

Fire and Ice: A Soot Removal Technique Using Dry Ice Blasting



© All rights reserved

by Randy Silverman
Preservation Librarian
University of Utah
USA

*"To say that for destruction ice
is also great
And would suffice."* Robert Frost⁽¹⁾



© Randy Silverman

South side of the Sevier County Records Office showing roof construction; welding occurring in the building's attic caused the fire.

Introduction

A welder's spark touched off the attic fire in the Sevier County Records Office (Richfield, Utah, USA) on 2 May 2006, igniting a blaze that ripped through the crawl space and greedily consumed the building's paper-backed insulation. The fuel readily spent, the fire burned itself out 15 minutes later, sparing the structure but coating everything below the rafters with fine, powdery soot.

This carbonaceous residue filtered down through the ceiling tiles and settled on everything in the offices below, including the historic courthouse record books stored horizontally on metal rolling shelves within the vault. Approximately 300 nineteenth- and twentieth-century full-leather spring-back stationers' bindings, many covered in protective white canvas jackets, were untouched by the fire but impregnated with a layer of soot and reeked of smoke.



© Randy Silverman

Front of the Sevier County Records Office (Richfield, Utah, USA) on 9 May 2006, one week after the fire.

The Problem

Among commercial disaster firms in the U.S., the current standard for removing soot's grim, grey residue from books is to wipe down the covers with a 'chemical', or natural rubber sponge,⁽²⁾ and then 'ozonate' the books to eliminate the residual smoky odor. This approach leaves much to be desired. While the sponge does trap much of the fine, carbon-laden particulate in its tan, rubbery surface, it also quickly fills with residue. Recovery workers must constantly rotate their sponges to expose unused areas to the grime and throw spent sponges away as they are not readily cleaned. The wiping process itself forces some of the fine, dark soot particles back into the interstices of the material being cleaned, especially when that surface is as porous as the open weave of canvas book jackets.

Trapped soot becomes more intractable with time as the polymerized and dehydrogenized byproducts of the fire chemically bond to their surroundings.⁽³⁾ The friction of wiping also causes some portion of the sponge's soft rubber to transfer to the book's surface,

2 The principle source for natural rubber sponges (stock #60142) is: Quality Rubber Co, 415 Metallic Lane, Sedalia, MO65301, USA. Tel. 660-826-4641; toll free, 800 597-9947.

3 On the long-term problems of soot removal from cultural property, see: Roberts, Barbara, et al. "An Account of the Conservation and Preservation Procedures Following a Fire at the Huntington Library and Art Gallery", *Journal of the American Institute for Conservation* 27:1 (Spring 1988):1-31; Spafford-Ricci, Sarah, and Graham, Fiona, "The Fire at the Royal Saskatchewan Museum, Part 1: Salvage, Initial Response, and the Implications for Disaster Planning", *Journal of the American Institute for Conservation* 39, n°1, (Spring, 2000): 15-35, and, Spafford-Ricci, Sarah, and Graham, Fiona, "The Fire at the Royal Saskatchewan Museum, Part 2: Removal of Soot from Artifacts and Recovery of the Building", *Journal of the American Institute for Conservation* 39, n°1 (Spring, 2000): 36-56.

1 Frost, Robert, "Fire and Ice," *Collected poems, prose, and plays* (New York: Library of America, 1995): 20

trading one unstable residue for another.⁽⁴⁾ Finally, exposing 'cleaned' books to ozone to reduce the residual smoke odor causes further degradation. A strong oxidizer, ozone aggressively breaks down paper, cloth, leather, and adhesives while it decomposes the organic components of the smoke – a highly undesirable tradeoff for books of historic significance mandated by law to be maintained in perpetuity.

In short, soot is an extremely tenacious material to remove. Unlike dust, it is a solid/liquid residue composed of carbon suspended in an oily foundation of partially consumed combustion byproducts. The carbon within these tar droplets is so fine – 1 μm in diameter, or approximately 1/50 the width of a human hair – it is readily dispersed by the "pressure and buoyancy created by the heat of the fire" and aerodynamic conditions such as "stack effect, wind pressures, the building geometry and its barriers (such as walls and floors), and ventilation practices."⁽⁵⁾ Soot's fine powder coats every exposed surface, penetrating even the tiniest crevices and crannies, anchoring the carbon with oily tars where it lands. Removal attempts by wiping, even with an absorbent, fleshy material such as the above-mentioned natural rubber sponge, inevitably smears whatever soot does not bond to the sponge, compressing and embedding the diminutive, greasy specks further into the surface and making them more difficult to remove. As soot ages, it chemically cross-links to the material it is in contact with, making immediate cleanup the optimal course of choice.

Vacuuming with a high efficiency particle (HEPA) filter in tandem with manual wiping can help, but alone it is actually less effective than wiping with an absorbent material. In the 1997 Saskatchewan (Canada) Museum fire, for example, Spafford-Ricci and Graham report the soot removal protocol used for book cleaning included an initial vacuuming of the book's binding, followed by a separate vacuuming of the text block. Care was taken not to touch the surface of the books with the vacuum's nozzle as this contact would push soot into the woven fabric of the bookbindings. After vacuuming, the second phase of this cleanup included mechanically wiping the book's surface with rubber sponges or Webril® Wipes (a felted, nonwoven 100% cotton pad commonly used in the printing industry for non-abrasive cleaning of printing plates).⁽⁶⁾

4 See: Moffatt, E., "Analysis of 'chemical sponges' used by the commercial fire cleanup industry to remove soot from various surfaces", *IIC-CG (International Institute for Conservation - Canadian Group) 17/3* (1991): 9-10.

