

# Tractament de postliofilització per a la prevenció de l'acidificació en fusta arqueològica amarada d'aigua. El cas del vaixell gal·loromà LSG4

El vaixell gal·loromà Lyon Saint-Georges 4 (LSG4) es caracteritza per tenir una gran quantitat de sulfurs de ferro en el seu interior que, en unes condicions ambientals inadequades, poden portar a una forta acidificació de la fusta que el compon i per tant a la seva destrucció. Aquesta problemàtica tan específica i el tractament preventiu que s'està duent a terme a l'empresa ARC-Nucléart de Grenoble van ser la temàtica desenvolupada en el treball final dels estudis de conservació i restauració, a partir del qual s'ha extret aquest article.

## **Post lyophilization treatment to prevent acidification in water saturated archaeological wood. The case of the Gallo-Roman ship LSG4**

*The Gallo-Roman ship Lyon Saint-Georges 4 (LSG4) has a large quantity of iron sulphides in its interior which, in adverse environmental conditions, can cause severe acidification in the wood of which it is constructed and lead to its destruction. This very specific problem and the preventative treatment being carried out by the company ARC-Nucléart de Grenoble was the topic discussed in the final year project in the Conservation and Restoration course, on which this paper is based.*

**Xavier Martínez Carballal.** Títol Superior en Conservació i Restauració de Béns Culturals en l'especialitat de Béns Arqueològics i Llicenciatura en Història. Conservador-restaurador de béns culturals a ARC-Nucléart. Post Graduate Degree in Conservation and Restoration of Cultural Heritage specialising in Archaeological Artefacts and a B.A. in History. Conservator-restorer of cultural heritage at ARC-Nucléart:-  
xavipica@hotmail.com

**Paraules clau:** LSG4, acidificació, sebacat de disodi, sulfurs de ferro, fusta amarada d'aigua.

**Keywords:** LSG4, acidification, disodium sebacate, iron sulphides, water saturated wood.

**Data de recepció:** 12-10-2017 > **Data d'acceptació:** 23-10-2017 / **Date received:** 12-10-2017 > **Date accepted:** 23-10-2017.



## INTRODUCCIÓ

L'any 2003 es van portar a terme les obres d'un pàrquing sota l'actual Parc Saint-Georges de la ciutat de Lyon. En les excavacions van començar a sorgir restes de vaixells antics a la superfície. Un equip d'arqueòlegs de l'Inrap<sup>1</sup> va portar a terme l'excavació del terreny i, en total, es van trobar 16 vaixells de diferents èpoques. D'aquests, 6 eren gal·loromans i 3 van ser extrets per a la seva posterior exposició en un museu. Entre ells hi havia l'LSG4,<sup>2</sup> un vaixell poligonal de tipus octogonal, les fustes del qual daten d'entre l'any 158 i el 185 dC. **1**

Es calcula que originalment feia uns 28 m d'eslora, però no es va poder excavar en la seva totalitat. La part de popa continua encara per sota de les edificacions del barri medieval de Lyon i és per això que no s'ha pogut ni documentar ni extreure. L'altra meitat es conserva actualment a les instal·lacions de l'empresa ARC-Nucléart i mesura uns 15 m de llargada per 4,67 m d'amplada i 1,35 m d'alt. Posteriorment, un cop s'hagi portat a terme el tractament de conservació-restauració, serà exposat al museu Lyon-Fourvière. **2**

L'empresa ARC-Nucléart, especialitzada en la conservació i restauració de material arqueològic orgànic, va

Excavació arqueològica de l'LSG4 (Fotografia: Marc Guyon, Inrap).



[1] L'LSG4 al jaciment (Fotografia: Inrap).

