixture of solvents is used, it is still more complicate to evaluate.

In the case which is interesting us, the consolidant (the resin) is generally put in solution in a solvent without heating. The consolidation, so the setting of the consolidant, is doing according to a chemical process by solvent evaporation or by cooling of the consolidant. When the evaporation is too fast, a problem of condensation can occur (see Ulrich Schießl, « Festigkeitserhöhende Konservierung von Holz » in : *Holzschutz, Holzfestigung, Holzergänzung*, Tagungsbericht Nr1, München : Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, 1992, p.18). There is also a big difference of volume and weight between the solution and the dry substance which could involve stresses inside the wood. More, by evaporating, the solvent can carry with it molecules of the used polymer, which could impede the penetration of consolidant. It is important to know all these inconvenients when a consolidation is done.



The solvent evaporation play also a role on the internal humidity of wood. It is possible to calculate theoretically the increasing of weight of wood after consolidation (see Françoise Cuany, Volker Schaible und Ulrich Schießl, « Studien zur Festigung biologisch geschwächten Nadelholzes : Eindringvermögen, Stabilitätssteigerung feuchtephysikalisches Verhalten », in : *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung*, Jahrgang 8/1994, heft 1, p.262-263). This theoretical value is never reached. More the concentration is high, more the difference is big. An explanation is that the evaporation of the solvent involve the evaporation of a part of the linked water. This loss is not compensated for the usual hygroscopicity which has been reduced by the impregnation of synthetic polymer.

The solvent evaporation is also dependent on the glass transition temperature of the consolidant that it solubilise.

- *Viscosity influence and the flow of polymers.*

C.V. Horrie, *Materials for conservation : organic consolidants, adhesives and coating*, Oxford : Butterworths-Heinemann, 1987, p.65-66.

A diluted solution of polymer in a good solvent (which present similar parameters of solubility) have a high viscosity in relation to the solution of the same polymer in a poor solvent. However, at high concentration (superior to 15-30%), the poor solvents have a higher viscosity than the good solvents. The good solvents, in consequence, allow to the polymer to flow more easily at high concentration, for example in the last stage of the drying. An optimum combination seem to be a mixture of a volatile poor solvent with a little quantity of less volatile good solvent. This is true for the formulation of an adhesive but can not be used to the formulation of a consolidant : the penetration in depth of a solution of polymer in objects is obtained by choosing a solvent with the better similitude of the solubility parameters.

So, a solvent neither too volatile, nor too polar is needed. Aromatics seem to be appropriated. However they present an interaction problem with the pictural layer and particularly the varnish. Ideal will be to use an aliphatic. But rare are resins solubles in aliphatics. So it is usual to use mixtures of aromatics (dissolvent) and aliphatics (diluent).

## *Physical, mechanical and chemical properties of a good consolidant.*

Literature : David W. Grattan, « Consolidants for degraded and damaged wood » dans *Proceedings of the Furniture and Wooden Objects Symposium*, Canadian Conservation Institute, Ottawa, 1980, p.27-42.

Before all, a good consolidant will be the product which give again a good cohesion to the wood, particularly with its adhesive properties. The wood is not an inert material, even in the best conditions of conservation, so it will be obliged to choose in the available resins whose that will have the best mechanical properties (flexibility, stiffness, plasticity). It must be also a stable product in time. Sometimes, it could be necessary to add some additives to ameliorate the longevity and the mechanical qualities of a polymer. The application (III) is fundamental : it is possible to choose a good consolidant but to do a bad consolidation because a no adapted solvent or a bad concentration have been used (Solvent choice,).

### *-Adhesive properties.*

Literature : K.W. Allen, « Adhesion and Adhesives - Some Fundamentals », in : *Adhesives and Consolidants*, Preprints of the contributions to the Paris Congress, 2-8 September, London : IIC, 1984, 5-12.

G. Delcroix et M. Havel, *Phénomènes physiques et peinture artistique*, Puteaux : EREC, 1988, p.223.

The resin should be a good adhesive to allow to glue with efficacy the detached pieces of the wood or wood in powder. For that, it should have a certain affinity with the wood and particularly be able to create solid bond with it. The used solution should wet well the wood substance, so have a high superficial tension, and be adsorbed by it. It depends also of the solution viscosity and so one of the used solvent.

- *Mechanical properties of polymer (flexibility, stiffness, plasticity).*

The mechanical properties of a polymer can be extrapolate of theoric values calculate by the manufacturers and which should figure on the commercial and technic card of a product : elongation to the rupture, modulus of elasticity, stiffness and glass transition temperature.

However, it is important to know that these data are influenced by the interaction with the wood. The properties of wood-polymer composites have been studied for the wood industry and the manufacture of more resistant woods. However, there is few studies about the mechanical properties of a deteriorated and consolidated wood. (See efficacy of the consolidation,

The elongation to the rupture or the rupture modulus allow to measure the strength of bound (see Shawn M. Carlson et Arno P. Schniewind, « Residual solvents in wood-consolidant composites », dans *Studies in conservation*, vol.35, 1990, p.27). More the elongation to the rupture of a polymer is low, more it will have the tendency to crack. The elasticity modulus allow to evaluate the hardness of the bounds. This hardness is measured according to different scales (Knoop, Brinell). It is hard to do the conversion of one to another.

These notions are very important to choose a polymer which will strengthen efficiently the wood. The hardness and other mechanical properties depend on the glass transition temperature. The mechanical qualities are also influenced by the quantity of solvent et so by the used concentration of polymer. These properties are going to change with time, it is why it is very important to know the type of aging of the polymer.

- *The good aging of polymer.*

A polymer have to present good properties to aging. For the resins of impregnation, yellowing is not considered like a major problem. When they have been applicated carefully, the surface is not covered by the resin. The wood became darker after the impregnation because the resin facilitate the penetration of the light in the wood. So the yellowing is a criterion to consider only in final.

Grattan (in « Consolidants for degraded and damaged wood » dans *Proceedings of the Furniture and Wooden Objects Symposium*, Canadian Conservation Institute, Ottawa, 1980, p.27-42) write that the reticulation have not to be a preoccupation, because in any case the impregnation is not reversible, as the removing of the resin require an immersion in a solvent... However, it is better to avoid, when it is possible, the products which cure. The tridimensionnal curing and the insolubility of the resin will impede all later intervention (next consolidation, désinfection...).

But finaly the most important is that the polymer conserve its mechanical properties with time. If the object must last, it is essential that it keep its solidity. Although no test of aging have been made on samples of consolidated woods, numerous studies have been made on the aging of the resins. The acrylics, the poly(vinyl butyral)s and the poly(vinyl acetate)s are known to have a good aging. It is also possible to add additives in order to ameliorate the longevity and the mechanical qualities of the polymer.

- *Additives in order to ameliorate the longevity and the mechanical qualities of the polymer.*

G. Delcroix et M. Havel, *Phénomènes physiques et peinture artistique*, Puteaux : EREC, 1988, p.71.





It is always possible, and this is systematic in the ready-made products, to add additives in order to ameliorate the properties of the polymer. It is possible to use :

- plasticizer (Pthalates, adipates, glycols) to give flexibility of the resin and to reduce its fragility;
- stabilizer (Salts of lead, stearate) to fight the aging under heat and U.V.;
- anti-oxidizer (aromatic amines) to fight the oxidation;
- anti-U.V. (Benzotriole, benzophenol) to delay the photochemical deterioration;
- antistatic (alkylsulfonate, ammonium quaternaire) to avoid electrostaticity;
- fungicide (Hydrogenated derivatives of phenol) to fight against the micro-organisms.

The conservators don't use a lot of additives when they prepare themselves their consolidant solution. It is more difficult to foresee the interactions of the conservation product with the original materials and its stability when its composition is complexe. It seems that the products with additives are less stable than pur products.

- *Concentration of polymer solution.*

To choose the concentration of a polymer solution, it is necessary to find a balance between a good penetration (low concentration) and the need to obtain a reasonable level of resin loading (high concentration) (see Arno P. Schniewind, « Consolidation of wooden panels », in : *The Structural Conservation of Panel Paintings*, proceedings of a symposium at the Paul Getty Museum, 24-28 April 1995, Los Angeles : the Getty Conservation Institute, 1998, p.93-94). The two things are important to the success of the consolidation : a treatment in depth which strenghten efficiently the deteriorated wood. For the sound woods, it is possible to calculate the maximal loading from the porosity of wood (and so its density). In a deteriorated wood, the relative density decrease and the porosity increase, allowing a higher loading.

Importance of the glass temperature of consolidant.

Literature : Michael R. Schilling « The Glass Transition of Materials in Conservation », *Studies in Conservation*, n°3, vol. 34, 1989, p.110-116.

David Horton-James, Sue Walston and Stevens Zounis, « Evaluation of the Stability, Appearance and Performance of Resins for the Adhesion of Flaking Paint on Ethnographic Objects », *Studies in Conservation*, n°4, vol. 36, 1991, p.207.

The notion of glass transition temperature is fundamental in conservation, particularly in the case of a partially reversible treatment like a consolidation by impregnation. After a definition of this terme, we will see the factors which make vary the glass temperature for one polymer. The glass transition temperature influence the working temperature of polymers, their thermal expansion, the film formations of emulsion, the viscosity, the plasticity of polymers and the solvent retention. We will see that the glass transition temperature can be an argument against the use of thermosetting resins. But particularly, the glass transition temperature play an essential role on the polymer stability.

- *Definition of the glass transition temperature.*

The glass transition is a second-order transition, defined as the temperature at which a material changes from a solid, « glassy » state to a softer, « rubbery » state. Since energy is not liberated in reversing through  $T_g$  it is by definition a second-order transition (fusion is an example of a first-order transition because substances release heat upon recrystallization). The glass transition is the primary transition for amorphous (non-crystalline) materials. At temperature above  $T_g$ , sufficient thermal energy is present to allow segments of the main molecular chains to rotate, causing an increase in the free-volume of the polymer (the free volume is that portion of the total volume of a polymer not occupied by polymer chains). As result, the heat capacity ( $c_p$ ), linear coefficient of thermal expansion (LCTE), and elasticity increase.

The glass transition temperature should not be confused with the fusion temperature, since polymers do not melt when passing through the transition. However, polymer particles can stick together at temperatures above  $T_g$  because they are more tacky. This gives the appearance of melting, but the polymer does not actually liquefy. Another common practice is to determine the glass transition temperature of a polymer by measuring the softening point. This can be misleading because of the strong dependence of the apparent softening point on the method of analysis.

- *Factors playing a role on the glass temperature.*

Chemical composition and structure are known to affect the  $T_g$  of a polymer. Some important factors that change the temperature range of the transition are :

- a. The type and size of substituent groups attached to the polymer backbone.
- b. Comonomers incorporated into the backbone of the molecule.
- c. The packing of substituents around the main chain.
- d. Hydrogen bonding and other secondary bonding.
- e. Crosslinking and scission of polymer chains.
- f. Length of side-chains.
- g. Molecular weight.
- h. The presence of plasticizers.

It is difficult to predict exactly what effects factors a-h will have on the glass transition, since the situation at the molecular level is very complex. The temperature and appearance of the transition can also be changed by instrumental parameters.

- *Working temperature of polymers used in conservation.*

The glass transition temperature is a very important factor in conservation. It affects a number chemical and physical properties of polymers used in conservation. One of the most fundamental considerations often overlooked is that  $T_g$  defines the working temperature range of a material. A particular application dictates if a polymer must be in its glassy or rubbery state in order to perform satisfactorily.

- *The thermal expansion of polymers.*

In general, polymers have much greater free-volumes above  $T_g$  because rotating chains occupy more space. As a consequence, the LCTE of materials are commonly three to five time greater above  $T_g$ , which can cause severe problems in certain circumstances. Consider the case of a polymer coating applied to an object that has a smaller LCTE than the polymer. After the coating has dried, the object is exposed to the normal temperature cycles of the surroundings. If the temperature cycles extend above and below the  $T_g$  of the polymer, large dimensional changes will be produced in the coating as the LCTE cycles between the small value below  $T_g$  and the larger value above. For substrates with relatively small, constant LCTE values, the stresses induced by the cycling may cause the coating to crack or delaminate.

When choosing a consolidant, it is important to find a material that has a glass temperature far enough away from the ambient temperature conditions to avoid these dramatic dimensional changes and if possible to choose a consolidant with an LCTE that is similar to the substrate.



- *Film formation of emulsion.*

Polymer emulsions form films by coalescence of the polymer particles as the solvent evaporates. Coalescence will occur depending on the nature of the polymer particles, specifically their stiffness and surface tension. These factors depend on the  $T_g$  of the material or on a related term, the minimum film formation temperature (MFT), which is generally a few degrees above  $T_g$ . If the ambient temperature during the drying process is below  $T_g$ , the particles will be in the stiff, glassy state, coalescence will not occur and the film cannot form. Therefore, to ensure proper performance of an emulsion coating material, it is important to know the  $T_g$  of the product, especially if it is intended for outdoor use.

- *Viscosity, plasticity of polymer and solvent retention.*

The properties of films cast from solutions of thermoplastic polymers, such as Paraloid B72, are also affected by the glass transition temperature of the polymer. Consider the case of an object that is to be coated with poly(methyl methacrylate), PMMA, which has a  $T_g$  of 105°C. A solution of PMMA in a suitable solvent is prepared, and applied to the object. During the initial stage of drying, the rate of evaporation depends on the volatility of the solvent under the conditions of application (temperature, air flow, etc.) and is virtually independent of the presence of polymer. As the solvent evaporates, the viscosity of the film increases and the free-volume of the film decreases (because the polymer chains are packed more tightly). Mathematically, the free-volume is expressed as a function of  $(T - T_g)$ , where  $T$  is the ambient temperature, and  $T_g$  is the glass transition temperature of the film as it is forming (the  $T_g$  of the film will be lower than that of the bulk polymer due to the action of the solvent as a plasticizer).

Eventually, the viscosity of the film becomes so high that the evaporation is governed not by the volatility of the solvent, but by the rate at which solvent molecules can diffuse through the free-volume of the film. Clearly, when  $(T - T_g)$  is small, the free-volume is close to the minimum value, and the rate of solvent loss is minimal. In practical terms, this means that solvent will always be retained in films of thermoplastic polymers that possess  $T_g$  values above ambient temperature. That which we want to avoid for a consolidation by impregnation to decrease the risk of flow and thermal expansion of polymer (see Shawn M. Carlson et Arno P. Schniewind, « Residual solvents in wood-consolidant composites », in *Studies in conservation*, vol.35, 1990, p.26). Because of the exponential decreasing of the solvent diffusion coefficient, an important quantity as 10% of solvent can be retained in the polymer film during several years.

The remainder of the solvent in such a film can be removed by heating the film above  $T_g$ , in other words, by increasing  $T$ . The increase in  $(T - T_g)$  allows more solvent to evaporate, which ultimately raises the final value of  $T_g$ , and produces a much harder film. Unfortunately, in the case of a consolidation of a painting panel, it is not possible to heat the object without danger (wood desiccation, oxidation of certain materials of the pictorial layer...), so it is not a usable solution. We can use neither the other alternative which is to use a polymer with a glass transition temperature below the ambient temperature for the durability of the consolidation. Such a polymer would have a greater free-volume at ambient temperature, compared to one with a  $T_g$  above ambient temperature, which would allow solvent to evaporate more completely without heating. We don't have any solution to avoid this problem in our case. However the strengthening obtained by the thermoplastic resins is sufficient, even it is not maximum, to the use that need (see : treatment efficacy in conclusion of principal text).

- *Glass transition temperature and the thermosetting resins.*

Thermosetting resins, such as epoxies, are often used as structural adhesives. Their strength is affected by the degree of cure, which depends on the use of a proper cure cycle (temperature ramp). For certain specialty applications, users just guess at the amounts of the reactants and let the system cure under ambient conditions. However the density, mechanical properties and  $T_g$  of a cure thermoset are controlled by the configurations of the molecules at cure. For example, a resin will have a higher  $T_g$  if it is cured using a slow temperature ramp instead of rapid heating, because the growing polymer chains will be able to reorient into more favorable configurations.

The shelf life of thermosets can be monitored by measuring the  $T_g$ . During storage, thermosets crosslink slowly, raising the  $T_g$ . Ultimately, the material becomes unusable. Before a critical job, the  $T_g$  of a thermosetting resin should be tested and compared to the value for fresh, uncured material, to determine if it is still usable.

*- The glass transition temperature and the stability of polymer.*

If the temperature of an adhesive fall below its glass transition temperature, it can become stiff and brittle, that can occur damages in the wood substance if the support is subject to continual movements or that can made that the consolidant don't play anymore its strengthening role, being to weak itself.

If the temperature is well above the glass transition temperature, the resine can become sticky and catch the dust. Also, like Schilling notice that, if the ambiente temperature is well above glass transition temperature of a resin, an consecutive augmentation of volume can creat stresses or cracks in the resin and deteriorate the object, particularly if the resin has been applicated of a material with a more little LCTE.