5 McKinnon, Gordon P. and Keith Tower (eds.), *Fire protection handbook*, 14th ed. (Boston: National Fire Protection Association, 1976): 2-19; 2-27.



© Randy Silverman

An interior office with evidence of smoke damage on the walls.

Eliminating residual smoke odor from objects following soot removal is the next thorny problem. In addition to simply spraying scents to mask the odor, at present, three approaches predominate within the fire recovery industry: chemical deodorizing, thermal deodorizing, and ozone treatment. Unfortunately, all three have serious drawbacks when dealing with cultural heritage material.

Chemical deodorizing eliminates odors through a chemical reaction occurring when the chemical fumes of the product come into contact with smoke residue. These deodorizers come in a wide range of extremely pungent fragrances designed to 'purify' air spaces ranging in size from 1,000-20,000 cubic feet. Some of these formulations are applied as a thermal fog; others are simply diffused from the source container. The long-term effects on cultural property of these proprietary formulations have not been analyzed. More broadly, however, deleterious effects from gaseous pollutants – particularly sulphur dioxide (SO_2), oxides of nitrogen (NO_x), and ozone (O_3) - have been well documented with paper, leather, textiles, dyes,

6 Spafford-Ricci, Sarah and Graham, Fiona, "The Fire at the Royal Saskatchewan Museum, Part 2: 48-49.

pigments, inks, adhesives, and photographic film.⁽⁷⁾ Introduction of gaseous chemicals for deodorizing purposes is not recommended until their long-term effects can be tested.

Thermal oxidation deodorizing is a second approach used to eliminate volatile organic compounds (VOCs) from the ambient air. Essentially, the system is an afterburner that draws workplace air through a combustion chamber where VOCs are incinerated.⁽⁸⁾ Principally used in industrial settings to deal with gaseous byproducts from petrochemicals, printing, paint, food, sewage and waste treatment, application of this technology to reduce smoke odors emanating from heritage materials has not yet, to my knowledge, been attempted.

Finally, ozone is commonly used to treat smoke odors in affected household and office objects. This treatment includes creating copious amounts of O₃ with an electric ozone generator and sequestering the smoke-damaged material in a confined space with the gas. Unfortunately, while O₃ eliminates smoke odors, in high concentrations, O₃ is both harmful to human health⁽⁹⁾ and an aggressive oxidizer known to deleteriously impact a wide range of cultural heritage materials, as noted above.⁽¹⁰⁾ Hence, despite its common use for less significant objects, O₃ should be avoided.

At present, the only safe approach to removing smoke odors from cultural material is to isolate the smoke-tainted objects in a room with an operating air purification system that contains activated carbon, zeolite, and/or potassium permanganate filtration. Continuously re-circulating filtered air past the objects will reduce smoke's lingering odor gradually over time if

7 Committee on Preservation of Historical Records, National Materials Advisory Board, *Preservation of historical records* (Washington, D.C.: National Academy Press, 1986): 11-31; Baer, Norbert S., and Banks, Paul, "Indoor air pollution: Effects on cultural and historic materials", *International journal of museum management curatorship* 4 (1985): 9-20.

8 Thermal Oxidation Deodorizing Machine, by Osaka Gas Engineering Co., LTD, recovered from the world wide web 25 May 2006: <http://www.gec.jp/CTT_DATA/AIR/AIR_5/html/Air-159.html>

9 U.S. Environmental Protection Agency, "Ozone Generators that are Sold as Air Cleaners: An Assessment of Effectiveness and Health Consequences", recovered from the world wide web 25 May 2006: <<http://www.epa.gov/iaq/pubs/ozonegen.html>>; U.S. Environmental Protection Agency, air quality criteria for ozone and other photochemical oxidants, EPA-600/8-78-004 (Research Triangle Park, North Carolina: U.S. Environmental Protection Agency, 1978).

10 Bogarty, H., Campbell, K. S., and Appel, W. D., "The oxidation of cellulose by ozone in small concentrations", *Textile research journal* 22 (1952): 81-83; Cass, Glen R., Druzik, James R., Grosjean, Daniel, Nazaroff, William W., Whitmore, Paul M., and Whittman, Cynthia L. *Protection of Works of Art From Atmospheric Ozone*, (Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 1989). Full text available at: <http://www.getty.edu/conservation/publications/pdf_publications/alpha_author.html>; Salvin, V. S., "Ozone fading of dyes," *Textile chemist and colorist* 1 (1969): 245-251. Shaver, C. L., Cass, Glen R., and Druzik, James R., "Ozone and the deterioration of works of art," *Environmental science & technology* 17 (1983): 748-752.



Record book storage vault with metal roller shelving; a temporary positive air ventilation system is set up to help with soot extraction.

© Randy Silverman

the material can be well exposed to the air flow. An inexpensive alternative is to place small amounts of material in relatively airtight enclosures (such as a large, sealed plastic garbage bag) in close proximity to large quantities of exposed baking soda. Either approach may take two to three months to work with the key being to exposure the impacted material to the absorbent media. Michael Trinkley reports: "Records which survived the 1906 San Francisco fire and are today in the [U.S.] National Archives still smell strongly of smoke – over 90 years latter."⁽¹¹⁾ a condition possibly exacerbated by the lack of air exchange.