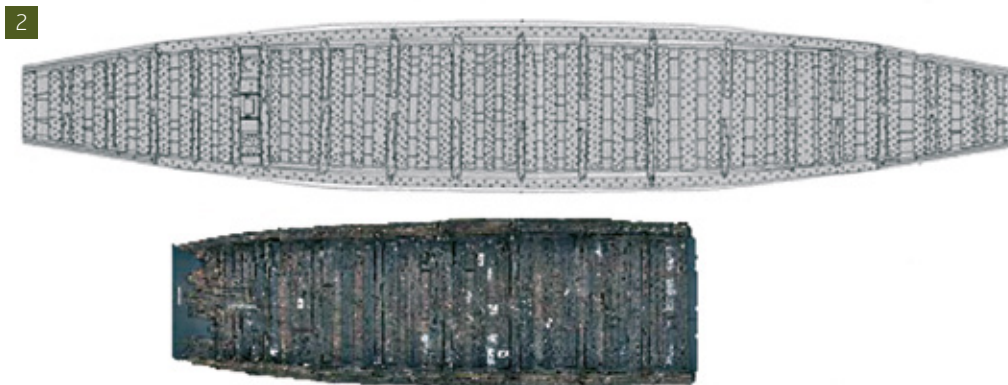
rebre el vaixell l'any 2014, deu anys després de la seva excavació. La conservadora-restauradora Laure Meunier-Salinas es va fer càrrec de la gestió de la intervenció del vaixell com a cap de projecte. Es van portar a terme anàlisis de diverses mostres de fusta i la gran quantitat de sulfurs de ferro que es va trobar en el seu interior va demostrar que hi havia un gran risc d'acidificació.<sup>3</sup> Per tant, es determinà que en el cas de l'LSG4 es donaven dues grans problemàtiques a tractar:

1. L'esfondrament de l'estructura cel·lular interna de la fusta.
2. L'acidificació de la fusta.

<sup>1</sup> Institut national de recherches archéologiques préventives.

<sup>2</sup> GUYON, M. "Méthodologie d'une fouille d'épaves en milieu terrestre" A: RIETH, E. [dir.] *Archaeonautica*. Vol. 16 (2010), Les épaves de Saint-Georges – Lyon – 1<sup>er</sup>-XVIII<sup>e</sup> siècles, p. 25-33.

<sup>3</sup> BERTRAND, F. "Étude de la contamination en sulfures de fer de l'épave Lyon Saint-Georges 4". *Rapport d'activité 2013/2014*. Grenoble: (2014), p. 89-91.

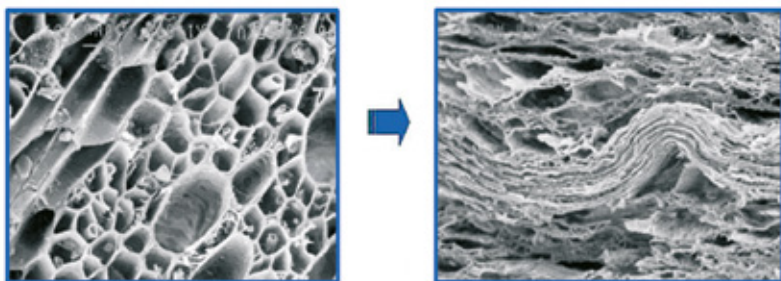


[2] Representació teòrica del vaixell LSG4 complet (dalt) i fotografia superior de la part extretra per a la seva posterior exposició (baix) (Imatge: Marc Guyon, Inrap).

### L'ESFONDRAMENT DE L'ESTRUCTURA CEL·LULAR INTERNA DE LA FUSTA

#### PROBLEMÀTICA

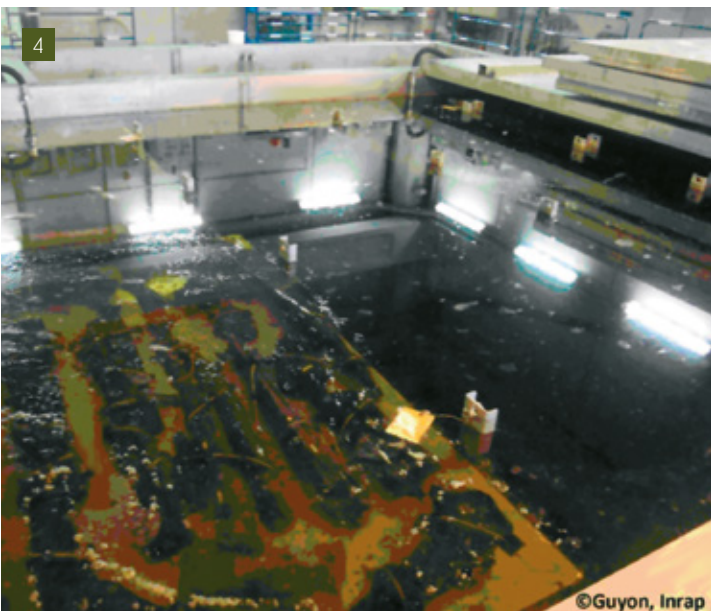
La fusta de l'LSG4 ha estat exposada a un medi humit durant segles. L'aigua ha anat penetrant a l'interior de la fusta al llarg del temps, ha substituït la cel·lulosa i s'ha convertit en una part important de la seva constitució. Si aquesta aigua s'evaporés, l'estructura interna de la fusta s'esfondraria, tal com es pot veure en la imatge. [3]