Another reason to search to know the glass transition temperature was to determinate if a correlation can be made between the glass transition temperature of resins and their properties resistance to the tension, of adhesion and of retention of dust as well as to obtain a standard glass transition temperature which could help us in the resins selection. In the case of consolidant, it must be superior to the ambient temperature (otherwise flow risk). In mild climat, a glass transition temperature equal or superior to 40°C is recommanded.

## The thermosetting resins

Literature : David W. Grattan, « Consolidants for degraded and damaged wood » dans *Proceedings of the Furniture and Wooden Objects Symposium*, Canadian Conservation Institute, Ottawa, 1980, p.27-42.

C.V. Horrie, *Materials for conservation : organic consolidants, adhesives and coating*, Oxford : Butterworths-Heinemann, 1987, p.105-106.

R. Munnikendam, « Consolidation of fragile wood with low viscosity aliphatic epoxy resins » in : *Conservation of Wood in Painting and the Decorative Arts*, Preprints of the Contributions of the Oxford Congress, 17-23 september 1978, London : IIC, 1978, p.71-73.

R. Munnikendam, « Low Molecular Resins for the Consolidation of Decayed Wooden Objects », *Studies in Conservation*, vol. 17, 1972, p.202-204.

R. Munnikendam et Th.J. Wolschrijn, « Further Remarks on the Impregnation of Porous Materials with Monomers » dans *Studies in Conservation*, vol. 14, 1969, p.133-135.

Their use in the consolidation by impregnation has been developed in order to palliate to one of inconvenients of consolidant resins (see N.S. Brommelle et A.E.A. Werner, « Détérioration and Treatment of Wood » dans *Problems of Conservation in Museums*, Conseil international des musées, Paris : Eyrolles, Londres : George Allen and Unwin Ltd., 1969, p.69-118). The diluated solutions should be applied in several times to ensure that a sufficient quantity of resins is loaded in the wood when the impregnation of thermosetting resins is made in a single application. They present also the advantage to generate a solvent departure, so present little or no shrinking. They can be used at low viscosity. They are very strong and stiff but it exist some formula more flexible. The used thermosetting resins are the epoxies, the polyesters, the acrylic resins (the *in situ* polymerization can be made with the help of a catalyser like the benzoyle peroxyde with heat or by gamma radiations).

An experience has been conducted by the British Museum Reasearch Laboratory (see N.S. Brommelle et A.E.A. Werner, « Détérioration and Treatment of Wood » dans *Problems of Conservation in Museums*, Conseil international des musées, Paris : Eyrolles, Londres : George Allen and Unwin Ltd., 1969, p.69-118). It has proved that a formulation constituted of : 50 parts ot Araldite CY 219, 25 parts of Hardener HY219, 1 part of Accelerator DY 219 and the rest of dibutyle phtalate, is an excellent consolidant for very deteriorated woods. The mixture is sufficiently mobile to penetrate in the ruined wood where it set in situ to cold in a stiff mass which give again a good mechanical cohesion. So, it is a product which can present good technical criteria and conduct to a very good consolidation.



However, it seem to be more reasonable to follow the attitude describe by R. Barclay (in « Wood consolidation on an eighteenth century English fire engine », *Studies in Conservation*, vol. 26, n°4, 1981, p.135). The thermosetting resins have been deliberately not chosen in a range of consolidants for rotten wood tests which have been made by the Conservation Processes Research section of the Canadian Conservation Institut (CCI). They have too much inconvenients : short-dated little reversibility; setting immediately after the first application which prevent to the penetration of ulterior applications; properties dependent on a precise mixture; some substances in the wood can affect the setting/ curing. The sucess of treatment seem difficult to obtain, but than this, these products are no acceptable for a deontological point of view : totaly irreversible, they don't allow an ulterior treatment.

There is a risk of desiccation of fibers. The curing reaction is very exothermic. This very important rise of temperature is not acceptable for the pictural layer. These resins have generally a high toxicity. They don't seem to be put in all hands. To use only in cases of structural consolidation or may be for extremely fragile wood which could not endure the shrinking of synthetic resin in solution.



## *The poly(methyl methacrylate) or PMMA*

Literature : C.V. Horrie, *Materials for conservation : organic consolidants, adhesives and coating*, Oxford : Butterworths-Heinemann, 1987, p.103 et suivantes.

The PMMA is extremely stable regarding to the light, oxygene and U.V deteriorations (first class polymer for Feller). However, the polymer rich in methacrylate cure when they are exhibited to the U.V. The curing under light seem to happen under the action of side chain by an oxydizing mechanism. The methacrylates are more susceptible of cure if they are exhibit above or at their glass transition temperature.

The acrylic lacquers are a poor release of solvents for the dry to touch films. It is proved that toluene is strongly kept - more than two month- in a Paraloid B72 film. To the opposite, the para-xylene evoparate more slowly during the forst stage of the drying but go on more freely during the last stages. This is attributed to the polarity of solvents.

Althought the paraloid B72 is generally range to the poly(methyl methacrylate)s, this is exactly a poly(ethyl methacrylate and methyl acrylate) with a molar percentage of 70:30 (see Eddy de Witte and M. Goessens-Landrie, « The structure of « old » and « new » Paraloid B72 », ICOM CC, 5th Triennial meeting, Zagreb, 1978, 78/16/3, 9). It is soluble in polar solvents. It is often used in acetone, toluene and xylene.

According to the tests done by the Canadian Conservation Institut (CCI) (see R. Barclay, « Wood consolidation on an eighteenth century English fire engine », *Studies in Conservation*, vol. 26, n°4, 1981, p.135), the paraloid B72 is one of the most interesting resins for the consolidation of wood, after the poly(vinyl butyrale) and in parallel with the soluble nylon.

The chemical properties and stability of Paraloid B72 are well known and present all wanted properties for an adhesive : stability (resistance to the oxydation, light, hydrolyse and moderated heat), transparence, mechanical resistance and reversibility. The recommended use by Röhm and Haas is like surface coating or bending media for flexographic ink. It has been also used in conservation for consolidation of all sorts of materials.

One of its inconvenients is its low glass transition temperature (40°C) which could occur conservation problems in hot countries for objects conserved in no controlated atmosphere. It seem also, according to the studies of Prof. Schiessl (in « Festifheitserhöhlende Konservierung von Holz » in : *Holzschutz, Holzfestigung, Holzerganzung*, Tagungsbericht Nr1, München : Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, 1992, p.25), that it has a less good penetration when it is in solution in toluene, than the Plexigum P28 which is a poly(isobutyle methacrylate), like a higher discoloration.

## *The poly(butyl methacrylate) ou PBMA*

Literature : C.V. Horrie, *Materials for conservation : organic consolidants, adhesives and coating*, Oxford : Butterworths-Heinemann, 1987, p.103.

The poly(butyl methacrylate) present the advantages to resist to the yellowing, to be soluble in hydrocarbons and to have a sufficient flexibility, a glass transition temperature which prevent against the taken of dust ( $T_g$  around  $65^\circ\text{C}$ ) and it is commercially available with comparatively low molecular weigths. Unfortunately, it has been proved that PBMA is not usable long-dated because of a non wished curing of the polymer under the light. After an exhibition of 22 years on a wall of a laboratory, it is become insoluble at 50% and more polar solvents are needed to be removed. These tests has been done by Feller for varnishes, a consolidant is not expose to the light. It could be interesting to do specifical aging test in this case.

The Paraloid B67 althought it cure eventually, seem to be particularly stable and belong to the class A according to Feller. However, this stability seem to come from an unknown additive, significant changes could appear if the secret formulation is change by the manufacturers. It is soluble in solvents less polar than the Paraloid B72.

According to Horie, the poly(butyl methacrylate) have been widely replaced by more stable polymers like the Paraloid B72 or the poly(vinyl acetate). It continue to be use in cases where a low glass transtion temperature, a low molecular weight and a solubility in hydrocarbons are needed. There aren't more stable materials that reproduce the useful qualities of the poly(butyl methacrylate). It is the case of the wood consolidation.

The poly(butyl methacrylate) are really interesting for the wood consolidation. The Plexigum P28 has been tested by Prof. Schiessl (in « Festifheitserhöhlende Konservierung von Holz » in : *Holzschutz, Holzfestigung, Holzerganzung*, Tagungsbericht Nr1, München : Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, 1992, p.25) in solution in testbenzin. He concludes that it is the best product in all he has tested, i.e. the Plexigum P-28 (Butylméthacrylate, Röhm), the Paraloid B72 (Polybutylmethacrylate, Röhm), the Mowilith 30 (polyvinylacetate, Hoescht), l'Araldit BY 158/HY 2996 (epoxy resin, Ciba Geigy), Araldit DY/ HY2996 (epoxy resin, Ciba Geigy) and the Lignol AS/AW-K (ready made consolidant). The commercial names of the more used poly(butyl methacrylate) are Plexigum P28 (Röhm)/ Paraloid B67 (Röhm & Haas)/ Elvacite 2045 (DuPont). It is necessary to test all these products to compare their efficacy for a consolidation by impregnation when you know that to a manufacturer to another the proportions of copolymers vary and the additives are different.

## *The poly(vinyl acetate) or PVAc*

Literature : C.V. Horrie, *Materials for conservation : organic consolidants, adhesives and coating*, Oxford : Butterworths-Heinemann, 1987, p.92-96.

The homopolymers of poly(vinyl acetate) are usable in a large range of molecular weights. The glass transition temperature of PVAc is around the ambient temperature, that contribute to its stiffness and its adhesion properties, but also to its capacity to retain the dust and its tendency to flow in cold after long periods. Although the pur alcohols are no solvents, the addition of a little quantity of water can change them into solvent. Of all the available polymers for conservation, it has been demonstrate that the PVAc is one of the more stable to the light aging. Although the PVAc suffer of oxydation and other little changements, it is not deteriorated in contact with air and don't cure noticeably. It has been demonstrated that the PVAc stay soluble in the objects after more than 30-40 years. The PVAc is incompatible with methacrylate in solution.

The poly(vinyl acetate) is a good product of conservation. Only it is very polar. The PVAc present generally a glass transition temperature too low (from 16°C to 31°C for the range of Union Carbide Corporation) which occur the risk of flow or of thermal expansion of the polymer. Moreover, it is a material very sensitive to the water vapor which will vary of volume according to the variation of humidity. All that can occur stresses in the original materials and to split or to crack them.

So we are dissuaded to use this product for the consolidation of painting pannels. However it could be used if a PVAc with a glass transition temperature the higher possible is chosen, and if this PVAc is in solution with aromatic solvents and if the object is conserved in a stable environment after treatment.



## *The poly(vinyl butyral) or PVB*

biblio : C.V. Horrie, *Materials for conservation : organic consolidants, adhesives and coating*, Oxford : Butterworths-Heinemann, 1987, p.99-102.

The poly(vinyl butyral) is available with various molecular weights and different proportions of remaining hydroxyle groups. A poly(vinyl butyral)s with a great proportion of hydroxyle groups (17-21% molar) is soluble in the solvents only with a large possibility of hydrogen bound. The poly(vinyl butyral)s with few hydroxyle groups (9-13%) are solubles in a large range of solvents and have a glass transition temperature lower than the poly(vinyl acetate)s. The viscosity, generally high, of the solutions of PVB is reduce with the use of solvents mixtures, for example 60% ethanol : 40% toluene. Difficulties have been met with the adhesion of PVB with a hight holder of hydroxyle groups, may be in reason of the hight glass transition temperature.

The PVB can cure because of the acids traces or the heat and other chemical substances like the dialdehydes. Tests of aging to the heat (100°C during 14 days have shown that the solubility of the polymer cab be affected. On two tested types, Mowital 330H and Rhovinal B10-20, the Rhovinal appear less adapted, becoming lightly brittle and loosing its solubility. The U.V. exhibition in air occur some oxydation. An important curing with some deteriotations conduce to an insoluble network in extrem conditions.

According to the tests of the Canadian Conservation Institut (CCI) (see R. Barclay, « Wood consolidation on an eighteenth century English fire engine », *Studies in Conservation*, vol. 26, n°4, 1981, p.135), the poly(vinyl butyral)s are the best resins for the wood consolidation. Barclay has chosen to use the Butvar 90 (Monsanto) (equivalent to the Bakelite XYHL, Union Carbide) to consolidate an eighteenth century fire engine with a rotten wood. However the butvar B98 would have been better according to the molecular weight and the viscosity, but in practice, these differences are not really felt. He use its at 54% in ethanol and apply its with brush. A light shining occur after the fifth passage. The resin is dry to touch after 3 hours. In all tested resins in CCI, it is whose that produce the more light darkening of wood. The result is satisfying : the wood has find again its cohesion and can supported a moderate pressure.

According to Payton (in « The conservation of an eighth century BC table from Gordion » in *Adhesives and Consolidants*, Preprints of the contributions to the Paris Congress, 2-8 September, London : IIC, 1984, p.136), although the poly(vinyl butyral) is shown a good resistance to the natural aging, some samples are become brittle, yellow and insoluble after strong tests of accelarated aging. The poly(vinyl butyral)s content an amount of poly(vinyl alcohol)s (Butvar B98 content 18-20%) which could cure and occur the yellowing of the resin, but can also cure with the molecules of cellulose. Therefore, it is necessary to be careful when this polymer is used, particularly in wood objects. If the lack of coloration and the force are more important than the long dated partial insolubility, this product can be recommended according to him. He has used this product for the

consolidation of an archeological object after to be sure with tests that this product gave the best results. He has used a solution in a mixture of toluene-ethanol (50/50). He has noticed that the dimensions of the wood have increased of 3,47% to 5,38 % (according to the pieces) because of the swelling in the radial and tangential directions, and less in the longitudinal direction. This increasing is very high. Even it don't seem to have occurred damages, this could be accepted for the support of a painting or an polychromed object. This would occur obligatory splits and cracks in the preparation and the painting.

In the given examples, the poly(vinyl butyral) is always used in solution partially alcoholic, so polar and not advised for the wood. This product don't seem to give enough advantages in comparison with its inconvenients to be used for the consolidation of polychromed wood, which can not tolerate the swelling occurred by the use of alcohol.

## *The poly(vinyl chlorid). PVC*

Literature : C.V. Horrie, *Materials for conservation : organic consolidants, adhesives and coating*, Oxford : Butterworths-Heinemann, 1987, p.113-114.

The poly(vinyl chlorid) is a thermoplastic resin manufactured by polymerisation of a very toxic monomer, the vinyl chlorid. This polymer is a stiff and rigid material, soluble in a little range of organic solvents. Some plasticizers or copolymers are used to reduce the rigidity of this material. Although it is one of the more usual polymers, it is one of the more instable to heat and light. The PVC is deteriorated by the lost of hydrochloric acid from the chain to produce double bounds. It was widely used for the consolidation of wood since the years 50. But it is today known that it is not a good product to use it because of its very fast deterioration.

## The soluble nylons

The soluble nylon are solubles in mixture of solvents with alcohol. Nylon is a generic name for the polyamide family of which the monomer unit is the nylon 6,6. The nylons are generally insoluble. Two alterations can be done to a nylon polymer to make it soluble. The atom of hydrogen which constitute the bounds can be replaced. Alternatively, the structure of the polymer can be made with a so irregular manner that the coordinated interchains bounds can not developp.

The N-methoxymethyl nylon is formed by heating nylon 6,6 with formic acid and methanol to produce short lateral chains. This produce a polymer which is more flexible than the original nylon and which is soluble in ethanol or methanol if a littler amount of water is added. The soluble nylon is solved by hot solvents but form a gel when it cool to the ambient temperature. The films which are formed from the solution shrinking during the drying.

The glass transition temperature du N-methoxyl nylon is sufficiently low when the water has been absorbed to allow the collecting of the dust. The non modified nylons, which similarly soluble in alcohols, are copolymers of a large range of different polymers : Ultramid 6A (BASF) or Elvamide 8060 (DuPont). The films formed from the dried solutions at ambiente temperature are habitually opaque and should be heaten at around 80°C to ensure the transparency. They suffer probably of the same reaction of deterioration of the more common nylons.

The Calaton (Imperial Chemical Industries Limited) have a certain number of inconvenients of which the more important is to become insoluble. In the best case, the aged films can be removed only with strong solvents like the phenol or the formic acid, but in extrem cases, they are completely insoluble. According to the pH and the content of humidity, the soluble nylons films become brittle, break or become powdering in short period (two months) and so loss his strenght. It has been widely used in the years 50, but his use has been forbidden since the years 60.

Different theories exist on the insolubilisation mechanism of the soluble nylon. Eddy de Witte and F. Bochoff have, each of them, done a study which has bring them to a similar conclusion : the insolubility is associated to an hydrolytic or chemical phenomenon. Dominique Fromageot ( in « Photovieillissement de revêtements de consolidation à base de polyamides solubles » dans *Technologie industrielle, Conservation restauration du Patrimoine culturel*, colloque AFTPV - SFIIC, Nice, 19-22 sept. 1989, Puteaux : EREC, 1989, p.28-33) consider and prove that the insolubility is the result of a mechanism of oxydation. She has obtained an appreciable amelioration of the life (around 15 years in museal conditions) of such product by using an anti oxydant redox. She has searched to extend the stability of a such product because of its interesting mechanical properties, its ease of application (solubility in a mixture water-alcohol). Other products are also very interesting and don't present these inconvenients. Moreover, these tests have been made for polymer films, no for impregnations. We prefer to avoid this product.