Sevier County

In the aftermath of the Sevier County Records Office fire, a non-damaging alternative to the current cleaning options seemed desirable. Invited by the responsible commercial recovery company to serve as a consultant,⁽¹²⁾ I suggested dry ice blasting as an interesting possibility. Dry ice blasting has proven its utility in a variety of industrial applications over the past decade including dispatching paint from decorative metalwork; cleaning dirt from brick, granite, marble, onyx, or other stone materials; stripping built-up wet or dry ink from printing presses; removing fused dust from electrical turbines, generator windings, and transformers; and remediating mold from building interiors.⁽¹³⁾ Additionally, the system is portable and can be powered by an electric generator, adding significantly to its merits since the County Recorder would not permit the damaged books to leave the Records Office.

The process works by shaving solid blocks of dry ice

11 [Trinkley, Michael], Chicora Foundation, "Fire" [ca. 16 June 2003], recovered from the world wide web 24 May 2006: <<http://www.chicora.org/fire.htm>>

12 Utah Disaster Kleenup (13081 South Minuteman Drive, Draper, Utah 84020 USA; tel. (801) 553-1010; <<http://www.utdk.com/index.php>>) is the commercial firm responsible for this recovery.

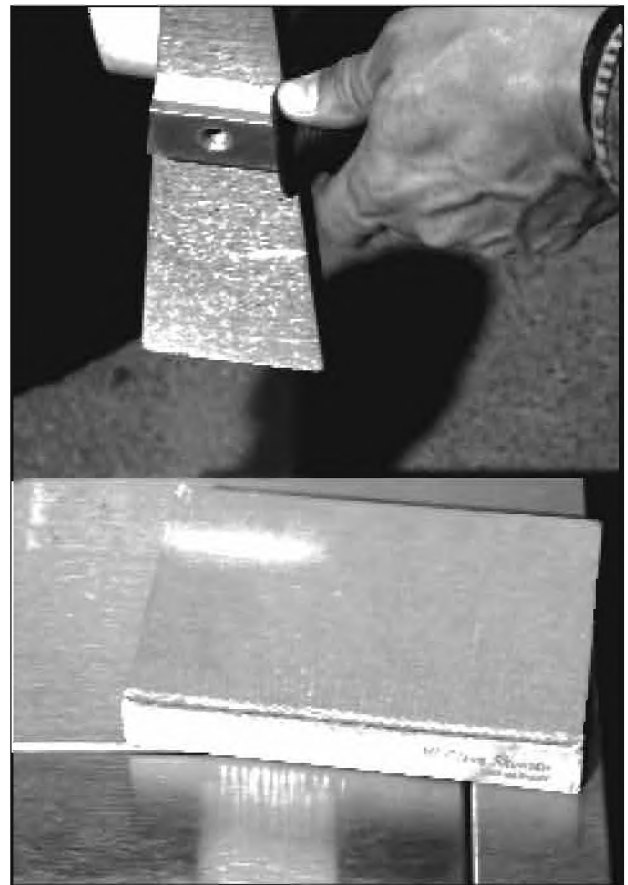
13 CO2LDSWEEP Dry Ice Blasting, brochure (n.p.; n.d. c. 2006).

(frozen CO₂) into granules ranging in size from the diameter of sugar to the shape of rice, depending upon the application. These granules are propelled in a compressed air stream of 30-300 PSI against the surface to be cleaned. Dry ice blasting is considered completely non-abrasive when used on surfaces harder than frozen CO₂, but can be used to 'antique' wooden siding by differentially abrading the softer, pithy wood and leaving the grain. Frozen CO₂ pellets emerge from the nozzle at -78°C, dramatically lowering the surface temperature of the media being cleaned and causing incremental shrinkage. This contraction occurs simultaneously as the CO₂ sublimates to its gas phase, expanding approximately 80-800 times its original size. These multiple forces – contraction due to cold, turbulence caused by rapid sublimation, and pressure from the compressed airstream – occur simultaneously. As the minute dry ice particles penetrate the interstices of the media being cleaned, the CO₂ sublimates leaving only 'dirt' as the residual byproduct.

As a preparatory step to attempting to remove the soot from Sevier County's record books using dry ice blasting, a couple of expendable modern publishers' bindings were first tested. With the dry ice crystals ground sugar-fine, the PSI set to a minimum (30 PSI), and the compressed air nozzle held far enough from the books to prevent abrasion (15-18 inches), a local applicator⁽¹⁴⁾ expertly cleaned these mock ups while I monitored the effect. The applicator played the machine's⁽¹⁵⁾ spray of CO₂ granules in a steady sweep across the bindings, his experience essential to preventing damage. The technique worked flawlessly, but we also discovered that too long a focus on one spot, or allowing too little distance between the nozzle and book's surface, could remove dye from the cloth or gold foil stamping from the cover. We also found that older, hand tooling (both hand stamping and decorative lines run with a roll) presented no problem in the cleaning, suggesting that modern titling on mass market books is far more friable than earlier handwork. Similarly, directing the dry ice nozzle directly at the edges of the text could abrade the paper surface slightly, so the situation was remedied by focusing the nozzle's aim specifically at the board edge so only the

14 This experimental work was conducted by Randell Heath, President, CO2LDSWEEP Dry Ice Blasting (3612 Quail Point Road, Mountain Green, UT 84050 USA; tel. 801-876-5432; <info@coldsweep.com>). Mr. Heath is a certified mechanical engineer, and coincidentally, was originally born in Sevier County, UT. He served as a subcontractor to Utah Disaster Kleenup at the rate of US\$ 150.00 per hour.