©ARC-Nucléart

Séchage à l'air libre

[3]



©Guyon, Inrap

#### TRACTAMENT

Per exposar el vaixell en un museu és necessari un tractament de consolidació per tal de poder mantenir la fusta en un ambient sec sense que perdi la seva forma. En aquest cas s'ha tractat per immersió en un bany de polietilenglicol (PEG), el qual permet consolidar l'estructura de la fusta reemplaçant l'aigua. [4]

Un cop la fusta està impregnada de PEG es passa a la següent fase, l'assecatge per liofilització. El tractament consisteix a col·locar les fustes ja consolidades en els liofilitzadors, on la fusta passa per dues fases diferents:

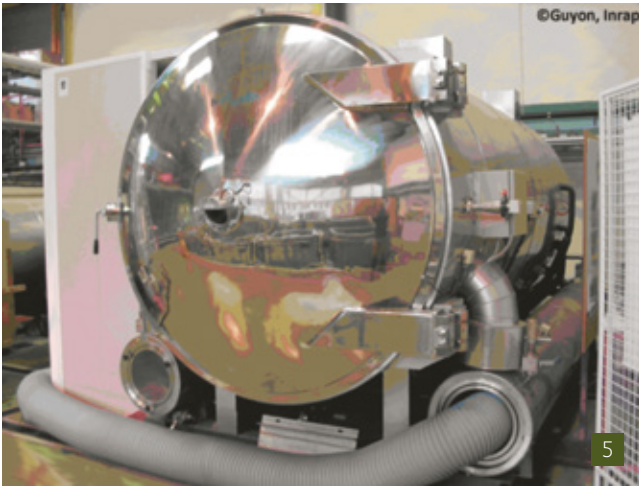
1. Congelació.
2. Sublimació.

Aquest sistema d'assecatge permet extreure l'aigua amb menys risc de deformacions, mentre el PEG continua a l'interior de la fusta consolidant la seva estructura. La pressió atmosfèrica permet a l'aigua congelada transformar-se directament en vapor. Si l'expulsió de l'aigua es donés en fase líquida, podria provocar la ruptura de les estructures cel·lulars per fenòmens de tensió superficial. El procés de liofilització té una durada d'entre tres i sis setmanes segons el volum de fusta a tractar. [5]

[3] Imatges obtingudes amb microscopi electrònic de rastreig de l'estructura d'una fusta arqueològica abans i després de l'esfondrament cel·lular degut a un assecatge incontrolat a l'aire lliure (Imatge: <<http://archofluviale.e-monsite.com/pages/la-navigation/operation-lyon-saint-georges-4/le-traitement-du-bois.html>> [Consulta: 26 febrer 2016]).

[4] Impregnació de PEG per immersió (Fotografia: Marc Guyon, Inrap).

El tractament de PEG i liofilització és molt utilitzat en el món de la conservació i restauració de fusta amarada d'aigua perquè soluciona la primera problemàtica plantejada en aquest article. En canvi, per a la segona problemàtica, tots els tractaments són relativament nous i estan en procés de desenvolupament.