## *The nitrates of cellulose*

An adhesive with a nitrate of cellulose basis is a solution of nitrocellulose and other filmogene materials in a mixture of organic solvents. This adhesive dry slowly by evaporation of solvent. The nitrates of cellulose are not very efficient like material to form a bound with the wood and have nearly never been used like original adhesive in wood objects. It is a no stable material no recommendable for treatments of conservation. (from Donald C. Williams, « A survey of Adhesives for Wood Conservation » in : *The Structural Conservation of Panel Paintings*, proceedings of a symposium at the Paul Getty Museum, 24-28 April 1995, Los Angeles : the Getty Conservation Institute, 1998, p.82) This adhesive have the tendency to become stiff and brittle in time (S.P Koob, « The use of Paraloid B72 as an adh sive; its application for archaeological ceramics and the other materials » dans *Studies in Conservation*, vol.31, 1986, p.7.)

## *The acetates of cellulose*

Literature : C.V. Horrie, *Materials for conservation : organic consolidants, adhesives and coating*, Oxford : Butterworths-Heinemann, 1987, p.130-132.

The acetate of cellulose is manufactured by heating the cellulose with an anhydric acid and a catalyser of sulphuric acid. The chemical properties of acetates of cellulose change in fonction with the degree of substitution, particularly their solubility. To a substitution degree of 2,5 approximatively (secondary acetates), the polymer is soluble in aceton and similar solvents. When the substitution degree is over this value, it become soluble in less polar solvents, like the chlorid solvents. The acetate of cellulose oxidise at ambient temperature : its molecular weight is reduced, it become weaker and more brittle. The deterioration is increased widely by traces of acid catalyser remaining from the manufacture. The new commercial formulations are more stables than the older. To reduce the deterioration of the acetate of cellulose, an acide acceptor, like the acetate of magnesium, can be incorporated, as oxygen absorbers or antioxidants.

The acetate of cellulose in its soluble in acetone form is become widely available during the first world war (coating of planes). It has replaced the nitrate of cellulose too much inflammable.



The superficial technics of consolidant application :

- *brush application of consolidant*

It is possible to apply the consolidant with brush and to obtain the more or less complete gradual saturation of pores of the material to consolidate. This method has been used by Barclay on an eighteenth century fire engine. (R. Barclay, « Wood consolidation on an eighteenth century English fire engine », *Studies in Conservation*, vol. 26, n°4, 1981, p.136.) It was the case of a wood rotten (*Serpula Lacryman*) on one centimeter. The result is very satisfying after successive multiple applications. A better result is obtained by applying a lot of layers of a consolidant solution with a low concentration in resin. An application of less numerous layers of a more concentrated solution lead to a unacceptable shining which appear very soon. But for the more deeply damaged parts , he has used a vaccum impregnation.

This methods can be used only for superficial consolidation because it is not very efficient for a penetration in depth. The time of contact between the source of consolidant (the brush) and the surface to treat is short. In most cases, the application should be repeat several times. In one studie (on stone) (Petr Kotlik, « Impregnation under Low Pressure », *Studies in Conservation*, n°1, vol.43, 1998, p.42.), « it was found that after 20 brush applications, an organosilicate consolidant, having a reactant concentration of 20% by weight, can penetrate to a depth of 10 mm. A solution of low molecular epoxy resin having a concentration of 30% by weight penetrated to a maximum of depth of 8mm in the same sandstone after having been applied by brush 12 times. »

- *The spray of consolidant.*

Another superficial method is the consolidation by spraying. Its efficiency is relatively low (Petr Kotlik, « Impregnation under Low Pressure », *Studies in Conservation*, n°1, vol.43, 1998, p.42). Moreover, intensive evaporation of solvent occurs which results in concentration of consolidant near the surface. This method present no interest for a consolidation in depth.

- *The consolidation by 'pockets'*

A methods with 'pockets' has been developped for the consolidation of stone (Petr Kotlik, « Impregnation under Low Pressure », *Studies in Conservation*, n°1, vol.43, 1998, p.43. He refers to a chapter of the following book where these little-known methods are illustrated and described in detail : C.M. Selwitz, *Epoxy Resins in Stone Preservation*, The Getty Conservation Institute, 1992). The surface is wetted throught the use of continuously flowing layer of liquid consolidant. The object is often lined with absorbent, throught which the liquids flows and gradually penetrates into pores. Low molecular epoxy resin used in 30% concentration can penetrate in a sandstone to a depth of 20mm within 10 hours.

In the case of the wood, these superficial methods seem to be usable only in the case of a micro-organismes attack in surface. The occured damages by wood-worm are too deep.

## *Injection consolidation*

### *- The advantages and inconvenients of this method.*

A consolidation can be made by injecting a consolidant solution with the help of a syringe in the tunnels created by wood-worm. This is a widely used method in the case of worm eaten wood : the injection is made in the fly hole of insects. The conservator should have a steady hand not to break the fly holes. He should continue to inject in the same zone until saturation. It is needed to control any time if the consolidant solution doesn't go outside in another zone, particularly on the painted face. If a large surface should be treated, this method can be long and tedious. But it presents the great advantage of a uninterrupted control of the treatment. With well applied injections, it mustn't have consolidant to the surface of the support. It is one of the advantages of this technic : the consolidant will be not in contact direct with the light, which is a reduction of factors participating to the aging of polymers.

### *- The choice of syringes*

Plastic syringes can be used. However sometimes the needles are a little too rigid. It is possible to find old syringe in glass and to try to find also all sorts of needle, more or less flexible, more or less long, with a diameter more or less large to be able to adapt in each case. It is important to choose the capacity of the tank of the syringe according to the degree of deterioration of the wood. More the wood is deteriorated, more the tank should be large. A tank too small requires to introduce and to remove the syringe several times from the fly hole, which is a big risk of breaking.

- *The consolidation with pipette.*

Sometimes, in the case of very deteriorated wood, the pressure done on the syringe will give too much strength in the flow of solution which could occur destruction in the deteriorated wood, like also the repeated introduction of the needle in the fly holes. To avoid that, I have seen used a very interesting method in the Hochschule für Bildende Künste, Dresden which consists to place pipettes in the fly holes (the end is enveloped in an absorbent material or a gauze for a protection). They are held by a grating which is fixed above this object to consolidate. It is important that no pressure exists on the fly holes. This is an interesting method, but to use only in the case of a very deteriorated wood. It can be advantageously replaced by the dropwise methods.

- *The drop wise consolidation.*

It is possible to do a consolidation with the help of a dropwise system like it is used in medicine (Brigitte Aberle et Manfred Koller, « Restauratorische Holzfestigung und die Infusionstränkung » in : *Restoratorenblätter*, Band 10, zum Thema « Holztechnologie und Holzkonservierung, Möbel und Ausstattungen », Wien, 1989, p.76-77.). This technique is especially interesting for the three-dimensional objects, particularly the polychromed sculptures, of high sizes, very wood worm eaten but with still intact paintings (but that a very little pressure could destroy being not supported by the support). This dropwise system is self-supporting. It ensures a gradual impregnation, without pressure and in depth. A consolidant solution with a low viscosity and which dries slowly should be used. This system has been used with Xylamon LX- härtend (We haven't presented this product because it is a ready-made product which has several functions : disinfection, consolidation, protection of wood... Its composition is commercially secret. We advise against this kind of product for conservation. It is better to treat each problem separately.) and a Paraloid B72 solution.



It is advise to use many dropwise. The place of the needles is very important. It is better to consolidate part to part, one part by day. It is possible with this method to introduce continously the consolidant until saturation (however it is necessary to to put in fonction the system only in presence of conservators for a frequent control). It is really important to survey the operation and to remove the needle as soon as the hole is fill. According to the size and the deterioration degree, the treatment can last several days to several weeks.

Another method has been used in the Egyptian Antiquities Organisation by Shawki Nakhla (Shawki Nakhla, « A comparative study of resins for the consolidation of wooden objects », dans *Studies in Conservation*, vol. 31, 1986, p.38-44.). According to him, one of advantages of the dropwise is to reduce the quantity of solvent vapor breathe by the conservator. The apparatus which has been developped by the Egyptian Antiquities Organisation has a separated tank leading to a flask in pear form with several issues at the same level and a hole for the air issue. The caoutchouc tubs are fixed to each issues. They have a thin end in glass which could be introduced in the wood. The flow of drops can be regulate. The operation can be done in a closed room, ventilate without the frequent intervention of conservator.

This method is very useful to replace the injection consolidation in the case of objects very deteriorated and of hight size requiring a great quantity of consolidant. It is not posiible to a conservator to do only the consolidation of an object during many days even weeks. It present the advantage to not exerce pressure. This is a method to retain.

### Uncreasing spraying in a plastic envelope

For a big size canoë which could not be treated by classical methods of consolidation (vaccum or immersion), it has been created a method of uncreasing spraying in a impervious enclosure lined polyethylene film (Arno P. Schniewind et Dale P. Kronkright, « Tests de résistance des bois détériorés après traitement par produit de consolidation » in : *Adhesives and Consolidants*, IIC, London, 1984, p. 146 -150.). A recirculating pump has been provided ans spray outlets thus allowing for continuous diffusion into the wood. The solution should heve a very low viscosity. The tests of viscosity of solution and efficient penetration have been made with Paraloid B72 and poly(vinyl acetate)s in polar solvants which are usable in the case of polychromed wood. However, they succeed with this method to a total impregnation of rotten and worm-eaten wood. It seem very interesting for objects with big dimensions which could not supported pressure. But it will be better if thermoplastique resins solution in less polar solvents could be used.

In case of polychromed objects, it is necessary to be sure that the painted face will not be sprayed (this seen to be difficult in the case of a polychromed sculpture or a double face icon). This method present the inconvenient to coat the surface of the wood with consolidant. This layer is of course removable with solvents but it require an supplementary intervention with solvents. Because of the danger of the solvent for the object and for the conservator, it is better to avoid that.

## *Immersion consolidation.*

### *- Immersion in a resin thermoplastic solution.*

It is possible to impregnate an object by immersing it in a consolidant solution, which penetrate in the wood by capillarity. It is obvious that the gravitation act against the strenght of capillarity. After some time, a balance is achieved and the liquid don't rise any more (Petr Kotlik, « Impregnation under Low Pressure », *Studies in Conservation*, n°1, vol.43, 1998, p.43.). Liquid fills the pores with the aid of hydrostatic pressure (rule of balance of liquids). The pore are not empty, they are fill with air which the consoldant has to displace throught the release of bubbles. This is likely to occur with more difficulty by total immersion. So it is adviced to soak the object only partially. It is more wished when it is a painting pannel which is treated : the preparatio and the painting layer don't have to be immersed.

### *- Immersion in melt wax-resin.*

In the case of wax-resin impregnation, it is necessary to use a heating tank. The temperature of the bath should be constant and not go over 60°C which is the melting point of the wax. The objects must be heaten (infra-red lamps) befor to be immersed in the wax. This consoliatio is done only if the object is enterely immersed in the wax-resin. It is important to check that the pictural layer can suffer that. It is neccessary to consolidate it before if not. A facing seem to be not useful, but it will limit may be the penetration in the picturale layer. The consolidation is finish when there are not any more bubbles. It is necessary after to clean the excess of wax with heat of solvents (White spirit). This method seems to be very condemmenable. In the case where this kinf of consolidation is require because of an old intervention with wax, it will be interesting to try to developp the dropwise method invented by Nakla.

## *Vaccum impregnation.*

### *- The advantages of such method.*

It is possible to improve the technic of impregnation by immersion (improvement of the depth of penetration and tremendous reduction of the time of treatment) by decreasing the pressure on the liquid surface (Petr Kotlik, « Impregnation under Low Pressure », *Studies in Conservation*, n°1, vol.43, 1998, p.43.) Under these conditions, the gas is sucked out of the pores. Moreover, the capillarity movement of liquid into pores that takes place during evacuation is enhanced by the effects of atmospheric pressure after opening the system and balancing the pressures in the impregnation tank. In studies where acetone was employed as the model liquid there was a large difference between the amount penetrated into sandstone when immersion was done at atmospheric pressure and when a vacuum was employed. Under normal pressure the pores in stone were filled after about 1000 hours (41 days) but when the impregnation was done under reduced pressure this value was obtained in less than one hour. This method makes it possible to achieve not only a higher total amount of liquid in the porous material but also deeper penetration.

### *- Necessity of vacuum chamber.*

These impregnation technics have been developped in industry, particularly to manufacture more resistant wood. It is necessary to practice a such method to have a vacuum chamber. Few ateliers have a such equipment, because of the cost and of the necessary room.

Barclay (R. Barclay, « Wood consolidation on an eighteenth century English fire engine », *Studies in Conservation*, vol. 26, n°4, 1981, p.136-137.) use a portable vacuum chamber to a pressure of 635 torr (25" Hg). (He gives no information about the trade-mark, the size, the cost of this apparatus). After the (non polychromed) pieces have been weighted, they are immersed in the resin solution in the vacuum chamber, put under weight (bags of polyethylene filled of lead balls) and let in the bath until the release of bubbles is finished. Then the air is reintroduce in the chamber. This operation is done three times. After that the pieces are taken out the solution, put to drain in ethanol vapors in the chamber. Then the draining is finished, the pieces are put to dry to the air in ventilated polyethylene tent.

Erika Schaffer and Fern Brisebois (Erika Schaffer and Fern Brisebois, « Inexpensive Home-made vacuum Chamber for Impregnation », dans *Studies in conservation*, vol. 19, n°2, 1974, p.91-96.) propose to built a vacuum chamber for impregnation (but which could be used for other treatments : fumigation, drying, freezing drying). This chamber seem effectively not to difficult to built for a good handy-man. However, only little can enter in this chamber ((1m22of lenght, 45cm of width). This is not enough for the majority of icons. Will be possible to built a bigger chamber? (Erika Schaffer, « Consolidation of Painted Wooden Artefacts », dans *Studies in conservation*, vol. 19, n°4, 1974, p.213. in this other paper, Erika Schaffer say that it is not possible to built a chamber for big objects.)Why a cylinfric form has been chosen?

- *The plastic enclosures.*

It is possible to built air-tight enclosure which could be use like a substitute of a vacuum chamber. They have the advantage to fit the size of the object and to take no place between the treatment periods.

Kotlik presente different methods to built a air-tight enclosure which have been used for the consolidation of stone (Petr Kotlik, « Impregnation under Low Pressure », *Studies in Conservation*, n°1, vol.43, 1998, p.43-48.). The sculpture is wrapped in a textil and then an aqueous pre-vulcanized latex of natural rubber is brushed over the wrapping (method developped by Hempel (K. Hempel, « An improved method for the vacuum impregnation of stone », *Studies in Conservation*, vol.21, 1976, p.40-43.)). After drying, this latex cover give a flexible gas-impermeable chamber. Latex countains a high amout of water, which will partially evaporate but will also penetrate into the textile and the wrapped porous material. This method should not be recommended for a wood object. Moreover, the natural rubber swell easily in the non polar organic solvents (white spirit, toluene) which could occur the deterioration of the cover and escape in some cases. The idea is good, but the practical result bad. After, Hempel have had the idea to replace the latec by a polyethylene film and the textile by a net made in polyethylene. This polymer is resistant to the organic solvents used in conservation ; it is no dissolved, not dammaged, and don't swell. Some solvents (like toluene) diffuse throught the film but the diffusion has not a high rate. It present also interesting advantages : transparency, heat-scealability and low cost, numerous uses.



At the institut of chemical technique (Prague) where work Kotlik, this method has been modified to be used with ready-made materials. The object is wrapped in a polyethylene net which stay open in the bottom (sleeve) before to be put in the tank contening consolidant. This perform several functions. Its protects the container from being cut by sharp edges of the object under treatment. In addition, to prevents the film being pulled down too tightly against the surface when the vacuum is applied, thereby providing space for the consolidating solution to surround the object.

The netting should be secured at several points to prevent movement during evacuation. Polyethylene tubing is fastened into the double wedge-shaped welding line by heat-sealing. To prevent blocking of the tubing by polyethylene film when the vacuum is applied, this tubing is passed throught the film into the container inside a short lenght of plastic pipe. One of the tubes is equipped with a valve and its immersed into the consolidant. Another tube is also aquipped with a valve and is connected to a safety tank, to prevent liquid from flowing into the vacuum pump. A vacuum gauge is connected to the equipment in order to follow the pressure inside the bag.

After assembling the equipment, air is pumped out the bag during 1-3 hours (times depends on the dimensions of the object : the purpose is to extract a maximum of air of the object). The pressure is reduced, and the fim comes into closer contact with the surface of the object due to the external pressure. This can occur damages on fragile objects. When this has been done, the valve in the tubing supplying the impregnation solution from the storage tank is opened. Liquid gradually fills the bag.