15 The dry ice blasting machine used was the Alpheus Precision Series TM Model T-2. This machine is quite mobile, measuring 14 in. x 22 in x 20 in (35,56 cm. x 55,88 cm. x 50,80 cm.; W x L x H) and weighing 110 lbs. (50 kg). It stores 12 lbs. (5.4 kg) of block dry ice, and produces a blast pressure range of 30 psi - 120 psi (2.1 bar - 8.3 bar).



First test sample; a late twentieth century publishers' binding. Dry ice blasting adequately cleaned surface grime but if the focus of the blast was prolonged, gold stamping and pigment from the publishers' cloth were removed.



Second test sample; cleaning results from a lightly soot damage 20th century record book covered in a protective white canvas jacket. The area of the jacket left of the number '73' and below the word 'Deed' was vacuumed with a HEPA vac; and, the area above the words 'Deed Record' was dry ice blasted.

peripheral dry ice spray played over the fore-edge, head, and tail. By firmly clamping the text closed and minimizing direct pressure to the paper edges the text was undamaged by the cleaning process.

We then compared dry ice blasting with two other forms of soot removal using actual record books; wiping down part of a book with a natural rubber sponge, and vacuuming another section with a HEPA filter. As described earlier, the rubber sponge proved

reasonably effective although it left some visible soot residue. The HEPA-vacuuming proved far less effective than the sponge, underscoring the bonding strength of the soot, even a single week after the fire. Dry ice blasting proved the most effective of the three methods and caused no detectable abrasion. In addition to removing the soot, the cleaning eliminated years of embedded hand grease as well as a piece of pressure sensitive tape along with the discolored adhesive residue beneath it. As a further test, each cleaned object was sequestered overnight in a sealed box to determine how much residual smoke odor remained. Again, dry ice blasting surpassed the two other cleaning methods.

The technique also proved to be far faster than wiping down the books using rubber sponges. The canvas-covered bindings took longer to clean than books with exposed leather, but on average, six books were dry ice blasted per hour (50 hours total). Jayrene Nielsen, the County Clerk, expressed her amazement at the end result. She claimed the books had never looked so clean. While building repairs progressed, the commercial recovery company, leery of a slight residual smoke odor, packaged the cleaned volumes for storage in boxes containing a chemical deodorizer. In direct discussion about this with the County Clerk, Ms. Nielsen agreed to remove the deodorizers from the boxes, claiming she actually preferred the smell of smoke to the noxious deodorant! She also believed the smoke odor was rapidly dissipating as the books aired out.

As with any new conservation technique, dry ice blasting will surely prove to have its limitations. Based on the excellent results at Sevier County, however, it appears the technique has great promise for addressing certain problems and should be considered as a viable option as the situation demands. Additionally, further safeguards or modifications to the approach described herein may be warranted. Great care should be exercised, for example, when testing dry ice blasting's effectiveness for removing soot from rare books, as the age and variability of the material involved might well present numerous challenges. While dry ice blasting has been successfully used for mold remediation on building surfaces, its application to removing mold from damaged bindings has yet to be investigated. Again, dry ice blasting seems to offer much promise, and additional reports and testing arising from future applications of the technology are encouraged.



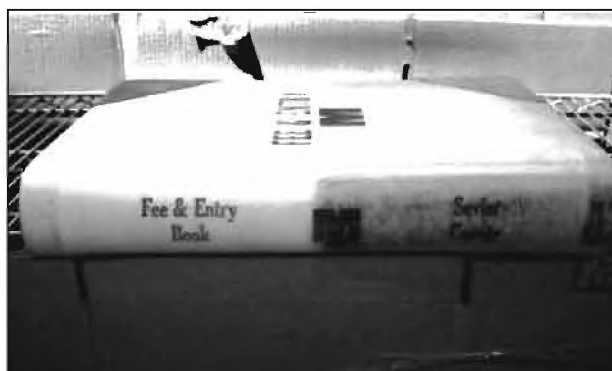
© Randy Silverman

An eighteenth century full-leather record book sitting on the Alpheus Precision Series TM Model T-2 dry ice blasting machine as it is refilled with block dry ice.



© Randy Silverman

Randell Heath, President, CO₂LDSWEEP Dry Ice Blasting, at work removing soot from a Sevier County record book.



© Randy Silverman

Before and after, "Fee Entry Book M", the top half of the book cleaned by dry ice blasting, the bottom half still covered in soot.

Uso de hielo seco para remover el hollín

El 2 de mayo de 2006, en el Servicio de archivistas del Condado de Sevier (Richfield, Utah, EE.UU.), se desató un incendio en un granero ocasionado por un chispazo de un soldador. El combustible se agotó rápidamente, por lo que el fuego se extinguió quince minutos más tarde sin causar daños a la estructura, pero cubriendo todo con una fina capa de hollín, quedando afectados los registros históricos que contenían los Archivos del Palacio de Justicia, 300 encuadernaciones en piel de los siglos XIX y XX.

El hollín es una materia extremadamente pegajosa que generalmente se elimina mediante esponjas de caucho. Este procedimiento relativamente eficaz requiere, no obstante, renovar con mucha frecuencia las esponjas que se llenan de residuos. Presenta, además, el inconveniente de acumular el hollín entre los intersticios del documento que se está limpiando. Otra técnica consiste en utilizar un filtro de partículas HEPA, pero usada sola, ésta resulta mucho menos eficaz.