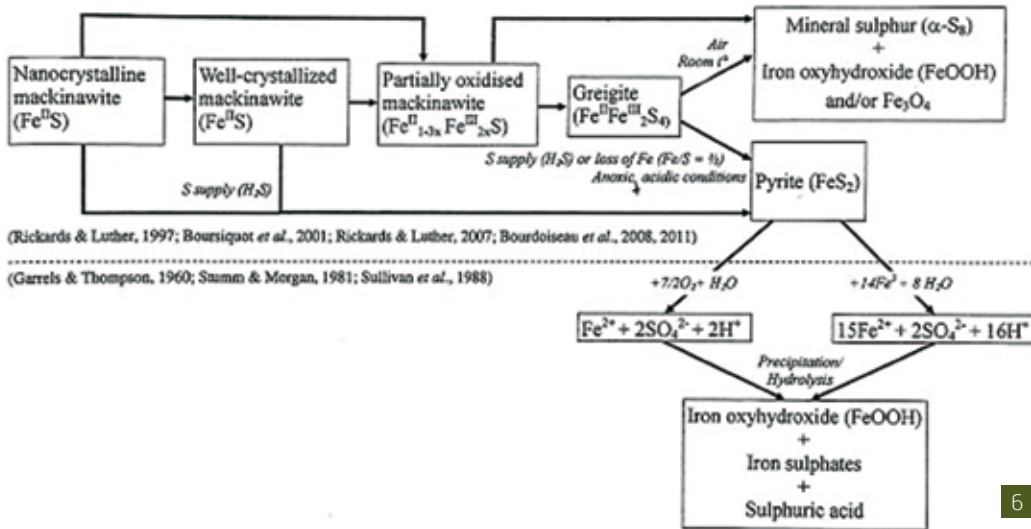


©Guyon, Inrap

5

[5] Liofilitzador (Fotografia: Marc Guyon, Inrap).

[6] Esquema de l'evolució dels sulfurs de ferro (Font: RÉMAZEILLES, C. [et al.] "Study of Fe(II) sulphides in waterlogged archeological wood". *Studies in Conservation*. Vol. 58 (2013), p. 297-307).



6

## ACIDIFICACIÓ DE LA FUSTA

### PROBLEMÀTICA

L'acidificació és un problema molt generalitzat que es dona en la fusta arqueològica procedent d'un medi humit que ha estat en contacte amb ferro i en condicions d'anòxia. Durant la fase d'enterrament es formen els sulfurs de ferro que posteriorment, durant l'emmagatzematge o l'exhibició en museus, es desenvolupen amb l'aparició de concrecions minerals a la superfície de la fusta. L'increment de volum provocat per les concrecions genera esquerdes en la fusta. Simultàniament, l'àcid sulfúric es produeix dintre de la matèria orgànica i provoca l'acidificació de la fusta. La hidròlisi àcida de les macromolècules orgàniques i els processos de corrosió condueixen ràpidament a la desintegració de la fusta; així es perden les propietats mecàniques i els objectes comencen a ser trencadissos.<sup>4</sup> <sup>6</sup>

El desenvolupament d'aquesta problemàtica es podria evitar si la temperatura es mantingués constant entre 18 i 20 °C i la humitat relativa, també constant, al voltant del 50%.<sup>5</sup> Però mantenir aquestes condicions pot resultar extremadament car, sobretot en aquelles sales on es dona un moviment continu de visitants. El cas més representatiu

és el del vaixell del segle XVII *Vasa*, exposat al *Vasamuseet* d'Estocolm. Aquest museu es va construir expressament per conservar la nau dins les condicions ideals, en aquest cas 20 °C de temperatura i 60% d'humitat relativa.<sup>6</sup> Tot i ser un dels museus més ben preparats del món quant a control climàtic, el vaixell *Vasa* ha patit l'acidificació progressiva de la fusta. Posteriorment, una de les mesures preventives que s'ha pres és la inversió de 7 milions d'euros per a la instal·lació d'un sistema de control climàtic per mantenir tots aquests paràmetres constants.<sup>7</sup> Aquests costos tan elevats no poden ser assumits per altres museus que conserven en el seu interior fustes procedents d'un medi humit en risc d'acidificació i és per això que s'ha de buscar un altre sistema preventiu com, per exemple, el que planteja aquest article.

### TRACTAMENT

Per tal de prevenir aquesta problemàtica amb el vaixell *LSG4*, s'està portant a terme un tractament que suposa una innovació en el camp específic de la conservació-restauració de fusta arqueològica amarada d'aigua. Per

<sup>4</sup> RÉMAZEILLES, C. [et al.] "Study of Fe(II) sulphides in waterlogged archeological wood". *Studies in Conservation*. Vol. 58 (2013), p. 297-307.