When it reaches the neck of the outlet hose, the flow of liquid is stopped. After about 20 minutes the vacuum pump is turned off and the system brought to ambient pressure. When this is done the liquid level goes down. After 10 minutes the vacuum is started again. It is not necessary to add consolidant. This operation is repeat three times. The consolidant raminding is eliminated and the object unwrapped.

This method has been used with success in the laboratory of Kotlik, on stone as well as wood object with good results. Xopolymer acrylics solution as well epoxy resins has be used. However, no reflexion has been done about polychromy. By this method, it is inevitable that the preparation and the pictural layer are impregnated of consolidant. This is very bad.

#### - *Vacuum pumps.*

It exist different sorts of vacuum pumps. Some are more or less adapted to fragile objects. Payton (R. Payton, « The conservation of an eighth century BC table from Gordion » in *Adhesives and Consolidants*, Preprints of the contributions to the Paris Congress, 2-8 September, London : IIC, 1984, p.134.) use a slow vaccum pump, which can be control by hands, with a little capacity (16cm<sup>3</sup>). This allow to be sure that the rate of vacuum will not exceed the air releasing of the dense structure of wood.

This method of consolidation by vacuum impregnation present the same inconvenients that the immersion impregnation and moreover the risks of collapsing of the tunnels, of deformations of the surface of the support or the pictural layer. We advise against this operation for the supports which are too much attacked by worm and more generally for polychromed object in reason of the impregnation of the picturale layer with consolidant.

# The anoxia disinfection method

Alain Renard  
French / English



# ANOXIE

La désinsectisation par anoxie.

## -Les insectes dans les œuvres d'art

Les objets en bois peuvent être des sources de nourriture pour les larves d'insectes xylophages. Il existe plusieurs catégories d'insectes détruisant le bois qui s'attaquent aux œuvres d'art tels que les termites, les coléoptères (lystes, charençons, punaises). Normalement dans une atmosphère saine et contrôlée, les risques sont minimes, mais ils existent tout de même. Comment se produit l'attaque? Il faut qu'un insecte adulte femelle vienne pondre ses œufs à la surface du bois, généralement un peu abrité dans une anfractuosité, par exemple une fente. L'œuf va donner naissance à une larve qui se développera en mangeant le bois. Elle va créer ainsi des galeries. Elle va ensuite devenir une nymphe (pupa en anglais) puis un insecte adulte qui va s'envoler pour se reproduire et pondre à nouveau des œufs... Le cycle de vie est différent selon les espèces considérées. Certains insectes passent directement de l'état de larve à celui d'adulte. L'appétit et le développement de la larve dépendent de divers facteurs, notamment du taux d'humidité interne et de la température.

## -Signes et détermination d'une infestation

Quand nous constatons l'attaque, il est souvent trop tard : les adultes se sont envolés et le bois est déjà partiellement vermoulu. En effet, les larves sont invisibles, car elles se développent sous la surface du bois. Les signes visibles de l'infestation sont les sciures rejetées vers l'extérieur au moment de l'envol de l'insecte adulte parfait, les trous d'envol frais avec sciures sur les bords, éventuellement les insectes adultes vivants (volant ou copulant) et ceux morts au sol.

Les trous d'envol seuls et la sciure, même abondante, ne suffisent pas à déterminer une infestation. Il peut s'agir d'une ancienne attaque : de la sciure peut tomber des trous d'envol des années après. La détermination d'une infestation récente est la présence de cônes de sciure autour des trous ou de la sciure en abondance et fraîche présente sans même avoir secoué l'objet. Les trous d'envol doivent être clairs et frais à l'intérieur, avec de la sciure sur leur pourtour.

Des appareils ont été mis au point pour essayer de diagnostiquer l'infestation avant l'envol des adultes. Il s'agit d'appareils acoustiques permettant de repérer l'activité de mastication des larves.

On peut citer par exemple l'INADEC, appareil de détection acoustique avec référence de comparaison, ou le TERMATRAC, appareil de détection à micro-ondes à effets Doppler.

Quelque soit le stade du développement de l'insecte, il est important d'arrêter sa prolifération. Pour cela il existe différentes méthodes à la disposition du restaurateur.

-Les méthodes de désinsectisation à la disposition du restaurateur.

Une méthode simple est d'introduire les agents actifs par voie liquide. Il existe un large éventail d'insecticides : les organochlorés (Lindane, DDT, Dieldrine, Gamma-BHC...), les organosphorés (pyrethroïde) et de nombreux produits commerciaux comme le xylophène, le xylamon-LX durcissant. Il peut s'agir du simple poison véhiculé dans le solvant ou de la combinaison avec une résine consolidante. Ces produits sont extrêmement nocifs pour les utilisateurs. Le fait aussi d'introduire de tels produits ainsi qu'une grande quantité de solvant dans une œuvre peut créer des altérations (efflorescences avec des produits contenant du DDT, par ex.). Il semble donc important de trouver une alternative à ces produits, surtout dans le cas de traitement de masse.



Les musées et les grands centres de restauration ont mis en place des enceintes de gazage pour traiter de grandes quantités d'objets avec des gaz comme l'oxyde d'éthylène ( $(\text{CH}_2)_2\text{O}$ ), le bromure de méthyle (en anglais methyl bromide) ( $\text{CH}_3\text{Br}$ ). Mais ces produits sont extrêmement toxiques et sont en voie d'être interdits d'utilisation. De plus, ils ne sont pas sans interaction sur les objets.

D'autres méthodes, physiques celles-ci, ont été mises en place comme le vide poussé, les rayonnement physique (l'irradiation gamma), les traitements thermiques (Thermolignum), la surgélation. Toutes ces méthodes fonctionnent plus ou moins bien, sont plus ou moins curatives ou préventives, mais toutes ont des contre-indications. Voilà pourquoi l'idée est venue de se tourner vers autre chose. Dans l'agro-alimentaire, des tests ont été menés et ont montrés leur efficacité pour stériliser des cargaisons de grains notamment. Cette technique y est utilisée depuis les années 60. Sur cette base, des conservateurs restaurateurs (CCI, Getty Conservation Institut par exemple) ont démontré l'efficacité de ce type de traitement pour les œuvres d'art. Cette méthode est aujourd'hui assez répandue en France et même de grandes infestations ont été traitées de cette manière (musée de Grenoble par exemple).

- Le traitement par anoxie des œuvres d'art.

Diverses recherches (voir bibliographie) ont été faites pour mettre au point des atmosphères inertes, c'est à dire ayant un taux quasiment nul d'oxygène. Il existe plusieurs méthodes de traitements :

- le traitement statique avec absorbeurs d'oxygène;
- le traitement dynamique (remplacement de l'oxygène par un gaz inerte humidifié: azote, CO<sub>2</sub>, argon...)
- le traitement mixte, combinant les deux traitements ci-dessus.

L'avantage premier de l'anoxie est l'innocuité des gaz utilisés ou de la privation d'oxygène sur les matériaux constitutifs des œuvres. Son efficacité sur les insectes les plus communs rencontrés dans nos collections a été démontrée à tous les stades du développement de l'insecte (œuf, larve, nymphe, insecte adulte).

Une procédure de traitement a été définie pour tous les insectes rencontrés : abaissement du taux d'oxygène, dans un volume d'air fermé et étanche, de manière rapide à moins de 0.1 % et stabiliser ce taux d'oxygène résiduel (0.1%) pendant au moins 21 jours à une température d'au moins 20°C et à une humidité relative stable par rapport à l'environnement initial de l'objet traité.

Le choix de la méthode, statique, dynamique ou mixte, dépend surtout du volume à traiter. Nous présentons ici, dans la cadre de la restauration des icônes, la méthode la plus simple et qui demande le moins de matériel : la méthode statique avec les absorbeurs d'oxygène.

### -L'anoxie statique

La suppression de l'oxygène de l'air se fait dans le cas de l'anoxie statique par absorption. Les absorbeurs d'oxygène sont des sachets contenant une poudre de fer, du soufre, une solution saturée de sels de mer et des zéolithes. Au contact de l'air une réaction électrochimique se produit : le fer s'oxyde sous l'action de l'humidité et de l'électrolyte. Au début de la réaction, on constate une augmentation de la température ainsi qu'une augmentation de l'humidité relative. Cette dernière peut durer plus longtemps selon le volume traité et la nature des matériaux traités. Les sachets sont vendus dans des poches plastiques imperméables à l'oxygène. Il est important de ne pas les ouvrir avant traitement, mais bien à la dernière minute quand tout est prêt. Une fois la réaction produite, le sachet n'a plus aucune efficacité. Il existe un choix important d'absorbeurs d'oxygène. Il faut que ceux-ci soient à effet rapide.

Il faut placer les absorbeurs d'oxygène dans une enveloppe étanche à l'oxygène qui contient aussi les objets contaminés. Cette poche est fabriquée avec le film le moins poreux possible à l'oxygène qui est thermosoudé à l'aide d'une pince à induction ou à chauffage. Il en existe de largeurs différentes. Il faut créer le volume le plus limité possible autour de l'objet à traiter mais sans toutefois plaquer le film contre lui car l'enveloppe va perdre 20% de son volume, la pression pourrait endommager le contenu. Le traitement par anoxie statique concerne des volumes inférieurs au mètre cube. Au-delà, l'augmentation du taux d'humidité relative peut devenir trop importante.

Les films étanches à l'oxygène sont des films aluminisés multicouches opaques ou transparents. Les films transparents sont plus chers que les opaques. Il est possible de combiner les deux. En effet, il est préférable d'avoir au moins une fenêtre pour pouvoir contrôler ce qui se passe dans l'enveloppe. Leur perméabilité doit être de l'ordre de quelques  $\text{cm}^3/\text{m}^2/24\text{h}/1\text{atm}$ . Pour l'efficacité du traitement, il faut que la soudure soit parfaite et qu'il n'y ait aucun trou. Il faut donc s'assurer que l'on fabrique l'enveloppe dans un endroit propre et que l'on chauffe assez fortement pour faire la soudure. La température de soudure est indiquée dans les fiches techniques des films. Il est préférable de protéger toute partie contondante de l'objet avec du papier ou un tissu.

Durant le traitement, il faut éviter toute manipulation qui pourrait provoquer un trou. Il est important de contrôler le taux d'oxygène, pour cela divers moyens sont à la disposition du restaurateur comme les pastilles roses Mitsubishi, les languettes bleues Merck, un oxymètre à cellule électrochimique.

Le nombre d'absorbeurs d'oxygène à utiliser est fonction du volume à traiter et de la perméabilité du film barrière utilisé. La nature et la densité des matériaux à traiter se sont pas à prendre en compte

dans le calcul, mais les vitesses de désorption en oxygène ne seront pas les mêmes et, donc, le temps de traitement sera augmenté d'autant. Le temps de traitement est calculé à partir du moment où le taux d'oxygène est descendu à moins de 0.1 %, sachant qu'il doit être obtenu dans un temps court.

Il existe différentes méthodes pour calculer le nombre de sachets à utiliser. Mais une est simple et rapide. Si on utilise aussi un film plastique quasiment imperméable à l'oxygène, nous pouvons négliger la perméabilité du film. Il faut tout d'abord calculer le volume de l'emballage  $V$  contenant l'œuvre à traiter en centimètres cubes.



$V = \text{Longueur en cm} \times \text{largeur en cm} \times \text{Hauteur en cm}$

Sachant que le taux d'oxygène dans l'air est de 20,9%, on peut admettre, en arrondissant, que le rapport entre le volume d'air  $V$  et le volume d'oxygène contenu dans ce volume d'air est de 5. Pour obtenir le volume d'oxygène à éliminer  $V_o$ , il faut diviser le volume d'air total de l'emballage  $V$  par 5.

$$V_o = V/5$$

Connaissant la capacité d'absorption de chaque sachet, on peut alors calculer le nombre de sachets nécessaires en divisant  $V_o$  par cette capacité.

Une fois le nombre de sachets déterminés, il faut les placer dans l'enveloppe en les répartissant bien autour de l'objet tout en prenant garde qu'ils ne le touchent pas, car la réaction est exothermique et cela pourrait endommager ce dernier. Cette mise en place doit se faire rapidement ainsi que le scellage de l'enveloppe (selon les sachets, le temps de mise en place est d'une demi heure à une heure pour la mise en place). Il est alors important d'indiquer sur l'enveloppe la date du scellage, le nombre d'absorbants utilisés, l'heure où le taux d'oxygène est réellement descendu à 0,1%. Les trois semaines doivent être calculées à partir de ce moment précis.

- Avantages et inconvénients de la désinsectisation par absorbants d'oxygène



Cette méthode a un grand nombre d'avantages. Tout d'abord elle est complètement inoffensive pour l'œuvre et pour le manipulateur. Elle est d'un coût raisonnable et assez simple à mettre en œuvre pour des petits volumes. Cette méthode peut être mise en place relativement partout, mais certaines précautions doivent être prises cependant : il vaut mieux éviter de déplacer l'enveloppe en cours de traitement, il faut que la pièce où le traitement se réalise soit bien chauffée (la température ne doit pas descendre en dessous de 20°C).

Il faut savoir qu'il s'agit d'une méthode uniquement curative et non préventive. Pour que son efficacité soit garantie le protocole doit être suivi rigoureusement. Dans la littérature, il est possible de trouver différents temps de traitement, des températures et taux d'humidité relative variés. Cependant, il semble souhaitable, surtout dans le cas où l'insecte n'a pas été identifié, de ne pas faire moins de trois semaines de traitement et s'assurer que la température soit bien supérieur à 20°C. Il est important aussi que le taux d'oxygène descende rapidement et donc utiliser des sachets à réaction rapide. Le risque est grand si des insectes réchappent de ce traitement de créer des insectes résistants à ce genre de traitement.

## Le matériel nécessaire et les fournisseurs

les absorbeurs / action rapide

absorbeur d'oxygène Ageless-Z (Mitsubishi Gas Chemical Company)

ATCO LH ou HV (Standa Industrie  
68, rue Robert Kaskoreff  
14 050 Caen Cedex France

télécopieur 02 31 73 13 57

téléphone 02 31 74 54 89

internet [www.standa.fr.com](http://www.standa.fr.com)

mail : [standa@mail.cpod.fr](mailto:standa@mail.cpod.fr)

l'enveloppe plastique / film aluminisé à très faible perméabilité

VALSEM S 165 (ASNEC), perméabilité entre 0,1 et 0,2 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24h/1atm

Aclar (polychlorofluoroethylene); Cryovac (Polyvinylidene chloride)  
enceinte de Rentokil Corporation.

une scelleuse

l'oxymètre ou autres indicateurs du taux d'oxygène

- les indicateurs colorés (MITSUBISHI, Ageless) / lorsque l'indicateur est rose il indique un taux inférieur à 0,1% et lorsqu'il est bleu un taux supérieur à 0,5%.

- Merck (languette bleue)

- les oxymètres (agro-alimentaire, Abyss, Pak). Il est important d'acquérir un oxymètre qui a une précision au centième près (0,00) pour être sûr que l'on soit bien en dessous ou égale à 0,1 (si nous avons 0,15% le traitement ne sera pas efficace!).

## Biblio

### Les insectes et la conservation / identification et description du cycle de vie.

**Hickin** (N.E.), *Book worms : The insect pests of books*, nouvelle édition, édité par Robin Edwards; Richard Joseph Publishers Ltd., 1992.

Résumé : L'auteur commence par exposer le problème des attaques d'insectes. Puis il fait un point sur les insectes (mode de vie, de reproduction...) et présente les différentes familles (Thysanura, Isoptera, psocoptera, coleoptera, etc) avec des dessins. Il donne ensuite des conseils pour un stockage optimum des livres. Enfin, il propose des méthodes pour contrôler le développement des insectes nuisibles pour les livres. L'intérêt principal de ce livre est l'index multilingue qui présente pour chaque insecte le nom scientifique, en anglais, en américain, en français, en allemand, en espagnol.

\*\*\**Insectes et champignons du bois*, Paris : CTBA, 1996.

résumé : très bien illustré : insecte, lerve, oeuf, type de galerie qui permet d'identifier les principales espèces nuisibles et de prendre les mesure approprié pour les prévenir et les combattre.

\*\*\**La lutte contre les insectes dans les musées : les méthodes classiques*, IIC, Bulletin technique n°15 (Ottawa Ontario), 1992.

L'anoxie

**Abe** (Y.) et **Kondoh** (Y.), « Oxygen absorbers » dans *Controlled modified atmosphere/vacuum packaging of foods*, Ed. A.L. Brody, Food&Nutrition Press, Inc, Trumbull, 1991, p.149-158.

**Bailey** (S.W.) et **Banks** (H.J.), *A review of Recent Studies of the Effects of Controlled Atmospheres on Stored Product Pests, Controlled Atmosphere Storage of Grains*, Amsterdam : Elsevier Scientific Publishing Co., 1980, p.101-118.