El segundo problema tiene que ver con el olor residual del humo que se elimina mediante el uso de desodorantes químicos o térmicos y de tratamientos con ozono. En los dos primeros casos, los efectos a largo plazo de estos productos aún no han sido probados, por lo que no se recomienda su utilización. En lo que respecta al ozono, se trata de un oxidante agresivo que tiene efectos nocivos para los documentos que forman parte del patrimonio cultural. Además, es nocivo para la salud. Para eliminar el olor, la única técnica segura, por lo tanto, consiste en aislar los documentos afectados en una sala equipada con un sistema de purificación de aire.

Después del incendio del Servicio de archivistas del Condado de Sevier, se optó por una alternativa sin riesgo en comparación con las opciones habituales de limpieza. El método seleccionado, cuya eficacia ha sido demostrada en numerosas aplicaciones industriales durante la última década, consistió en pulverizar hielo seco carbónico sobre las obras. Los gránulos de CO₂ congelados son proyectados sobre la superficie que se va a limpiar y pasan a estado gaseoso en el momento en que penetran en los intersticios del soporte, produciendo como derivado residual únicamente sal.

Una etapa preparatoria consiste en hacer pruebas en encuadernaciones modernas de poco valor. Este procedimiento luego se comparó con los métodos que en los que se utiliza una esponja y/o un filtro HEPA, demostrando ser mucho más eficaz. Esta técnica no solamente no es abrasiva, sino que permite eliminar las trazas de sebo incrustadas años atrás. Ha permitido tratar seis libros por hora. Evidentemente, este procedimiento es nuevo y debe utilizarse con precaución, ya que su aplicación en encuadernaciones dañadas se encuentra aún en estudio. Sin embargo, luce prometedor.

Le feu et la glace : pulvériser de la glace sèche carbonique pour éliminer la suie

par Randy Silverman

Responsable de la conservation

Université de l'Utah - USA

*«Pour dire que, pour la destruction, la glace
Est également fabuleuse
Et serait efficace.»*

- Robert Frost⁽¹⁾

Introduction

Le 2 mai 2006, dans le Service des Archivistes du Comté de Sevier (Richfield, Utah, USA), le feu se déclencha au grenier à cause de l'étincelle d'une soudeuse, provoquant une explosion qui souffla le vide de comble et consuma à toute vitesse le système d'isolation en fibre de verre et recouvert de papier. Le combustible fut vite épuisé et le feu mourut 15 minutes plus tard, épargnant la structure mais recouvrant tout sous les chevrons d'une fine et poudreuse pellicule de suie.

Ce résidu carbonneux pénétra entre les tuiles et recouvrit tout dans les bureaux qui se trouvaient au-dessous, y compris les registres historiques contenant les archives du Palais de Justice, stockées à l'horizontale sur des rayonnages coulissants, dans la chambre forte. Environ 300 reliures plein cuir datant des XIX^e et XX^e siècles, dont plusieurs étaient recouvertes de jaquettes en toile blanche, furent épargnées par le feu mais imprégnées d'une couche de suie et d'une forte odeur de fumée.

Le problème

D'ordinaire, les entreprises américaines qui interviennent après une catastrophe retirent le sinistre résidu gris de suie en essuyant la couverture avec une éponge⁽²⁾ en caoutchouc chimique ou naturelle, puis en passant à l'ozone les livres pour éliminer l'odeur résiduelle de fumée. Ce procédé laisse beaucoup à désirer.

Si la surface brune et caoutchouteuse de l'éponge permet d'enlever une grande partie des fines particules chargées de charbon, elle se charge aussi rapidement de résidus. Les personnes responsables des réparations doivent constamment changer d'éponge pour nettoyer les salissures avec une surface propre et jeter les éponges usagées parce qu'elles peuvent difficilement être nettoyées. Le processus même de nettoyage fait que quelques-unes des fines particules de suie noire sont repoussées dans les interstices du document nettoyé, particulièrement quand cette surface est aussi poreuse que le tissage à découvert des jaquettes en toile.

Plus le temps passe et plus il est difficile de retirer la suie incrustée dans la mesure où les dérivés polymérisés et déhydrogénés du feu se fixent chimiquement sur leur environnement.⁽³⁾ Le frottement que l'on produit en nettoyant fait aussi que des morceaux de la partie en caoutchouc souple de l'éponge migrent sur la surface du livre, un résidu instable en remplaçant un autre.⁽⁴⁾ Enfin, le fait d'exposer à l'ozone des livres « nettoyés » pour atténuer l'odeur résiduelle de fumée les détériore davantage. L'ozone est un oxydant puissant qui attaque le papier, le tissu, le cuir et les adhésifs en même temps qu'il détruit les composants organiques de la fumée, contrepartie particulièrement néfaste pour des ouvrages ayant une importance historique considérable et dont la loi stipule qu'ils doivent être conservés pour l'éternité.

En bref, la suie est une matière extrêmement tenace. Contrairement à la poussière, c'est un résidu à la fois solide et liquide, composé de charbon en suspension dans une base huileuse de dérivés de combustion en partie consommés. Le charbon à l'intérieur de ces goutte-

1 Frost, Robert, "Fire and Ice," Collected poems, prose, and plays (New York: Library of America, 1995): 204.

Traduction publiée sur le site du CRSNG (www.crsng.gc.ca)

2 Principale ressource pour les éponges naturelles en caoutchouc (stock #60142) : Quality Rubber Co, 415 Metallic Lane, Sedalia, MO 65301, USA. Tel. 660-826-4641; toll free, 800 597-9947.