<sup>5</sup> AGUER, C. "La liofilització". A: NIETO, X.; CAU, M.A. [eds.]. *Arqueologia Nàutica Mediterrània* (Monografies del CASC, 8). Girona: Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya, 2009, p. 636. ISBN 978-84-393-8082-5

<sup>6</sup> DUCHÈNE, J. "La conservation des bois archéologiques humides: historique et développements récents". A: BERNARD-MAUGIRON, H. [et al.] [dirs.] *Sauvé des eaux. Le patrimoine archéologique en bois, histoires de fouilles et de restaurations*. Grenoble: ARC-Nucléart, 2007, p. 28. ISBN 978-2-9529035

<sup>7</sup> HOCKER, E. "Maintaining a Stable Environment: *Vasa's* New Climate-Control System". *APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology*. Vol. 41 (2010), núm. 2/3, p. 3-9.



[7] Extracció d'un clau de ferro de VP21 (LSG4) (Fotografia: Xavier Martínez).

evitar que la corrosió de les parts metàl·liques continuï impregnant la fusta de sals de ferro i sofre, o pirita, i que aquests compostos portin a una acidificació violenta de la fusta, s'extreuen tots els claus de ferro abans de la liofilització, es documenten i es conserven per separat. Unes reproduccions fetes amb resina els reemplaçaran. Cal dir que durant aquesta etapa en què la fusta està humida no tots els claus de ferro són visibles i, per tant, restaran dintre la fusta fins després del seu assecatge. Un cop s'ha portat a terme la liofilització, es fa un raspament de les superfícies que presentaven concrecions metàl·liques. Malauradament, en moltes zones la fusta conté una càrrega de partícules ferrosulfúriques en el seu interior, repartides de manera difusa, que no es pot retirar sense eliminar la major part de la peça o tota ella. És per això que l'enginyer químic de l'ARC-Nucléart, Gilles Chaumat, ha desenvolupat la utilització d'un producte químic anomenat sebacat de disodi que s'està utilitzant en l'aplicació local per neutralitzar els sulfurs i evitar que aquests es transformin en àcid sulfúric en contacte amb la humitat de l'aire.<sup>8</sup>

#### CONTROL AMBIENTAL

Paral·lelament, es realitza un control climàtic dels espais de treball on es controla la humitat relativa (al voltant del 50%) i la temperatura (al voltant de 20 °C), tal com es farà en els futurs espais d'exposició per tal de garantir les millors condicions de conservació i evitar que aquesta problemàtica es pugui accelerar amb la humitat ambiental. Les sondes de control de la humitat relativa són col·locades a prop de la fusta per verificar la taxa d'humitat dins l'aire i prendre les mesures necessàries en cas que es desequilibri aquest medi. Per últim, la il·luminació es controla a les zones d'emmagatzematge ( $\leq 50$  luxs), que són els espais on les fustes arqueològiques passen més temps durant la seva estada a l'ARC-Nucléart.

#### PROTOCOL DEL TRACTAMENT

Després d'una estada de sis mesos a l'ARC-Nucléart, he realitzat un protocol en el qual s'explica el procediment a seguir per tal d'acabar el tractament d'una peça de fusta després de la liofilització i preveure també l'acidificació. No sempre es pot seguir el protocol completament perquè cada peça és diferent i, per tant, s'haurà d'adequar a les problemàtiques

específiques de cada una, fet que pot comportar canviar el següent ordre, sumar apartats o restar-ne.

#### PROTOCOL:

1. Preparació.
2. Neteja superficial en sec.
3. Raspament dels forats dels claus.
4. Raspament de la superfície.
5. Neteja química.
6. Adhesions.
7. Aplicació de sebacat de disodi amb Tylose® MH 300 P.
8. Registre gràfic del procés amb cartografies d'intervenció.