**Bailey** (S.W.) et **Banks** (H.J.), « The use of controlled atmospheres for the storage of grain » dans *Proceedings of the 1st International Working Conference on Stored Product Entomology*, Savannah, 1974, p.362-374.

**Ballard** (M.W.) et **Baer** (N.S.), « Ethylene oxide fumigation : results and risk assessment » dans *Restauror*, vol.7, 1986, p.143-168.

**Banks** (H.J.), « Current methods and potential systems for production of controlled atmospheres for grain storage » dans *Controlled Atmosphere and*



*Fumigation in Grain storages*, ed. B.E. Ripp et al., Elsevier, Amsterdam, 1984, p.523-542.

**Burke** (J.), « Vapor Barrier Film », *Waac Newslette*, 14, 1992, p.13-17.

**Combellick** (W.A.), « Barrier polymer » dans *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*, vol.2, New York : K.Kroschwit, J.Wiley and sons, 1985.

**Daniel** (Vinod), **Maekawa** (Shin), **Preusser** (Frank D.) et **Hanlon** (Gordon), « Nitrogen fumigation : a viable alternative » dans *ICOM Committee for conservation 10 th Triennial Meeting*, Washington DC, 1993, p. 863-867.

**Daniel** (Vinod) et **Lambert** (F.L.), « Ageless oxygen scavenger : practical applications » dans *Western Association for Art Conservation Newsletter*, 15, 1993, p.12-14.

**Elert** (Kerstin) et **Maekawa** (Shin), « Rentokil bubble in nitrogen anoxia treatment of Museum pests » dans *Studies in Conservation*, vol.42 (1997), p.247-252.

**Florian** (M.L.), « The effect on artifact materials of the fumigant ethylene oxide and freezing used in insect control » dans *ICOM Committee for Conservation, 8th Triennial Meeting*, Sydney, 1987, p.199-208.



**Gilberg** (Mark), « Inert atmosphere fumigation of museum objects », *Studies in Conservation*, vol. 34, n°2, 1989, p.80-84.

**Gilberg** (Mark), « Ageless™ oxygen scavenger » dans *AICCM Newsletter*, 32, 1989, p.6.

**Gilberg** (Mark), « Inert atmosphere disinfestation using Ageless™ oxygen scavenger » dans *ICOM Committee for Conservation, 9th Triennial Meeting*, Dresden, 1990, p. 812-816.

**Gilberg** (Mark), « Inert atmosphere disinfestation of museum objects using Ageless oxygen scavenger » dans *Bulletin of the Australian Institute for the Conservation of Cultural Material*, 16, 1990, p.27-34.

**Gilberg** (Mark), « The effect of low oxygen atmospheres on museum pests » dans *Studies in Conservation*, 36, 1991, p.93-98.

**Gilberg** (Mark) et **Roach** (A.), « The effect of low oxygen on the powderpost beetle *Lyctus brunneus* (Stephens) » dans *Studies in Conservation*, 38, 1993, p. 128-132.

**Gilberg** (M.) et **Grattan** (David), « Oxygen-free Storage using Ageless Oxygen Absorbers », *IIC Congress*, Ottawa, 1994, p.177-180.

**Grattan** (David), « Ageless oxygen absorber : chemical and physical properties » dans *Studies in Conservation*, 39, 1994, p.210-214.

**Grattan** (David), « Degradation rates for some Historic polymers and the Potential of various conservation Measures for minimizing Oxidative degradation », dans *Saving the 20th century : the conservation of Modern materials*, conférence symposium 91, Ottawa, Canada, Septembre 1991, Ottawa : IIC, 1993, p. 351-361.

**Hanlon** (Gordon), **Daniel** (Vinod), **Ravenel** (N.) et **Maekawa** (Shin), « Dynamic system for Nitrogen Anoxia of Large Museum Objects : A Pest Eradication Case Study » dans *Second International Conference on Biodeterioration of Cultural Property*, Yokohama, Japan, 1992.

**Koestler** (R.J.), « Practical Application of Nitrogen and Argon Fumigation Procedures for Insect Control in Museum Objects », *2nd International Conference on Biodeterioration of Cultural Property*, Yokohama, Japan, 1992, p.96-98.

**Lambert** (F.L.), **Daniel** (V.), **Preusser** (F.D.), « The rate of absorption of oxygen by Ageless TM : the utility of an oxygen scavenger in sealed cases » dans *Studies in Conservation*, 37, 1992, p.267-274.

**Nakamura** (H.) et **Hoshino** (J.), « Techniques for the preservation of Food by employment of an Oxygen Absorber Sanitation control for Food sterilizing technique » dans *Sanyu Techniques Co*, Tockyo, 1983.

**Navarro** (S.) et **Calderon** (M.), « Integrated approach to the use of controlled atmospheres for insect control in grain storage » dans *Controlled Atmosphere Storage of Grains*, Elsevier, Amsterdam, 1980, p.73-78.

**Ohguchi** (Y.), **Suzuki** (H.), **Tatsuki** (S.) et **Fukami** (J.), « The lethal effect of oxygen absorber (Ageless) on several stored grain and clothes pest insects », dans *Japanese Journal of Applied entomology research* 27, 1983, p.270-275.

**Paton** (R.) et **Creffield** (J.W.), « The tolerance of some timber insect pests to atmospheres of carbon dioxide and carbon dioxide in air » dans *International Pest Control*, vol.29, 1980, p.10-12.

**Pauly** (S.), « Permeability and diffusion date » dans *Polymer Handbook*, New York : J. Brandrup, EH. Immergut, j. Wiley and sons, 1989.

**Postlethwaite** (A.W.), « Fymigation, choice of fumigant and design of facility » dans *ICOM Committee for Conservation, 8th Triennal Meeting*, Sydney, 1987, p.1189-1196.

**Rust** (M.) et **Kennedy** (J.), « Enhancing the effectiveness of modified atmospheres to control insect pests in museum. Final report (contract no. Getty/Trust/94) »; Department of Entomology, University of California at Riverside, 1995.

**Rust** (M.) et **Kennedy** (J.), « The Feasibility of Using Modified Atmospheres to Control Insect Pests in Museums », *The Getty Conservation Institute Scientific Program Report*, March 1993.

**Shashoua** (Y.), « Recent Investigation into Barrier Films for Use in Preventive Conservation at the British Museum », *SSCR Journal*, 3, mars 1992, p.12-13.

**Shashoua** (Y.) et **Thomsen** (S.), « A field for the use of ageless in the preservation of rubber in museum » dans *Saving the 20th century : the conservation of Modern materials*, conférence symposium 91, Ottawa, Canada, Septembre 1991, Ottawa : IIC, 1993, p. 363-372.

**Smith** (C.P.) et **Newton** (J.) (Rentokil), « Carbon Dioxide : the Fumigant of the Future », *Seminar on Research in Conservation*, Columbia University, New York, may 1991.

**Story** (K.), *Pest Management in Museums*, Conservation Analytical Laboratory, Smithsonian Institution, Washington D.C., 1985.

**Toshiko** (K.), « Studies on the long-term conservation of cultural properties, the effects of different concentration of oxygen on pigments used for cultural properties », dans *Scientific papers on Japanese Antiques and art crafts*, 25, 1980, p. 103-107.

**Valentin** (Nieves), **Preusser** (Frank), Insect control by inert gases in museum, archives and museum collections », *Restaurator*, n°11, 1990, p.22-33.

**Valentin** (N.), « Insect Eradication in Museums and Archives by Oxygen Replacement, a Pilot Project », *ICOM Committee for Conservation, 9th triennial Meeting*, Dresden, 1990, p.821-823.



# ANOXIA

## THE ANOXIA DISINFECTION

-The insects in the artifacts

The wooden objects are the major source of food for the larvas of the woodworms. We can meet several categories of insects who damage the wood and infestate the artifacts such as the termites, beetles (co leoptera) etc. Insects are unable to regulate their own temperature and this can be of major importance in limiting or preventing problems –

But how an attack is occurred?

Common furniture beetle or woodworm *Anobium punctatum* is widespread in most temperate countries and is present in many houses and buildings and furniture. The life cycle is shown in figure 1.



## LIFE CYCLE OF COMMON FURNITURE BEETLE

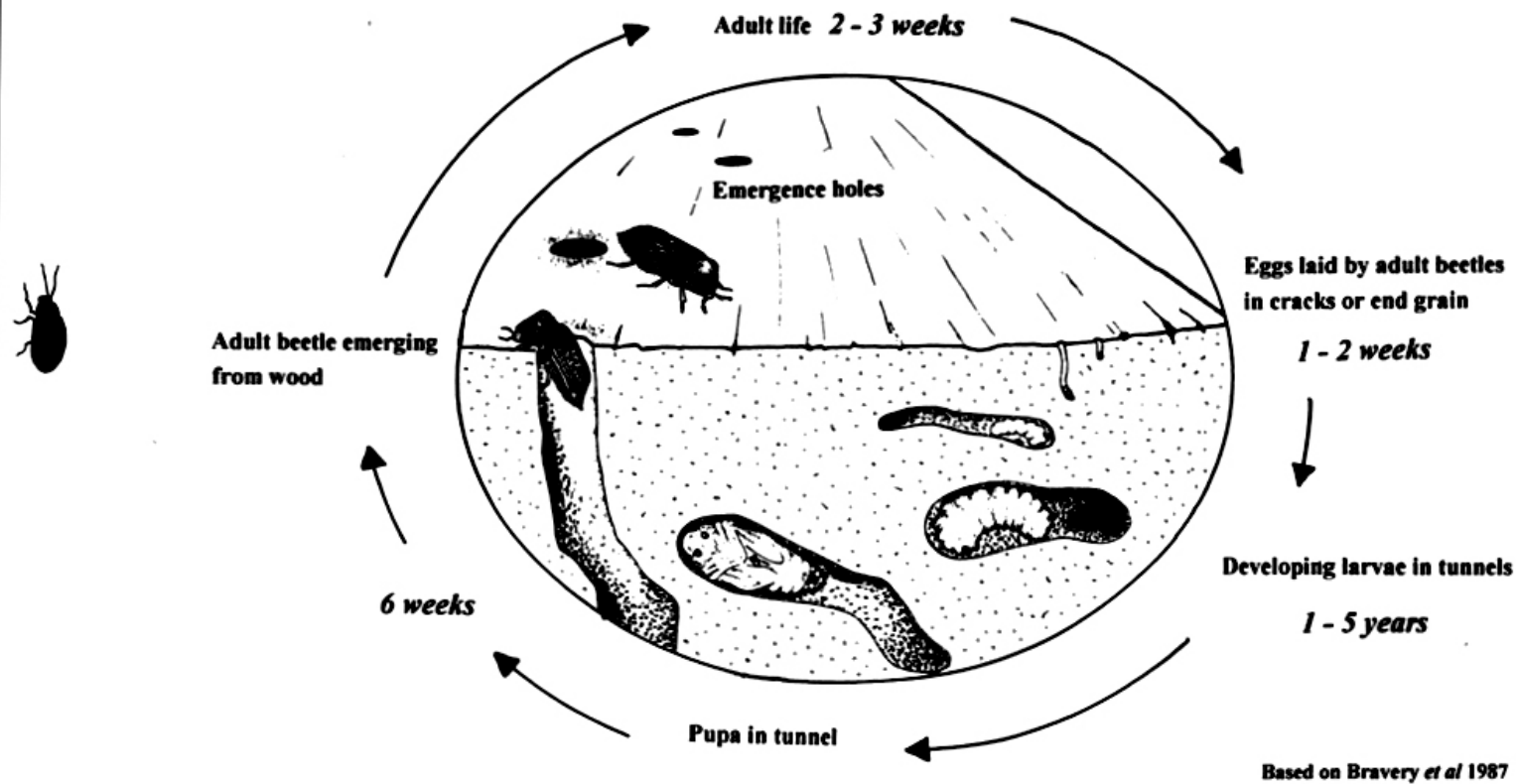


Fig. 1 Life cycle of the common furniture beetle. (Based on Bravery *et al* 1987.)

Adult beetles (3 – 5 mm long) emerge during the summer months by gnawing circular exit-holes 1,5 – 2mm diameter in the wood. As they fly away, wood dust and larval excreta (frass) may fall out of the hole leaving a characteristic sign of active beetle infestation – small piles of fresh dust. After the beetles have mated, the female lays eggs in crevices in the wood particularly in end grain, unplanned timber or old exit holes.

The eggs hatch in a few weeks, the larva tunnels into the wood and as they grow, the size of the tunnel increases. The larva takes 2 -3 years to complete development to adult depending upon the type of wood and the conditions of temperature and moisture content. Anobium infestations will survive in cool, damp conditions but do not thrive in very dry conditions and humidities below 50%. Will prevent serious damage, although unfortunately this may also cause drying out and deterioration of wooden artifacts.

Signs of an infestation.

When we observe an infested artifact we must try to see if there are « mountains » of frass around the holes or fresh frass around the object without having moved it. The interior of the holes must look new and have the colour of a recent cut wood.

A specific equipment exist for the diagnosis of an infestation. They are called « acoustic » and they permit to situate the larval activity in the wood. We can refer to the INADEC acoustic detection machine giving comparisson references or the TERMATRAC, micro – wave Doppler detection machine.

What is important to do in any stage of insect development is to stop the proliferation. For that the conservator can choose many methods.

### The existing methods

**Impregnation of the wood by liquid agents**, like organochlorine (OC's) – Lindane, DDT, Dieldrine, Gamma – BHC etc, the organosphorus (OP's) pyrethroid and numerous commercial products like xylophene, xylamon – LX. Those products are extremely toxic, they are used for residual treatment and they are extremely persistent in the environment. The application of any persistant pesticide directly to objects will leave residues of that chemical or its breakdown products. Wood treatment are designed to be applied directly to the material needing treatment or protection and some insecticides and formulations are particularly effective. However, the need for protection must be balanced against the deliberate contamination of objects with chemicals which will produce long term residues and may after the chemistry or appearance of objects.

Fumigation. Museums and important conservation centres use this method. Objects may be fumigated under gas-proof sheets or in specially built or modified chambers. The fumigants used are Ethylene Oxide  $\{(CH_2)_2O\}$ , methyl bromide  $(CH_3Br)$ . Those fumigants are extremely toxic and their use is going to be restricted in many countries by complex safety regulation. The effect of fumigant gases and consequent residues on objects give cause for concern. Extensive airing – of periods are needed in order to disperse traces of gas which have been absorbed by the fumigated goods.

Other physical methods have been applied like micro-wave radiation, gamma radiation, heating (Thermolignun), freezing. All those methods are curative or preventive but all of them present counter-indication.

The Anoxia treatment.

Various research have been elaborated for creating inert atmospheres, which means an atmosphere without oxygen.

The existing methods are:

1. The static treatment using oxygen scavengers
2. The dynamic treatment (replacement of the oxygen by a humidified inert gas: azote,  $CO_2$ , argon....)
3. The mixed treatment, combining the two previous methods.

The choice of the method (static, dynamic or mixed) depends on the volume we have to treat. In this meeting we present the method that suits more to the treatment of the icons, demanding not a big equipment and is the static with the use of oxygen scavengers.

### The static anoxia

The oxygen reduction from the air is obtained by absorption. The oxygen scavengers are sachets containing Iron powder, sulfur, a saturated solution of sea salts and zeoliths. Through the contact of the air an electrochemical reaction is produced the Iron is oxydated under the action of the humidity and the electrolyte.

In the begining of the reaction we can observe an augmentation of the temperature and of the R.H. It is important not to open the packets containing the oxygen scavengers before having prepared everything for the treatment. It is better to put them in the last minute before sealing the plastic bag containing the object.

The second factor is the calculation of the quantity of Oxygen Scavengers for a sealed object. After determining the approximate volume of the bag, ( $V = \text{length in cm} \times \text{width in cm} \times \text{height in cm}$ ) knowing that the level of oxygen in the air is 20,9% we have to say that the relation between the volume of air  $V$  and the volume of oxygen contained in a certain volume of air is 5. We have to divide the volume of air by 5.

$$V_o = V/5$$

Knowing the capacity of absorption of each oxygen scavenger we can calculate the number of sachets needed by dividing  $V_o$  by this capacity.

For example Ageless Z-2000 has a capacity of 2000 cc, while ageless Z- 1000 capacity of 1000 cc.

Once we have determined the number of sachets we must put them in the envelope placing them around the object because the sachets during the treatment present an exothermic reaction and they become very hot.

The choice of the high barrier packaging film depends on the permeability needed. We have the choice of different transparent films or aluminium foils.

It is important to control constantly the level of the oxygen in the bag and for that we have the following ways:

1. The rose pills “Eye” by Mitsubishi,
2. The blue strips by Merck,
3. An electrochemical cellular oxymetre





Necessary materials

Oxygen scavengers/rapid action

Ageless-Z (Mitsubishi Gas Chemical Company)

ATCO LH ou HV (Standa Industrie)  
68, rue Robert Kaskoreff  
14 050 Caen Cedex France

télécopieur 02 31 73 13 57

téléphone 02 31 74 54 89

internet [www.standa.fr.com](http://www.standa.fr.com)

mail : [standa@mail.cpod.fr](mailto:standa@mail.cpod.fr)

Plastic enveloppe / film aluminium

VALSEM S 165 (ASNEC), permeability between 0,1 et 0,2  
cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24h/1atm

Aclar (polychlorofluoroethylene); Cryovac (Polyvinylidene chloride)

Rentokil Corporation.