3 A propos des problèmes de suie persistante sur des documents appartenant au patrimoine culturel, voir : Roberts, Barbara, et al. "An Account of the Conservation and Preservation Procedures Following a Fire at the Huntington Library and Art Gallery", *Journal of the American Institute for Conservation* 27:1 (Spring 1988):1-31; Spafford-Ricci, Sarah, and Graham, Fiona, "The Fire at the Royal Saskatchewan Museum, Part 1: Salvage, Initial Response, and the Implications for Disaster Planning", *Journal of the American Institute for Conservation* 39, n° 1, (Spring, 2000): 15-35, and, Spafford-Ricci, Sarah, and Graham, Fiona, "The Fire at the Royal Saskatchewan Museum, Part 2: Removal of Soot from Artifacts and Recovery of the Building", *Journal of the American Institute for Conservation* 39, no 1, (Spring, 2000): 36-56.

4 Voir : Moffatt, E., "Analysis of 'chemical sponges' used by the commercial fire cleanup industry to remove soot from various surfaces", *IIC-CC (International Institute for Conservation - Canadian Group)* 17/3 (1991): 9-10.

lettes de goudron est tellement fin (1 micron de diamètre ou approximativement 1/50 de l'épaisseur d'un cheveu) qu'il est facilement dispersé par « la pression et la poussée provoquées par la chaleur du feu » et les conditions aérodynamiques telles que « l'action des étagères, la pression du vent, la géométrie du bâtiment et ses obstacles (murs et sols par exemple) et les systèmes de ventilation ».⁽⁵⁾ La suie fine et poudreuse recouvre toute surface exposée, pénétrant même les plus minuscules fissures et creux, incrustant le charbon grâce à des morceaux de goudron huileux là où elle se pose. Essayer de l'enlever en l'essuyant, même avec un outil absorbant et épais comme l'éponge en caoutchouc naturelle mentionnée plus haut, étale inévitablement toute la suie qui n'est pas retenue par l'éponge, comprime et incruste ainsi davantage dans la surface les minuscules particules graisseuses et les rend plus difficiles à éliminer. En vieillissant, la suie se fond chimiquement avec le document avec lequel elle est en contact, un nettoyage immédiat étant la meilleure solution.

Il peut être utile d'aspirer avec un filtre à particules extrêmement puissant (HEPA) parallèlement à un essuyage manuel, mais utilisée seule, cette technique est en fait moins efficace que d'essuyer avec un matériau absorbant. En 1997, lors de l'incendie du musée de Saskatchewan (Canada) par exemple, le protocole utilisé pour nettoyer la suie consistait, selon le rapport de Spafford-Ricci et Graham, à aspirer au préalable la reliure du livre, puis à aspirer ensuite séparément le corps de l'ouvrage. On a pris soin de ne pas toucher la surface des livres avec l'embout parce que ce contact aurait repoussé la suie dans les parties tissées de la reliure. Après aspiration, la deuxième phase de ce nettoyage consistait à essuyer de façon mécanique la surface du livre avec des éponges en caoutchouc ou des chiffons Webril (un tampon en feutre, non tissé, 100% coton, généralement utilisé pour le nettoyage non abrasif des plaques d'imprimerie).⁽⁶⁾

L'autre problème épineux consiste à éliminer sur les objets l'odeur résiduelle de fumée après avoir retiré la suie. A présent, on ne vaporise plus simplement des senteurs parfumées pour masquer l'odeur ; trois procédés prédominent dans les entreprises qui interviennent après un incendie : l'utilisation de désodorisants chimiques, de désodorisants thermiques et le traitement à l'ozone. Malheureusement, ces trois procédés présentent de sérieux inconvénients lorsqu'on traite des documents appartenant au patrimoine culturel.

Le désodorisant chimique élimine les odeurs grâce à une réaction qui survient quand les émanations du produit entrent en contact avec le résidu de fumée. Ces désodorisants appartiennent à une vaste gamme de parfums extrêmement agressifs conçus pour « purifier » des surfaces qui vont de 28 à 560 m³. Certains de ces produits sont utilisés comme brouillard thermique ; d'autres sont simplement diffusés à partir d'un contenant. Les effets à long terme sur le patrimoine culturel de ces produits de marque déposée n'ont pas été analysés. D'un point de vue plus général cependant, les effets nuisibles de polluants gazeux (particulièrement de l'anhydride sulfureux -SO₂-, d'oxydes d'azote -NO_x- et d'ozone -O₃-) ont bien été observés sur le papier, le cuir, les textiles, les teintures, les pigments, les encres, les adhésifs et le film photographique.⁽⁷⁾ L'introduction de produits chimiques gazeux pour désodoriser n'est pas recommandée tant que leurs effets à long terme n'ont pas pu être testés.

La seconde approche consiste à utiliser un désodorisant à oxydation thermique pour éliminer les composés volatiles organiques (VOCs) de l'air ambiant. Pour l'essentiel, c'est un système de post-combustion qui draine l'air de l'espace de travail dans une chambre de combustion où les VOC sont brûlés.⁽⁸⁾ Principalement utilisée dans un environnement industriel pour traiter les dérivés gazeux de l'industrie pétrochimique, de l'imprimerie, des industries de la peinture, de l'alimentation, de traitement des eaux usées, l'application de cette technologie pour atténuer les odeurs de fumée émanant de documents patrimoniaux n'a pas, à ma connaissance, été tentée.