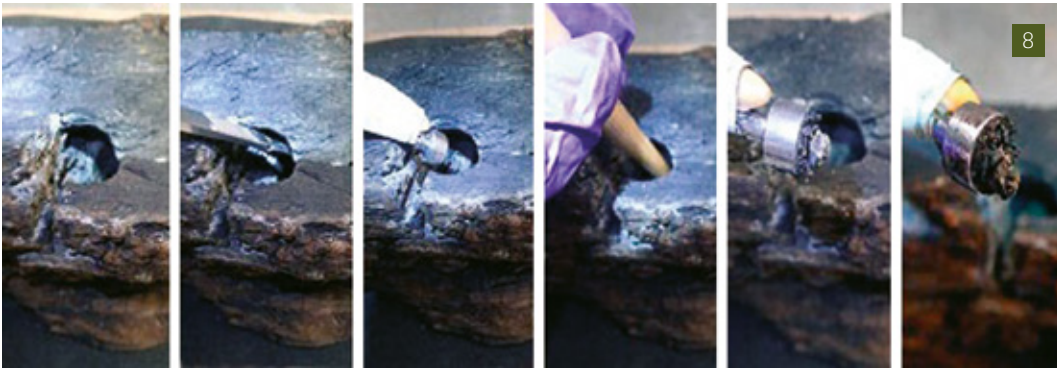
D'aquest protocol els punts 3, 4 i 7 estan destinats a la prevenció de l'acidificació. El raspament dels forats dels claus consisteix a retirar la fusta contaminada pels sulfurs de ferro que es troba al voltant dels forats deixats pels claus de ferro, els quals són la font del problema. Alhora, amb la fusta seca, es localitzaran també tots aquells claus de ferro que no s'hagin localitzat abans de la liofilització i es retiraran. Per fer-ho, si la fusta és resistent, ens podem ajudar amb un trepant; si es considera massa dèbil o el clau no segueix una direcció recta, haurem de procedir a treballar amb un bisturí o amb una gúbia. <sup>7</sup>

A continuació s'ha de valorar si és necessari portar a terme un raspament de la paret del forat del clau. Per fer aquesta valoració utilitzarem un bisturí i raspem les parets fent que saltin petits trossos de fusta. Durant aquest procés s'haurà d'estar atent al soroll del raspament i al tacte, si se sent un so o es nota un tacte metàl·lic o mineralitzat haurem de continuar amb el raspament; si no l'apreciem, haurem de passar un imant per sobre dels trossos de fusta que han saltat. Si la fusta conté greigita (sulfur de ferro), s'enganxarà a l'imant i, per tant, s'haurà de continuar amb el procediment. <sup>8</sup>

Un cop aquests indicadors ja no es donin, el raspament s'aturarà. El trepant també es pot utilitzar per portar a terme el raspament de les parets dels forats dels claus que, en molts casos, resulta menys agressiu que treballar amb el bisturí o la gúbia perquè fa un forat més net i alhora resulta més pràctic i ràpid.

Ens podem trobar que un clau de ferro hagi provocat una difusió de sulfurs que afecti tota una fusta o un radi molt gran; serà decisió del conservador-restaurador valorar

<sup>8</sup> CHAUMAT, G.; CAILLIET, B.; BOCHATON, T. "Use of sodium sebacate salts to consolidate and stabilise composite archaeological artefacts". A: GRANT, T.; COOK, C. [eds.] *Proceedings of the 12th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference Istanbul 2013*. ICOM-CC, 2016, p. 161-167. ISBN 9781365065194



[8] Procés de comprovació del magnetisme.

[9] Capa superficial de sulfurs de ferro a VP21 (LSG4).

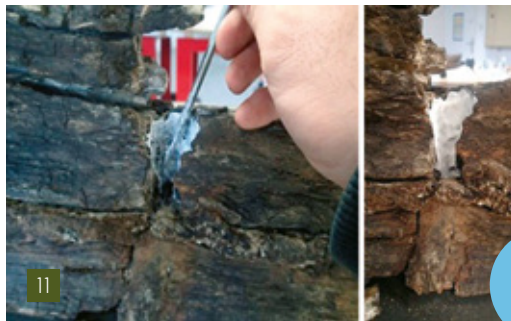
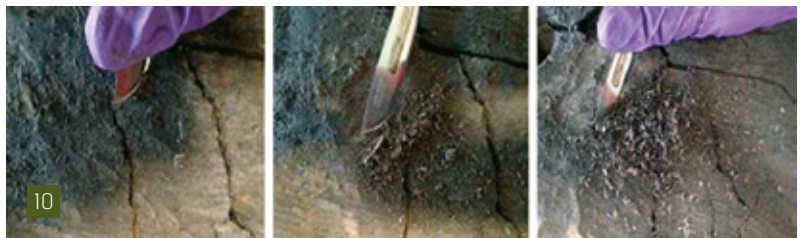
[10] Raspament de la superfície.