A heating sealer

IAAn oxymeter or other oxygen indicators

- (MITSUBISHI, Ageless)
- Merck (blue strip)
- les oxymètres (agro-alimentaire, Abyss, Pak).

thermohygrometer

# Biblio

## **Les insectes et la conservation / identification et description du cycle de vie.**

**Hickin** (N.E.), *Book worms : The insect pests of books*, nouvelle édition, édité par Robin Edwards; Richard Joseph Publishers Ltd., 1992.

Résumé : L'auteur commence par exposer le problème des attaques d'insectes. Puis il fait un point sur les insectes (mode de vie, de reproduction...) et présente les différentes familles (Thysanura, Isoptera, psocoptera, coleoptera, etc) avec des dessins. Il donne ensuite des conseils pour un stockage optimum des livres. Enfin, il propose des méthodes pour contrôler le développement des insectes nuisibles pour les livres. L'intérêt principal de ce livre est l'index multilingue qui présente pour chaque insecte le nom scientifique, en anglais, en américain, en français, en allemand, en espagnol.

\*\*\**Insectes et champignons du bois*, Paris : CTBA, 1996.

résumé : très bien illustré : insecte, larve, oeuf, type de galerie qui permet d'identifier les principales espèces nuisibles et de prendre les mesures appropriées pour les prévenir et les combattre.

\*\*\**La lutte contre les insectes dans les musées : les méthodes classiques*, IIC, Bulletin technique n°15 (Ottawa Ontario), 1992.

L'anoxie

**Abe** (Y.) et **Kondoh** (Y.), « Oxygen absorbers » dans *Controlled modified atmosphere/vacuum packging of foods*, Ed. A.L. Brody, Food&Nutrition Press, Inc, Trumbull, 1991, p.149-158.

**Bailey** (S.W.) et **Banks** (H.J.), *A review of Recent Studies of the Effects of Controlled Atmospheres on Stored Product Pests, Controlled Atmosphere Storage of Grains* , Amsterdam : Elsevier Scientific Publishing Co., 1980, p.101-118.

**Bailey** (S.W.) et **Banks** (H.J.), « The use of controlled atmospheres for the storage of grain » dans *Proceedings of the 1st International Working Conference on Stored Product Entomology*, Savannah, 1974, p.362-374.

**Ballard** (M.W.) et **Baer** (N.S.), « Ethylene oxide fumigation : results and risk assessment » dans *Restauror*, vol.7, 1986, p.143-168.

**Banks** (H.J.), « Current methods and potential systems for production of controlled atmospheres for grain storage » dans *Controlled Atmosphere and*

*Fumigation in Grain storages*, ed. B.E. Ripp et al., Elsevier, Amsterdam, 1984, p.523-542.

**Burke** (J.), « Vapor Barrier Film », *Waac Newslette*, 14, 1992, p.13-17.

**Combellick** (W.A.), « Barrier polymer » dans *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*, vol.2, New York : K.Kroschwitz, J.Wiley and sons, 1985.

**Daniel** (Vinod), **Maekawa** (Shin), **Preusser** (Frank D.) et **Hanlon** (Gordon), « Nitrogen fumigation : a viable alternative » dans *ICOM Committee for conservation 10 th Triennial Meeting*, Washington DC, 1993, p. 863-867.

**Daniel** (Vinod) et **Lambert** (F.L.), « Ageless oxygen scavenger : practical applications » dans *Western Association for Art Conservation Newsletter*, 15, 1993, p.12-14.

**Elert** (Kerstin) et **Maekawa** (Shin), « Rentokil bubble in nitrogen anoxia treatment of Museum pests » dans *Studies in Conservation*, vol.42 (1997), p.247-252.

**Florian** (M.L.), « The effect on artifact materials of the fumigant ethylene oxide and freezing used in insect control » dans *ICOM Committee for Conservation, 8th Triennial Meeting*, Sydney, 1987, p.199-208.

**Gilberg** (Mark), « Inert atmosphere fumigation of museum objects », *Studies in Conservation*, vol. 34, n°2, 1989, p.80-84.

**Gilberg** (Mark), « Ageless™ oxygen scavenger » dans *AICCM Newsletter*, 32, 1989, p.6.

**Gilberg** (Mark), « Inert atmosphere disinfestation using Ageless™ oxygen scavenger » dans *ICOM Committee for Conservation, 9th Triennial Meeting*, Dresden, 1990, p. 812-816.

**Gilberg** (Mark), « Inert atmosphere disinfestation of museum objects using Ageless oxygen scavenger » dans *Bulletin of the Australian Institute for the Conservation of Cultural Material*, 16, 1990, p.27-34.

**Gilberg** (Mark), « The effect of low oxygen atmospheres on museum pests » dans *Studies in Conservation*, 36, 1991, p.93-98.



**Gilberg** (Mark) et **Roach** (A.), « The effect of low oxygen on the powderpost beetle *Lyctus brunneus* (Stephens) » dans *Studies in Conservation*, 38, 1993, p. 128-132.

**Gilberg** (M.) et **Grattan** (David), « Oxygen-free Storage using Ageless Oxygen Absorbers », *IIC Congress*, Ottawa, 1994, p.177-180.

**Grattan** (David), « Ageless oxygen absorber : chemical and physical properties » dans *Studies in Conservation*, 39, 1994, p.210-214.

**Grattan** (David), « Degradation rates for some Historic polymers and the Potential of various conservation Measures for minimizing Oxidative degradation », dans *Saving the 20th century : the conservation of Modern materials*, conférence symposium 91, Ottawa, Canada, Septembre 1991, Ottawa : IIC, 1993, p. 351-361.

**Hanlon** (Gordon), **Daniel** (Vinod), **Ravenel** (N.) et **Maekawa** (Shin), « Dynamic system for Nitrogen Anoxia of Large Museum Objects : A Pest Eradication Case Study » dans *Second International Conference on Biodeterioration of Cultural Property*, Yokohama, Japan, 1992.



**Koestler** (R.J.), « Practical Application of Nitrogen and Argon Fumigation Procedures for Insect Control in Museum Objects », *2nd International Conference on Biodeterioration of Cultural Property*, Yokohama, Japan, 1992, p.96-98.

**Lambert** (F.L.), **Daniel** (V.), **Preusser** (F.D.), « The rate of absorption of oxygen by Ageless TM : the utility of an oxygen scavenger in sealed cases » dans *Studies in Conservation*, 37, 1992, p.267-274.

**Nakamura** (H.) et **Hoshino** (J.), « Techniques for the preservation of Food by employment of an Oxygen Absorber Sanitation control for Food sterilizing technique » dans *Sanyu Techniques Co*, Tockyo, 1983.

**Navarro** (S.) et **Calderon** (M.), « Integrated approach to the use of controlled atmospheres for insect control in grain storage » dans *Controlled Atmosphere Storage of Grains*, Elsevier, Amsterdam, 1980, p.73-78.

**Ohguchi** (Y.), **Suzuki** (H.), **Tatsuki** (S.) et **Fukami** (J.), « The lethal effect of oxygen absorber (Ageless) on several stored grain and clothes pest insects », dans *Japanese Journal of Applied entomology research* 27, 1983, p.270-275.

**Paton** (R.) et **Creffield** (J.W.), « The tolerance of some timber insect pests to atmospheres of carbon dioxide and carbon dioxide in air » dans *International Pest Control*, vol.29, 1980, p.10-12.

**Pauly** (S.), « Permeability and diffusion data » dans *Polymer Handbook*, New York : J. Brandrup, E.H. Immergut, J. Wiley and sons, 1989.

**Postlethwaite** (A.W.), « Fumigation, choice of fumigant and design of facility » dans *ICOM Committee for Conservation, 8th Triennial Meeting*, Sydney, 1987, p.1189-1196.

**Rust** (M.) et **Kennedy** (J.), « Enhancing the effectiveness of modified atmospheres to control insect pests in museum. Final report (contract no. Getty/Trust/94) »; Department of Entomology, University of California at Riverside, 1995.

**Rust** (M.) et **Kennedy** (J.), « The Feasibility of Using Modified Atmospheres to Control Insect Pests in Museums », *The Getty Conservation Institute Scientific Program Report*, March 1993.

**Shashoua** (Y.), « Recent Investigation into Barrier Films for Use in Preventive Conservation at the British Museum », *SSCR Journal*, 3, mars 1992, p.12-13.

**Shashoua** (Y.) et **Thomsen** (S.), « A field for the use of ageless in the preservation of rubber in museum » dans *Saving the 20th century : the conservation of Modern materials*, conférence symposium 91, Ottawa, Canada, Septembre 1991, Ottawa : IIC, 1993, p. 363-372.

**Smith** (C.P.) et **Newton** (J.) (Rentokil), « Carbon Dioxide : the Fumigant of the Future », *Seminar on Research in Conservation*, Columbia University, New York, may 1991.

**Story** (K.), *Pest Management in Museums*, Conservation Analytical Laboratory, Smithsonian Institution, Washington D.C., 1985.

**Toshiko** (K.), « Studies on the long-term conservation of cultural properties, the effects of different concentration of oxygen on pigments used for cultural properties », dans *Scientific papers on Japanese Antiques and art crafts*, 25, 1980, p. 103-107.

**Valentin** (Nieves), **Preusser** (Frank), Insect control by inert gases in museum, archives and museum collections », *Restaurator*, n°11, 1990, p.22-33.

**Valentin** (N.), « Insect Eradication in Museums and Archives by Oxygen Replacement, a Pilot Project », *ICOM Committee for Conservation, 9th triennial Meeting*, Dresden, 1990, p.821-823.

# THE WORKSHOP



The heating spatula needed for the sealing of the foil.





Preparation of a paper box so as to place the icon in it.





The icon to be disinfected is chosen.



The object is placed on the foil and covered by it.







The number of the necessary oxygen scavengers had been calculated according to the volume of the bag and were placed around the paper box containing the icon.

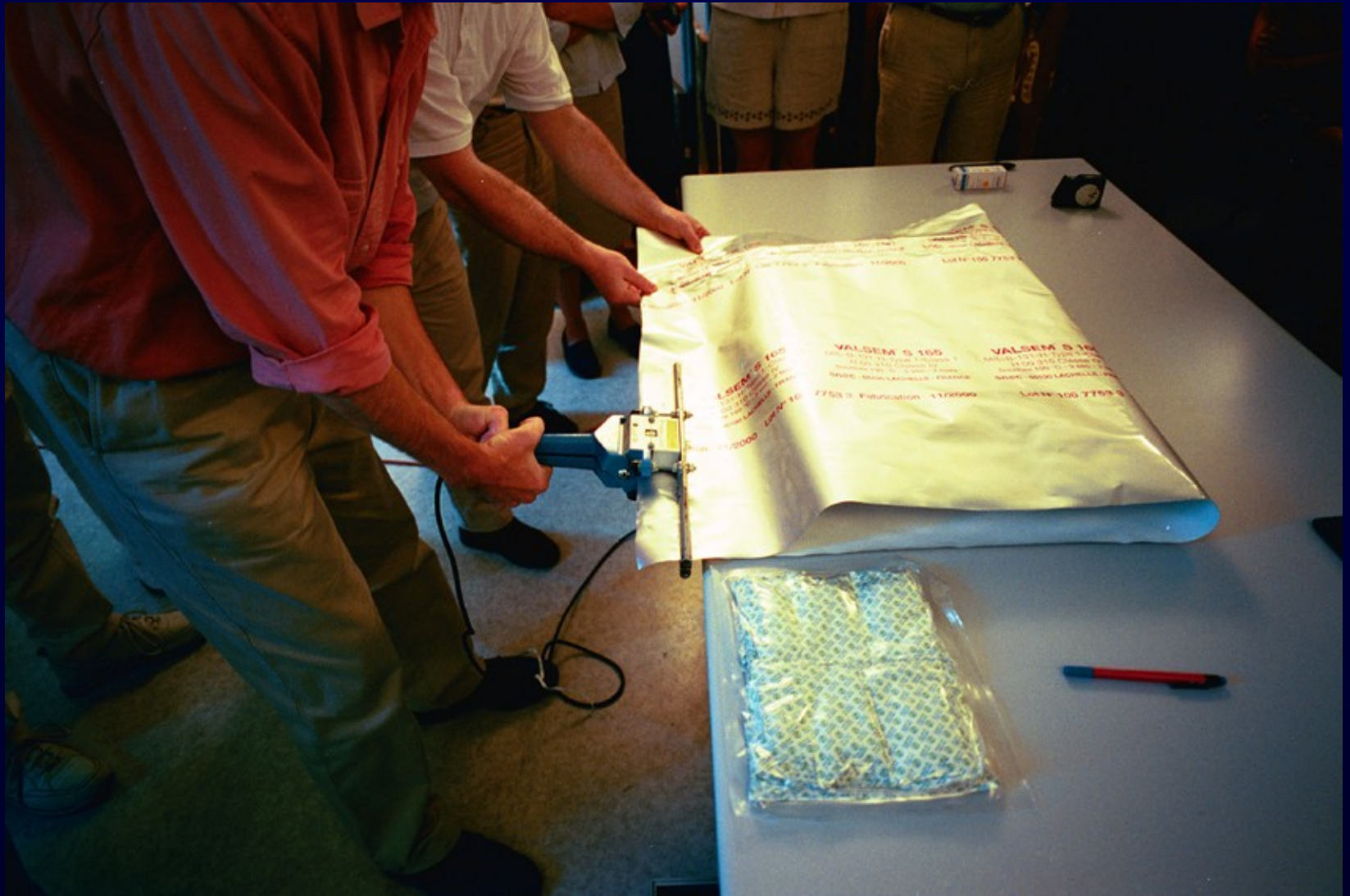




The heating spatula is ready for the sealing of the foil and the procedure starts.









The sealing of the three sides of the bag is achieved. We make the final verification for the oxygen scavengers position.







The fourth side of the bag is sealed.



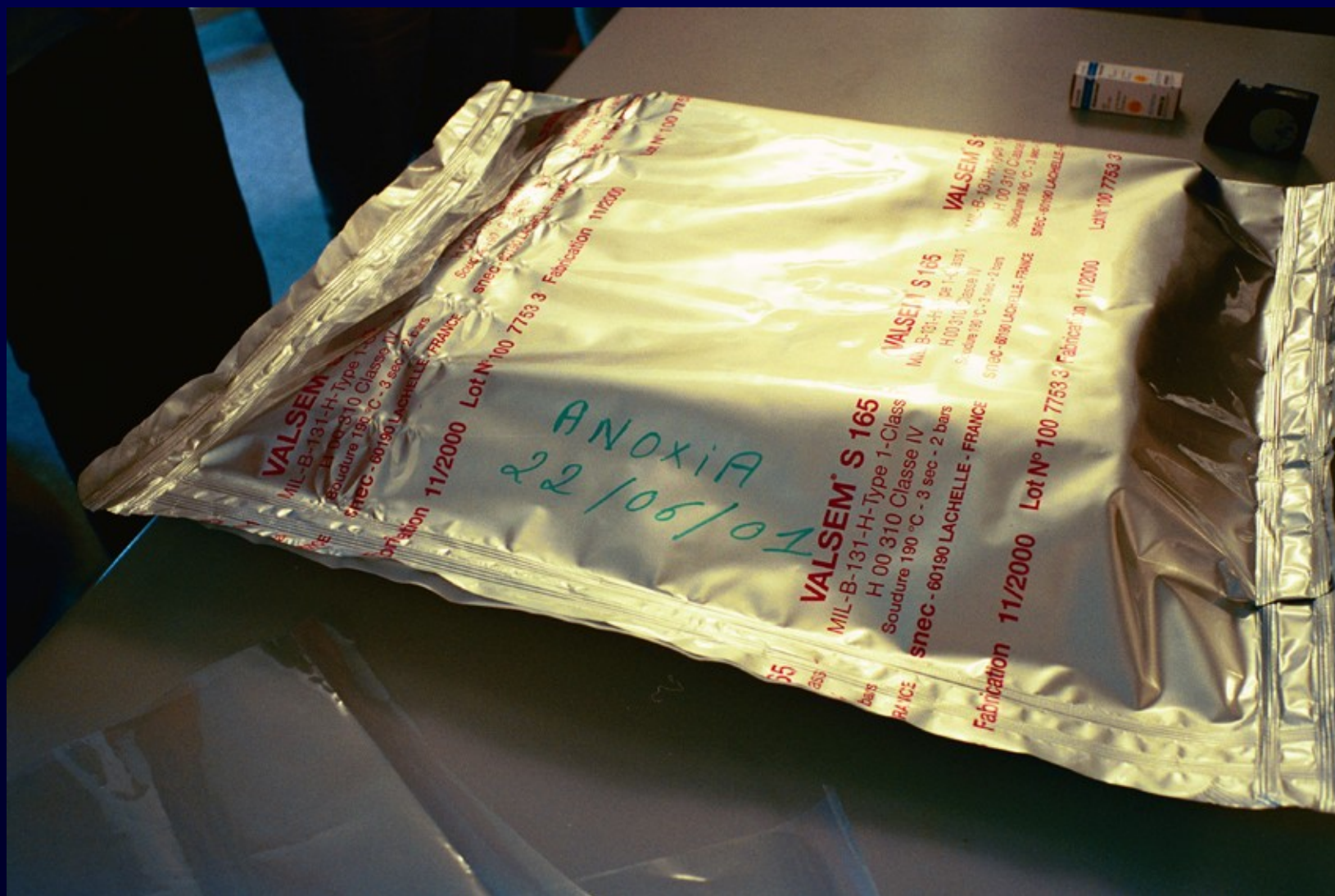












Dating of the anoxia treatment figuring on the bag.