Enfin, l'ozone est couramment utilisé pour traiter les odeurs de fumée sur les objets endommagés, dans un environnement domestique et administratif. Ce traitement implique de fabriquer d'importantes quantités d'ozone avec un générateur électrique d'ozone et d'enfermer le document endommagé par la fumée dans un espace clos avec le gaz. Malheureusement, si l'ozone élimine les odeurs de fumée, à de fortes concentrations, il est nocif pour la santé ;⁽⁹⁾ c'est

5 McKinnon, Gordon P. and Keith Tower (eds.), *Fire protection handbook*, 14th ed. (Boston: National Fire Protection Association, 1976): 2-19; 2-27.

6 Spafford-Ricci, Sarah and Graham, Fiona, "The Fire at the Royal Saskatchewan Museum, Part 2: 48-49.

7 Committee on Preservation of Historical Records, National Materials Advisory Board, *Preservation of historical records* (Washington, D.C.: National Academy Press, 1986):11-31; Baer, Norbert S., and Banks, Paul, "Indoor air pollution: Effects on cultural and historic materials", *International journal of museum management curatorship* 4 (1985): 9-20.

8 Thermal Oxidation Deodorizing Machine, by Osaka Gas Engineering Co., LTD, consulté sur Internet le 25 mai 2006 : <http://www.gec.jp/CTT_DATA/AIR/AIR_5/html/Air-159.html>

9 U.S. Environmental Protection Agency, "Ozone Generators that are Sold as Air Cleaners: An Assessment of Effectiveness and Health Consequences" consulté sur Internet le 25 mai 2006 :

<<http://www.epa.gov/oaq/pubs/ozonegen.html>>; U.S. Environmental Protection Agency, *air quality criteria for ozone and other photochemical oxidants*, EPA-600/8-78-004 (Research Triangle Park, North Carolina: U.S. Environmental Protection Agency, 1978).

également un oxydant agressif connu pour ses effets nuisibles sur une grande quantité de documents appartenant au patrimoine culturel, comme indiqué plus haut.¹⁰ Par conséquent, malgré l'utilisation courante qu'on en fait sur des objets de moindre valeur, il est préférable d'éviter l'ozone.

A présent, la seule technique sûre pour éliminer les odeurs de fumée sur des documents appartenant au patrimoine culturel consiste à isoler les objets touchés par la fumée dans une pièce dotée d'un système fonctionnel de purification de l'air, comprenant un équipement de filtration au charbon actif, au zéolite et/ou au permanganate de potassium. Le fait de faire circuler continuellement de l'air filtré sur les objets atténuera petit à petit l'odeur persistante de la fumée si le document peut être exposé au courant d'air. Une alternative bon marché consiste à placer des documents en petites quantités dans des conditions relativement hermétiques (telles qu'un grand sac poubelle en plastique fermé) à proximité de grandes quantités de bicarbonate de soude.

Chaque procédé peut nécessiter deux à trois mois pour fonctionner, l'essentiel étant de mettre en contact le document touché avec le matériau absorbant. Selon Michael Trinkley, « les archives qui ont survécu à l'incendie de San Francisco en 1906 et appartiennent aujourd'hui aux Archives nationales des Etats-Unis dégagent toujours une forte odeur de fumée, plus de 90 ans après »,¹¹ ce qui a pu être favorisé par l'absence de renouvellement d'air.

Le Comté de Sevier

Après l'incendie du Service des Archivistes du Comté de Sevier, il a semblé souhaitable de préférer une alternative sans risque aux options habituelles de nettoyage. Invité comme consultant¹² par l'entreprise responsable des réparations, je suggèrai la pulvérisa-

tion de glace sèche carbonique comme une éventualité intéressante. Cette méthode a montré son efficacité dans de nombreuses applications industrielles au cours des dix dernières années y compris pour enlever de la peinture sur une structure en métal décoratif ; pour nettoyer la brique, le granit, le marbre, l'onyx ou d'autres matériaux en pierre ; pour décaper l'encre humide ou sèche accumulée dans les presses d'imprimerie ; pour enlever la poussière produite par les moteurs électriques, les bobines de générateurs et les transformateurs ; et pour remédier aux moisissures à l'intérieur des bâtiments.¹³ En outre, le système est portatif et peut être alimenté par un générateur électrique, ce qui représente un avantage certain dans la mesure où l'Archiviste du Comté n'aurait pas permis que les livres endommagés quittent le service.

La méthode consiste à réduire de gros blocs de glace sèche carbonique (CO₂ gelé) en granules dont la taille va du diamètre d'un morceau de sucre à la forme d'un grain de riz, selon l'utilisation qui en sera faite. Ces granules sont projetés dans un courant d'air comprimé de 30-300 PSI (2,1 bar – 21 bar) sur la surface à nettoyer. La pulvérisation de glace sèche carbonique est considérée comme une technique parfaitement non-abrasive lorsqu'elle est utilisée sur des surfaces plus dures que le CO₂ gelé ; cela dit, elle peut être utilisée pour « vieillir » un revêtement en bois, en exerçant une action différentielle pour user la partie la plus tendre, nerveuse du bois et conserver le grain. Les boulettes gelées de CO₂ sortent de l'embout à -78°C, abaissant de façon spectaculaire, en surface, la température de l'ouvrage nettoyé et causant une contraction supplémentaire. Cette contraction survient en même temps que le CO₂ passe à l'état gazeux, se dilatant approximativement de 80 à 80 000 fois par rapport à sa taille de départ. Ces forces multiples (contraction due au froid, effervescence causée par la sublimation rapide et pression du courant d'air comprimé) agissent simultanément. Au moment où les particules de glace sèche carbonique pénètrent dans les interstices du support que l'on nettoie, le CO₂ passe à l'état gazeux, laissant seulement la « saleté » comme dérivé résiduel.