[11] Aplicació del sebacat de disodi amb Tylose® MH 300 P (Fotografies: Xavier Martínez).



en quin moment aturar el raspament. Un límit utilitzat en aquests casos és la valoració del nivell magnètic de la fusta que estem raspant. S'ha de tenir en compte que, si sempre es portés a terme el raspament de tota la fusta contaminada, el percentatge que eliminaríem en el cas del LSG4 seria massa elevat; eliminaríem peces de fusta senceres i, per tant, bona part del vaixell. <sup>9</sup>

El raspament de la superfície consisteix a retirar les concrecions minerals i els sulfurs de ferro que s'han acumulat en la part exterior de la peça de fusta després de desplaçar-se a través de les fibres per efecte de la gravetat. <sup>9</sup> Per al raspament de la superfície tindrem presents les mateixes valoracions que en el raspament dels claus: el soroll o tacte metàl·lic o mineralitzat i el magnetisme, però a més podrem fer una valoració ràpida a simple vista per aspecte o coloració. Les zones que hem de buscar per fer el raspament seran de color gris, negre o groc. La fusta no contaminada normalment tindrà una coloració marró, però en alguns casos també serà negra i pot portar a confusions; en aquests casos s'han d'utilitzar els altres indicadors per determinar la constitució de la fusta. <sup>10</sup>



Per últim, realitzarem l'aplicació del sebacat de disodi amb un èter de cel·lulosa (Tylose® MH 300 P) per tal de neutralitzar la possible acidificació de la fusta al voltant de les zones que estaven en contacte amb el ferro. Per a la preparació de la pasta, en primer lloc es barrejarà la Tylose® MH 300 P i el sebacat. La proporció és d'una part de Tylose® MH 300 P per quatre de sebacat.

TS4 = Tylose® MH 300 P i Sebacat de disodi (1:4)

A continuació es barrejarà amb aigua desionitzada en una proporció del 30% per tal que la pasta es pugui treballar en vertical sense risc que s'escampi i que pugui tacar la fusta.

TS4 al 30% en aigua desionitzada

És important fer una barreja homogènia i deixar-la reposar durant almenys una hora. Passat aquest temps, s'aplicarà amb espàtula per tota la superfície de la fusta raspada del forat del clau, creant una fina capa superficial blanca d'entre 2 i 5 mm de gruix aproximadament. Es poden utilitzar altres estris per assegurar-se que tota la zona queda ben impregnada. <sup>11</sup>

Un cop seca aquesta capa de color blanc que s'ha aplicat a l'interior dels forats, es durà a terme una reintegració de cada orifici per integrar la intervenció matèricament i cromàtica.

## CONCLUSIONS

El problema principal a resoldre que planteja aquest article és l'acidificació de la fusta arqueològica provinent d'un medi

<sup>9</sup> Normalment trobarem una acumulació molt més abundant de concrecions minerals i sulfurs de ferro a la zona superficial de la peça que en el jaciment estava situada a la part inferior.

humit, provocada pel contacte del material amb el ferro durant la seva fase d'enterrament en condicions d'anòxia. La impossibilitat de mantenir constants els paràmetres de temperatura (20 °C) i d'humitat relativa (50%) en les sales d'exposició dels museus provoca el pas del sulfur de ferro a àcid sulfúric. Resoldre aquesta problemàtica controlant la humitat relativa i la temperatura comporta unes instal·lacions que per a la majoria de museus són inviablès econòmicament. Per tant, s'han de buscar altres solucions.

El raspament de la fusta és un mètode efectiu per a l'eliminació dels sulfurs de ferro, però s'ha de controlar per la

seva agressivitat. En el cas que els sulfurs de ferro s'hagin difós cap a l'interior de la fusta i el raspament sigui insuficient per a la seva eliminació, s'hauran d'utilitzar altres mètodes per arribar a neutralitzar-los.

En el cas de l'LSG4 s'han combinat el raspament amb l'aplicació de sebacat de disodi per tal d'intentar neutralitzar els sulfurs de ferro i evitar la posterior acidificació d'aquests. La concentració utilitzada amb la "pasta preventiva" de sebacat de disodi i Tylose® MH 300 P (TS4) en relació amb l'aigua desionitzada és del 30%. Aquesta concentració és ideal per a la seva aplicació en superfícies verticals, però alhora la pasta sembla quedar-se en superfície i no penetrar prou dins les fustes i, per tant, no arriba a neutralitzar els sulfurs de ferro difosos més a l'interior.