Placement of the oxymetre for the control of the oxygen loss in the bag.







Practice of the method.









# APPENDIX ANNEXE

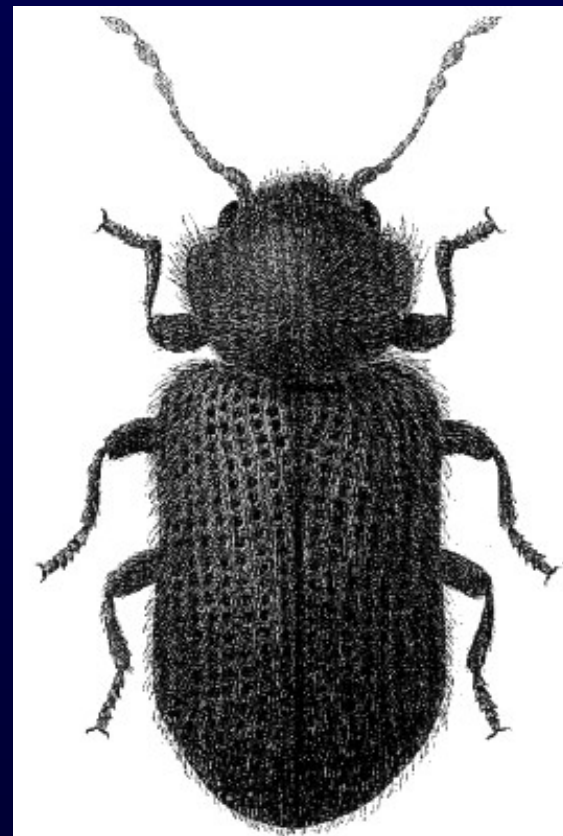
**Publireportage  
La Lettre de L'OCIM, n°60, 1998  
Application de l'absorbeur  
d'oxygene ATCO  
dans les musees, bibliotheques et archives**

**HYGIENE OFFICE  
DEPARTEMENT PRESERVATION DES BOIS  
4, rue Pelletier – 91320 ISSOUS-Tel 01.60.11.25.23  
Fax 01.60.11.63.09  
e-mail: [hygiene – office @ wanadoo.fr](mailto:hygiene-office@wanadoo.fr)  
site internet: [www.hygiene-office.com](http://www.hygiene-office.com)**

La société Stand a Industrie a développe des specializes chimiques et biologiques pour l'agro-alimentaire.

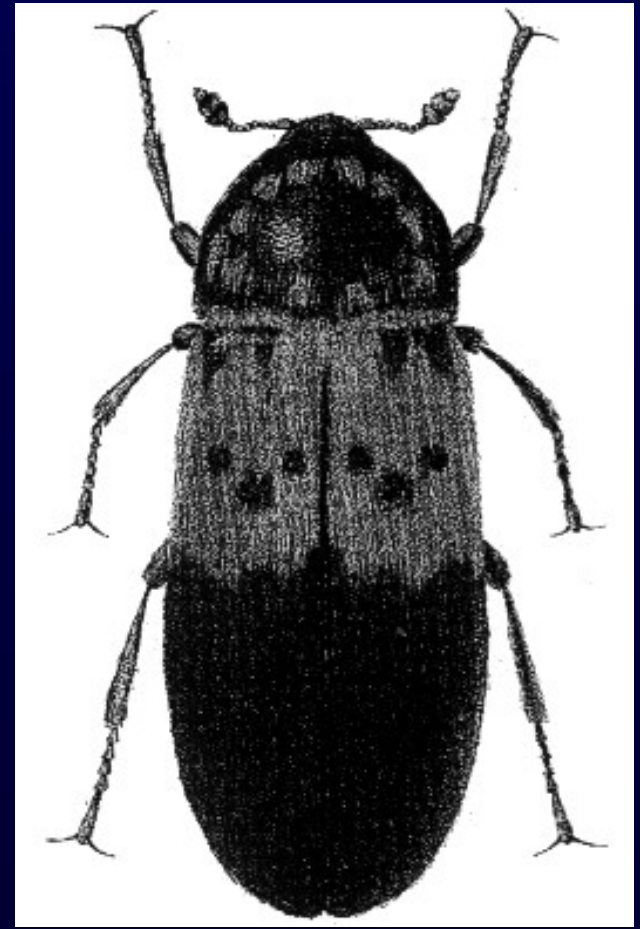
L'un de ses produits permet de répondre aux problèmes d'insectes dans les collections et une nouvelle solution en conservation preventive. Il est utilise avec succès pour la conservation du patrimoine.

*Nicobium castaneum* Olivier 4 a 5,5 mm La larve de la "S'attaque surtout aux reliures de cuir de livres et aux parchemins qu'elle sillonne de galeries.



L'absorbant d'oxygène est généralement utilisé dans les musées, bibliothèques et archives en conservation curative pour la désinsectisation des collections comportant des matériaux organiques. Il est également utilisé en conservation préventive pour un entreposage statique des objets: à l'abri de la lumière, ils sont placés dans une poche avec une atmosphère sans oxygène, ce qui ralentit notamment les phénomènes d'oxydation. Ces objets sont à l'abri des polluants de l'air, et les processus de corrosion sont stabilisés. Certains processus de biodétériorations sont stoppés comme le développement des micro-organismes aérobie (moisissures).

*Desmestes lardarius* Linne 7 a 9 mm Les dommages que la larve de cet insecte peut faire dans le cuir, les fourrures, les poils, les plumes sont bien connues et importants.

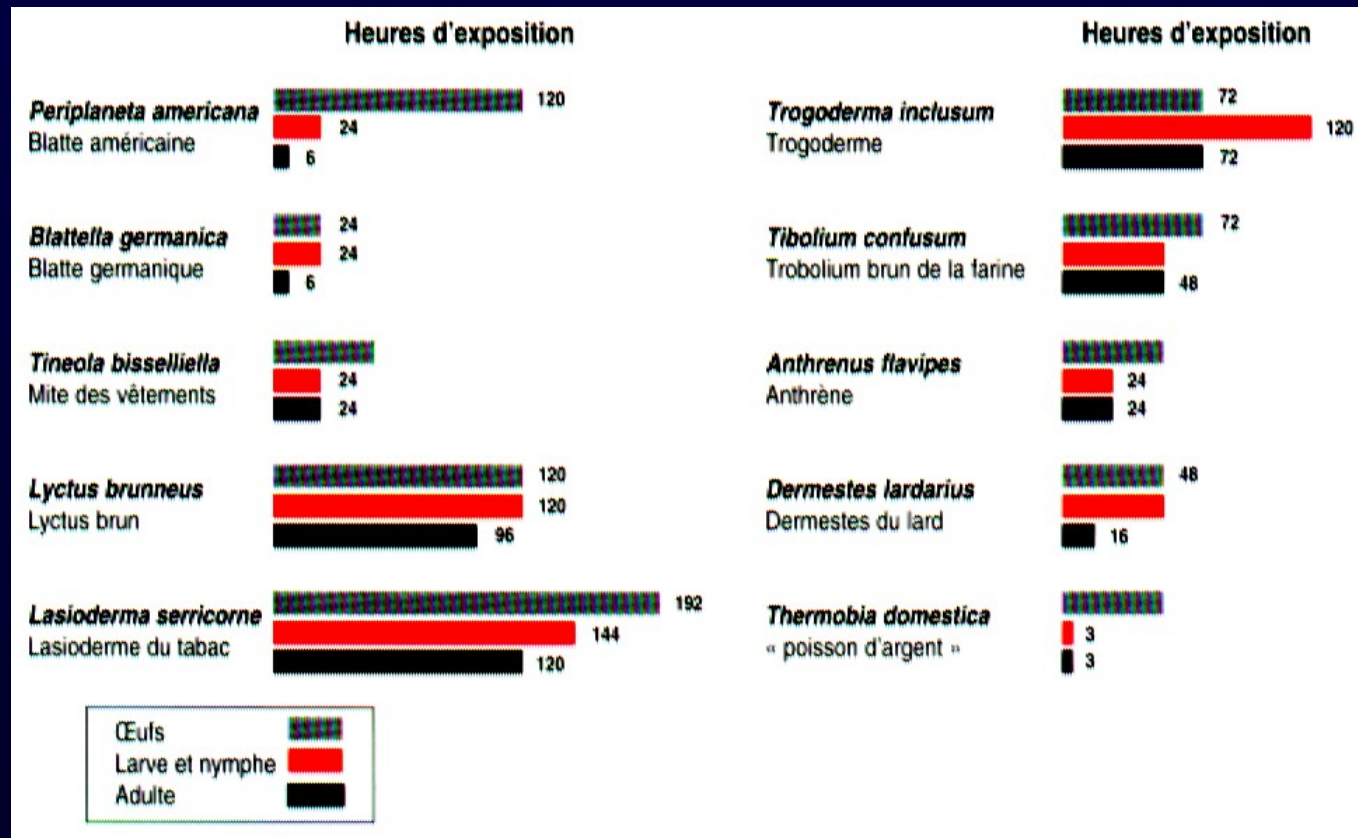


Les insectes presents dans l'objet traite sont tues.

Des travaux inities au Getty Conservation Institute depuis 1990 montrent que pour obtenir une desinsectisation efficace des collections par privation d'oxygene (anoxie), il est necessaire que la concentration en oxygene de l'atmosphere environnant l'objet soit inferieur a 0,3 %. La temperature ne doit pas etre inferieure a 20° c dans l'enceinte de traitement qui peut etre une poche plastique (impermeable ou peu permeable a l'oxygene), une chambre de sterilisation, une cuve hermetique. Le traitement dure de 15 a 21 jours..

# Elimination par privation d'oxygene de quelques insectes communs des musees, archives et bibliotheques

Temps necessaire pour obtenir 100% de mortalite a tous les stades de developpement. (oeuf, larve, nymphe, adulte a 25,5 ° C, HR = 55%, taux d'oxygene inferieur ou egal a 0,1 %) d'apres Rust, M. et Kennedy, J. 1993, The Feasibility of Using Midified Atmospherers to Control Insect Pests in Museums. Marina del Rey, CA (USA): Getty Conservation Institute, final report, 125 p.



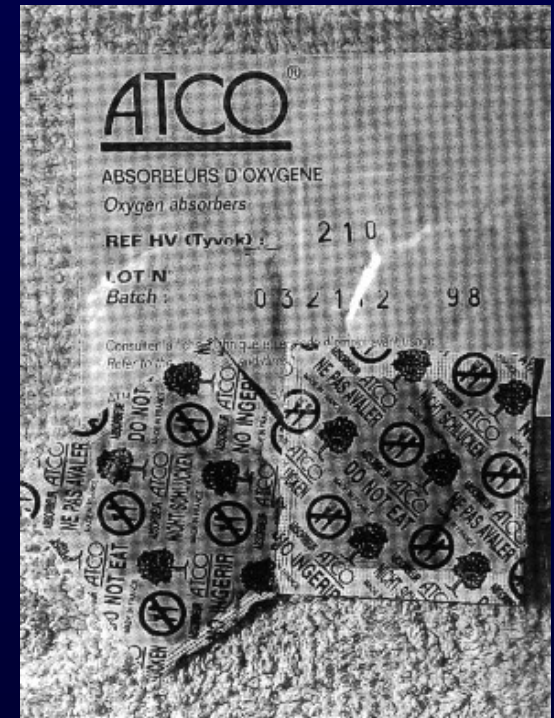
## Le principe

Le sachet ATCO ne contient que les produits depourvus de toute toxicite et emballes dans un materiau conforme aux normes pour le contact alimentaire.

## Le mode de fonctionnement

ATCO agit sur trois niveaux dans un volume hermetique:  
absorption de l'oxygene qui environne l'objet dans l'enceinte de traitement ou dans la poche de rangement;  
absorption de l'oxygene de l'air inclus ou dissous dans l'objet traite ou conserve;  
absorption de l'oxygene entrant par permeabilite ou par un leger manque d'etancheite.

ATCO assure l'absence totale d'oxygene pendant toute la duree du conditionnement (conservation preventive) ou du traitement (conservation curative) s'il a ete correctement utilise.



**SACHETS D'ASORBEUR  
D'OXYGENE ATCO**





## L'utilisation

Inserer l'objet dans un sac, une housse prete a l'emploi ou faite sur mesure avec une feuille de plastique ayant une faible permeabilite a l'oxygene (moins de  $0,5 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ h}$ ) et une bonne soudabilite.

L'air de la poche doit pouvoir circuler autour de l'objet a traiter et de l'absorbeur.



**Ensemble du materiel a placer dans la poche:**

- .tableau a traiter
- .poche pour le traitement
- .absorbeur d'oxygene ATCO LH 3000
- .indicateur d'oxygene
- .mousse adhesive d'etancheite pour le passage de l'aiguille de l'oxymetre (non obligatoire)



1. Calculer la quantité d'absorbeur nécessaire (methode rapide). Considerant que peu d'objets patrimoniaux sont suffisamment compacts pour ne pas contenir d'air a l'interieur, on neglige le volume de ces objets. Cependant, les formules pour un calcul precis sont donnees dans les notices techniques. Par ailleurs, lors d'un traitement curatif, l'utilisation de films barrieres efficaces permet de ne pas prendre en compte la quantite d'oxygene penetrant par permeabilite.

Un volume total d'air en ml ( $V_a$ ) – longueur (L) x largeur (l) x hauteur (h), en centimetres

Exemple:  $V_a = 60 \times 30 \times 6 = 10\,800$  ml

Le taux d'oxygene dans l'air est de 20,9 % et, pour faciliter la rapidite du calcul, on arrondit souvent a 20%.

Le volume d'oxygene ( $V_o$ ) a eliminer est egal a:

Exemple:  $V_o = 10\,800/5 = 2\,160$  ml

Le traitement etant prevu sur 4 jours, 1 sachet d' ATCO LH 3000 (peut fixer 3 000 ml d'oxygene) est suffisant.

Presentation des sachets d'absorbeur

Il existe plusieurs formes de presentation don't: les sachets LH lorsque l'on a besoin d'un temps assez long pour la mise en oeuvre. Selon les modeles, la capacite d'absorption est de 50 ml (ATCO HV 100) a 3 000 ml (ATCO LH 3000), ce dernier peut fixer 3 000 ml d'oxygene ce qui correspond a 15 litres d'air.

Les sachets HV sont destinés à une mise en œuvre rapide. Selon les modèles, la capacité d'absorption va de 100 ml (ATCO HV 100) à 1 000 ml (ATCO HV 1000). Toutefois l'absorbant ATCO peut être maintenu à l'air (une heure pour le modèle LH et une demi-heure pour le modèle HV) après l'ouverture de son sachet.

Les sachets absorbants ATCO sont conditionnés dans une pochette sous vide poussée. Si au moment de l'utilisation la pochette n'est pas rigide, c'est qu'elle est fuyante et elle ne doit pas être utilisée.

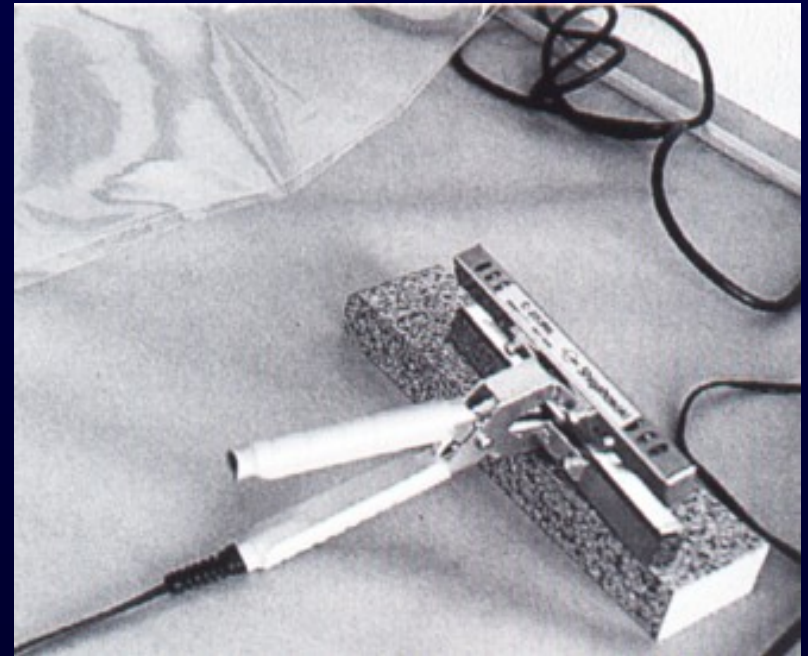
Une fois la pochette contenant les absorbants d'oxygène ATCO ouverte, il faut répartir le nombre d'absorbants nécessaires sur une table et, éventuellement, ressouder la pochette après avoir fait le vide ou chassé l'air soigneusement pour assurer la conservation ultérieure des sachets non utilisés. Les absorbants doivent être répartis sur une table, sans être entassés auquel cas un début de réaction produirait une élévation de température qui accélérerait le processus et compromettrait leurs performances.