Durant la meua estada al centre de conservació i restauració d'ARC-Nucléart, he comprovat la importància de la combinació del treball amb la investigació per tal de buscar nous mètodes i productes que facilitin el treball i la conservació dels béns culturals. Les experimentacions desenvolupades a partir dels dubtes sorgits en el treball del dia a dia amb les peces de l'LSG4 i el suport d'un equip interdisciplinari han permès desenvolupar un nou sistema i un nou producte per al tractament de la fusta amarada d'aigua en risc d'acidificació.

## AGRAÏMENTS

A tot el personal de l'ARC-Nucléart, per tenir l'oportunitat de compartir sis mesos molt instructius i pel seu tracte amistos i simpàtic que mai oblidaré. M'agradaria donar les gràcies especialment a la cap del projecte del vaixell LSG4, a la conservadora-restauradora Laure Meunier-Salinas i a l'enginyer químic Gilles Chaumat, per valorar el meu treball i guiar-me en la química i l'experimentació. També voldria donar les gràcies a l'arqueòleg de l'Inrap, Marc Guyon, per facilitar-me tot el material i resoldre'm tots els dubtes en l'àmbit arqueològic.

També agraeixo tota l'ajuda dels professors de l'ESCRBCC, Júlia Chinchilla i Marcel Pujol, per ajudar-me a confeccionar el meu treball.

## BIBLIOGRAFIA

ALMKVIST, G. [et al.] "Extraction of iron compounds from archaeological wood – results and experiences from the Vasa Museum". *Holzforschung*. Vol. 60 (2006), núm. 6, p. 678-684.

ARCHÉOFLUVIALE. *Lyon Saint-Georges 4*. [En línia] <<http://archeofluviale.e-monsite.com/pages/la-navigation/operation-lyon-saint-georges-4/le-traitement-du-bois.html>> [Consulta: 30 novembre 2016].

BERTRAND, F. "Collections en cours ou terminées". *Rapport d'activité 2013/2014*. Grenoble, 2014, p. 16-48.

CAILLAT, L.; MEUNIER-SALINAS, L.; COIGNARD, M. "Régénération continue des bains de PEG utilisés pour la consolidation des bois archéologiques gorgés d'eau". *Technè* (2015), núm. 42, p. 115-120.

CHAUMAT, G.; TRAN, K.; BOUMLIL, N. "Les techniques actuelles de conservation mises en œuvre par ARC-Nucléart". A: BERNARD-MAUGIRON, H. [et al.] [dirs.] *Sauvé des eaux. Le patrimoine archéologique en bois, histoires de fouilles et de restaurations*. Grenoble: ARC-Nucléart, 2007, p. 169-178. ISBN 978-2-9529035

JOVER, A. "Els materials orgànics: de l'excavació al laboratori. Conservació amb PEG a saturació". A: NIETO, X.; CAU, M.A. [eds.]. *Arqueologia Nàutica Mediterrània (Monografies del CASC, 8)*. Girona: Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya, 2009, p. 627-630. ISBN 978-84-393-8082-5

MEUNIER-SALINAS L.; GUYON, M. "Un chaland galloromain du Ile ap. J". *Antiquité Magazine* (2016), núm. 6, p. 68-75.

PUJOL, M. "Terminologia de construcció naval". A: NIETO, X.; CAU, M.A. [eds.]. *Arqueologia Nàutica Mediterrània (Monografies del CASC, 8)*. Girona: Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya, 2009, p. 627-630. ISBN 978-84-393-8082-5

SAN ANDRÉS, M.; DE LA VIÑA, S. *Fundamentos de química y física para la conservación y restauración*. Madrid: Síntesis, 2004, p. 289-309. ISBN 9788497561624

SIERRA, J. L. "La conservación de la madera en arqueología subacuática. Museo y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas". A: FERNÁNDEZ, C.; PALACIO, R. [eds.] *Monte Buciero 9. La Conservación del Material Arqueológico Subacuático*. Santoña: Ayuntamiento de Santoña, 2003, p. 225-266.