Placer les sachets absorbants dans la poche. Il peut être utile, quelquefois, de les fixer avec un adhésif neutre.

Sceller la poche avec un fer à repasser, une pince à souder à impulsion ou une pince à thermosceller.

Laisser dans un environnement ayant une temperature ambiante de 20° C ou plus, pendant les 2 a 3 semaines de la duree du traitement. Celui-ci peut etre plus court et precis si l'insecte a eliminer est bien identifie. Le sachet ATCO va absorber l'oxygene contenu dans la poche, dans l'objet, et celui qui va penetrer lentement par permeabilite au cours du traitement.

Pince a sceller



**Tableau en cours de  
traitement**



Anthrenus  
museorum (linne) 2  
a 3mm



Larve de  
dermestes



Larve de lasioderma



Lasioderma  
serricorne (fabricius)  
2,5 a 3mm

L'absorption d'oxygene se traduit aussi par une diminution d'environ 1/5 du volume de la poche. Il est quelquefois necesaire de realiser un entourage rigide de l'objet traite pour eviter le contact avec le film barriere, ce qui permet aussi une meilleure circulation de l'air dans la poche, donc une meilleure action de l'absorbeur.

La reaction ense fait qu'en presence d'oxygene, c'est pourquoi au depart du traitement la vitesse de reaction est rapide puis diminue, au fur et a mesure que l'oxygene se rarefie, jusqu'a s'arreter. Mais elle peut reprendre en cas d'apport d'oxygene ou peut etre tres lente si la penetration d'oxygene est faible (cas d'utilisation en conservation preventive), si tout l'absorbeur n'a pas ete utilise.

La vitesse d'absorption de l'oxygene est fonction de la temperature environnante. Plus la temperature est elevee, plus la reaction est rapide.

La reaction est exothermique, c'est-a-dire qu'elle s'accompagne d'un faible degagement de chaleur.

Les sachets ne doivent pas etre places au contact de l'ovjet traite car cette chaleur est localisee. C'est une raison supplementaire pour maintenir un certain volume d'air autour de l'objet et de l'absorbeur.

Verification du taux d'oxygene

Cette methode de traitement ou de conservation en milieu inerte met un jeu des phenomenes physiques qui sont faciles a calculer donc de prevoir. Cependant, il est possible de contrler le taux d'oxygene residuel dans la poche et. Ce, de trois manieres differentes.

- Avant de placer l'objet dans la poche, un petit morceau de mousse adhesive d'etancheite est fixe sur l'exterieur du film. Cette mousse permettra le passage d'une aiguille le temps d'une mesure avec un oxymetre. Des que l'aiguille est retiree, la mousse se referme sur son passage et ne permet pas a l'air exterieur de rentrer dans la poche.
- On peut placer un indicateur d'oxygene dans la poche. Il se presente generalement sous la forme d'un comprime colore: bleu si le taux d'oxygene est superieur ou egal a 0,5 % et rose s'il est inferieur ou egal a 0,1%.
- De meme, on peut utiliser des bandelettes tests de milieu enaerobie.

Cout

Pour le film barriere a l'oxygene, il faut compter environ 7,50 F HT le metre carre et 2,60 F HT pour le sachet ATCO LH 3000.





# CONCLUSION

Les absorbeurs d'oxygene ATCO developpes pour l'industrie agroalimentaire offrent des solutions interessantes pour d'autres secteurs, notamment pour la conservation du patrimoine. C'est l'une des solutions alternatives aux methodes conventionnelles de fumigation chimique pour la desinsectisation. Elle respecte les regles d'hygiene et de securite vis-à-vis des personnels et de biens patrimoniaux. C'est aussi une methode interessante en conservation preventive. Actuellement en France, pres de 30 etablisements, services de restaurations, etc., utilisent les absorbeurs ATCO. Ce traitement par anoxie est efficace, simple a mettre en oeuvre et economique en investissement et en fonctionnement.

Standa Industrie remercie L'OCIM et Gilles Pacaud,  
conservateur en chef, pour leurs aides et leurs conseils.

# FICHE TECHNIQUE SUR LE TRAITEMENT OU LA CONSERVATION A L'AIDE D'ABSORBEURS D'OXYGENE



Les mesures de prévention ou de traitements peuvent être réalisées chez vous sans avoir à déplacer les œuvres, ce qui réduit à néant:

- Les problèmes de transferts d'assurance
- Les risques de dégradation liés au transport
- Les coûts de transport

## LES BASES

Faire une poche etanche et pour cela se munir de films adaptes a ses besoins. En effet, on peut vouloir faire un traitement sur une duree de 21 jours au s'orienter sur une preservation plus longue.

Inserer des absorbeurs d'oxygene dans la poche sans etre au contact de l'objet.

Y ajouter de testeurs.

Souder les films a l'aide de pince a souder.

Faire eventuellement des mesures grace a l'oxymetre.

## FILMS

Plusieurs possibilites s'offrent a vous:

Le traitement sur 21 jours peut se faire, soit avec un film aluminium FA30, soit avec un film transparent F115, soit avec les deux. Hygiene office vous conseille plutot d'utiliser les deux. Mettre le film aluminium sous l'objet a traiter et le film transparent au'dessus. En effet, le film en aluminium est plus resistant et vous permet de pouvoir deplacer l'ovjet avec moins de resque qu'en utilisant uniquement un film transparent.

Le film transparent vous permet d'avour une visualisation de l'ovjet en direct et de pouvoir verifier par une bandellette de test le bon vonctionnement de l'operation de traitement.

En fonction de ce que vous abez a traiter, il existe differentes largeurs de rouleau mais ils mesurent tous 200 metres de long.

Pour les traitements sur une periode plus longue, il est necessaire de prendre des films plus impermeables a l'air et plus resistants. Dans ce cas, nous vous conseillons d'utiliser le film aluminium CA41 en base et le film transparent L150. Vous avez le choix dans la largeur du rouleau aluminium, trois largeurs possibles. Pour le rouleau en aluminium, il existe uniquement en 1 metre de large sur 100 metres de long.

Vous pouvez aussi nous consulter pour que nous vous proposons a la demande des films pre-decoupes.

## PINCE A SOUDER THERMIQUE PST 30B

Ce materiel est concu pour sceller des films aussi bien transparents qu'en aluminium. Il n'y a aucun probleme pour souder deux films, l'un transparent, l'autre en aluminium, choix preferé par Hygiene Office pour allier securite de traitement et visualisation des objets traités.

La soudure est effectuee par des fers chauffants (puissance absorbee 400W). La temperature maxi est de 230° c. Chaque film preconise dans sa fiche technique une temperature de soudure qu'il convient de respecter en pouvant notamment faire la moyenne des deux lorsque l'on fait une soudure entre un film alu et un film transparent et quoi qu'il arrive, ne pas hesiter a faire des essais prealables.

Ses dimensions sont de 300x300x90. Son poids est de 1.6 Kg. Le reglage de la plage de soudure se fait manuellement entre 60 et 230v-50Hz monophasé. L'appareil est garanti 1an,

## ABSORBEURS D'OXYGENE

L'absorbeur d'oxygene ATCO FTM2000 est utilise pour la desinsectisation des oeuvres d'art et la conservation des oeuvres en vue d'une future exposition ou restauration. Il a particulierement ete etudie pour la conservation des objets d'art pour que la reaction d'absorption ait peu d'influence sur la temperature et sur l'humidite relative. Il est important avant de commander de calculer le volume d'oxygene a absorber dans l'emballage. Celui-ci peut etre exprime en ml par la formule suivante: 
$$A = \frac{(V - P) \times 21}{100}$$

V = Volume du produit emballe determine exprime en ml.

P = Poids du produit fini emballe, exprime en g.

21% = Taux d'oxygene dans l'air. Ce chiffre doit etre corrige apres controle si l'on realise un balayage ou une substitution par vide compense.

## OXYMETRE PAK01 P

Cet appareil simple d'utilisation est livre avec une valise. Il permet de mesurer l'oxygene residuel en 12 secondes. Il a une autonomie d'environ 18 heures et est alimente par de piles 9V 6LR61. Ses dimensions sont de 170x85x35. Son poids est de 500g. L' affichage est tres precis et se fait sur 2 lignes.

Pour fonctionner, il necessite un volume gazeux de 20ml et une temperature comprise entre 10 et 40°C.



## ANAEROTEST

Son interet est de mettre en evidence la presence d'oxygene. Simple d'utilisation, il est necessaire de mettre une ou deux bandelettes dans la poche. Au depart de couleur bleue indiquant la presence d'oxygene, elle deviennent blanche lors du traitement. Si elles deviennent bleue a nouveau lors du traitement elles nous indiquent qu'il y a presence d'oxygene et donc fuite. Elles ont un interet bien evidemment des lors que l'on utilise un film transparent.

### Le plus HYGIENE OFFICE

Nous sommes a votre disposition pour vous aider a calculer vos besoins jusqu'a la commande au encore a vous assister dans la mise en place de traitement.

**HYGIENE OFFICE**  
**DEPARTEMENT PRESERVATION DES BOIS**

**4, rue Pelletier – 91320 ISSOUS-Tel 01.60.11.25.23**

**Fax 01.60.11.63.09**

**e-mail: [hygiene – office @ wanadoo.fr](mailto:hygiene-office@wanadoo.fr)**

**site internet: [www.hygiene-office.com](http://www.hygiene-office.com)**

**Enterprise agrees par le Ministere de l' Agriculture et  
Par le Centre Technique du Bois et de l' Ameublement**



**MENU**



HYGIENE OFFICE  
DEPARTEMENT PRESERVATION DES BOIS

LUTTE ANTI-TERMITES  
TRAITEMENT DE CHARPENTES  
TRAITEMENT PAR FUMIGATION  
PROTECTION DU PATRIMOINE ARTISTIQUE

## CARACTERISTIQUES DES ABSORBEURS D'OXYGENE ATCO – SACHETS FTM2000

ATCO FTM2000 EST utilise dans les musees pour la desinsectisation des oeuvres d'art ou le report et la conservation de oeuvres en vue d'une future exposition ou restauration. Il s'utilise indifferemment dans des microatmospheres humides ou seches. ATCO FTM2000 est compose d'ingedients depourvus de toute toxicite emballes dans un meteriau conforme aux normes pour le contact alimentaire.

## VITESSE D' ABSORPTION DE L'OXYGENE

Sous reserve des conditions normales d'emploi (paragraphe 1 du mode d'emploi) les sachets ATCO FTM2000 permettent d'atteindre des valeus inferieures a 01% en 24 heures a temperature embiante (20°C); il faudra environ 36 h pour elteindre la meme valeur a 10° e 48 h a 5°C.

La vitesse d'absorption de l'oxygene est en effet fonction de la temperature et plus celle-ci est elevee, plus la reaction est rapide. Cette temperature et plus celle-ci est elevee, plus la reaction est rapide. Cette reaction d'absorption etant par elle-meme exothermique si le sachet ATCO FTM2000 de telle sorte qu'il ne cede pas trop facilement son energie a ceux-ci pour preserver une vitesse de reaction maximale.

## DOMAINES D'EMPLOI

ATCO FTM2000 sera prefere chaque fois qu'il faudra eviter une variation importante de l'hygrometrie dans l'enceinte contenant les oeuvres a traiter. Il a ete specialement concu pour que la reaction d'absorption de l'oxygene soit peut exothermique et surtout que celle-ci influence le moins possible l'hymidite relative de l'eneinte de traitement.

Ses caracteristiques techniques en font un composant pratique de contitionnement que trouve son application dans de nombreux secteurs.

## MODE D'EMPLOI

## PRECAUTIONS D'UTILISATION

Les absorbeurs d'oxugene ATCO doivent etre utilises pour des produits conditionees dans de emballages peu permeables a l'oxygene 20cc/m<sup>2</sup>/24 h/atm maximum et parfaitement scelles.

Il convient donc de bien selectionner les materuau d' emballage en tenant compte non seulement de leur permeabilite a l'oxygene, mais egalement de leur soudabilite.

La qualite des soudures est en effet determinante pour l'etancheite effective de 'emballage.

L'absorbeur doit etre place dans un emballage concu de telle sorte que l'air puisse circuler dans tout le volume.

Les sachets absorbeurs ATCO sont conditionnes en pochette sous vide pousse.

Verifier que la pochette ATCO est bien rigide; dans le cas contraire, la pochette est fuitee et ne doit pas etre utilisee.

Ouvrir la pochette contenant les absorbeurs d'oxygene ATCO et repartir le nombre d'absorbeurs necessaires sur une table, eventuellement, ressouder la pochette apres avoir fait le vide ou chasse l'air soigneusement pour assurer la conservation ulterieure des sachets restants.

**IMPORTANT:** Les absorbeurs doivent être repartis sur une table sans être estassés auquel cas un début de réaction produirait une élévation de température qui accélérerait le processus et compromettrait leurs performances. Toutefois, l'absorbeur ATCO FTM2000 peut être maintenu a l'air une heure après l'ouverture de son sachet de sur emballage sans porter atteinte a sa capacité nominale.

## 2°) CALCUL DU VOLUME D'OXYGENE A ABSORBER

Calcul du volume d'oxygene a absorbe dans l'emballage du produit fini après son conditionnement.

Celui-ci peut être exprimé en ml par la formule suivante:

$$A = \frac{(V-P) \times 21}{100}$$

V=Volume du produit emballé déterminé par immersion dans l'eau exprimé en ml.

P=Poids du produit fini emballé, exprimé en g.

21% = Taux d'oxygène dans l'air. Ce chiffre doit être corrigé après contrôle si l'on réalise un balayage ou une substitution par vide compensé.

2.2 – Calculer le volume d'oxygène qui sera susceptible d'entrer dans l'emballage par perméabiliser du matériau pendant toute la durée du traitement.

Cette quantité peut s'exprimer en ml de la façon suivante:  $B = S \times P \times D$

S = Surface développée du matériau d'emballage exprimée en m<sup>2</sup>.

P = Perméabilité du matériau exprimée en ml

D'oxygène/m<sup>2</sup>/24heures/atmosphère (questionner les fournisseurs).

D = Durée du traitement en jours.

### 3° ) NOMBRE DE SACHETS FTM2000 A METTRE EN ŒUVRE

Le nombre de sachets ATCO à mettre en œuvre par conditionnement sera égal à :  $n = \frac{(a+B)}{2000}$

Il convient bien sur d'arrondir le resultat au nombre entier superieur et eventuellement de prevoir une marge de securite car le calcul n'est pas toujours suffisamment precis, il ne tient pas compte par exemple des variations de permeabilite a l'oxygene des materiaux en fonction de l'humidite et les defferences a ce niveau peuvent etre tres importantes pour certains polymeres (EVOH), ni des permeabilites anormales qui peuvent exister au niveau des soudures si celles-ci ne sont pas d'une qualite irreprochable.

#### 4° ) SECURITE

Les absorbeurs d'oxygene ATCO, bien qu'ils ne doivent pas etre consommes, sont composes de produits non tixiques, ils peuvent etre elimines avec les ordures menageres sans difficulte.

Les processus suivant lequel l'oxygene est absorbe n'a pas d'effet nuisible ni pour l'homme ni pour l'environnement.

L'emploi des absorbeurs d'oxygene ATCO est conforme aux reglementations en vigueur y compris dans le secteur agro-alimentaire.

#### 5° ) STOCKAGE

Les absorbeurs d'oxygene ATCO doivent etre stockes dans de endroits aeres bien ventiles pour eviter tout risque de deficiencie en oxygene.

A temperature embiante, les absorbeurs ATCO peuvent etre conserves pendant au moins 1 an sans modification de leurs performances tant du pint de vue capacite que vitesse d'absorption.





# **BENAKI MUSEUM RESEARCH PROGRAM**

**PIGMENT ANALYSIS AND OTHER  
SCIENTIFIC METHODS ON THREE ICONS  
DATING IN THE 13TH CENTURY**

**KALYPSO MILANOY**

**GREEK / ENGLISH VERSION**



**MENU**