Avant d'essayer de retirer la suie sur les registres d'archives du Comté de Sevier avec de la glace sèche carbonique, l'étape préparatoire a consisté à faire des tests sur quelques reliures modernes de peu de valeur. Les cristaux de glace sèche carbonique une fois réduits à la taille d'un sucre, la PSI au minimum (30 PSI) et

10 Bogarty, H., Campbell, K. S., and Appel, W. D., "The oxidation of cellulose by ozone in small concentrations", *Textile research journal* 22 (1952): 81-83; Cass, Glen R., Druzik, James R., Grosjean, Daniel, Nazaroff, William W., Whitmore, Paul M., and Whittman, Cynthia L. *Protection of Works of Art From Atmospheric Ozone*, (Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 1989). Intégralité du texte consultable sur <http://www.getty.edu/conservation/publications/pdf_publications/alpha_author.html>; Salvin, V. S., "Ozone fading of dyes", *Textile chemist and colorist* 1 (1969): 245-251. Shaver, C. L., Cass, Glen R., and Druzik, James R., "Ozone and the deterioration of works of art", *Environmental science & technology* 17 (1983): 748-752.

11 [Trinkley, Michael], Chicora Foundation, "Fire" [ca. 16 June 2003], consulté sur Internet le 24 mai 2006 : <<http://www.chicora.org/fire.htm>>

12 Utah Disaster Kleenup (13081 South Minuteman Drive, Draper, Utah 84020 USA; tel. (801) 553-1010; <<http://www.utdk.com/index.php>>) est l'entreprise responsable des réparations.

13 CO2LDSWEEP Dry Ice Blasting, brochure (n.p.; n.d. c. 2006).

l'embout d'air comprimé maintenu assez loin des livres pour empêcher l'abrasion (38-48 cm), le technicien⁽¹⁴⁾ chargé des opérations sur place nettoyait de façon experte ces « cobayes » pendant que je contrôlais le résultat. Le technicien pulvérisait⁽¹⁵⁾ les granules de CO₂ selon un mouvement régulier sur les reliures, son expérience étant indispensable pour empêcher les dégâts. Le processus a parfaitement fonctionné mais nous avons également constaté que si l'on s'attardait trop longtemps sur un point ou si l'embout était trop proche de la surface du livre, cela pouvait attaquer la teinture du tissu ou la dorure qui se trouvaient sur la couverture. Nous avons par ailleurs réalisé que les techniques artisanales plus anciennes (impression manuelle et application au rouleau d'éléments décoratifs) ne présentaient pas de problème de nettoyage, ce qui laisse supposer que la fabrication actuelle de pages de titres sur le marché de la librairie de masse est beaucoup moins fiable que les techniques artisanales plus anciennes. De même, le fait de diriger l'embout directement sur la tranche pouvait érafler légèrement la surface du papier ; on a remédié à la situation en orientant plus particulièrement l'embout sur le champ si bien que le jet ne touchait que la gouttière, la tête et la queue.

En maintenant fermement l'ouvrage fermé et en minimisant la pression directe sur les plats, le texte n'était pas endommagé par le nettoyage.

Nous avons ensuite comparé ce procédé avec deux autres moyens de nettoyer la suie, en utilisant des livres d'archives actuels ; nous avons essuyé une partie du livre avec une éponge en caoutchouc naturelle et aspiré une autre partie avec un filtre HEPA. Comme nous l'avons montré plus haut, l'éponge en caoutchouc s'est révélée relativement efficace bien qu'elle ait laissé des résidus visibles de suie. L'aspiration s'est révélée beaucoup moins efficace que l'éponge ; elle a mis en évidence la puissance d'adhérence de la suie, seulement une semaine après l'incendie. La pulvérisation de glace sèche carbonique s'est révélée la plus

efficace des trois méthodes et n'a pas provoqué d'éraflures visibles. Non seulement le nettoyage a permis d'enlever la suie mais il a aussi éliminé les traces de sebum incrustées depuis des années, ainsi qu'un morceau d'adhésif sous lequel se trouvaient des restes de collant décoloré. Pour faire un dernier test, chaque objet nettoyé a été enfermé pendant la nuit dans une boîte pour déterminer ce qui demeurerait de l'odeur résiduelle de fumée. Là encore, la pulvérisation de glace sèche carbonique a dépassé les deux autres méthodes.

La technique s'est également révélée beaucoup plus rapide que si l'on avait essuyé les livres avec des éponges en caoutchouc. Il a fallu plus de temps pour nettoyer les reliures en toile que les livres recouverts de cuir mais, en moyenne, on a traité six livres par heure (50 heures au total). Jayrene Nielsen, le sous-préfet, a exprimé sa surprise à la fin des opérations. Elle a assuré que les livres n'avaient jamais paru aussi propres. Tandis que les réparations avançaient, l'entreprise chargée des opérations, suspectant une légère odeur résiduelle de fumée, enveloppa les ouvrages nettoyés pour être rangés, dans des boîtes contenant un désodorisant chimique. J'en discutai directement avec Madame Nielsen à la suite de quoi elle accepta de retirer les désodorisants des boîtes, assurant qu'elle préférerait en effet l'odeur de fumée au désodorisant nocif ! Elle pensait aussi que l'odeur de fumée se dissiperait rapidement en laissant les livres à l'air libre.

Comme toute nouvelle technique de conservation, la pulvérisation de glace sèche carbonique montrera sûrement ses limites. Néanmoins, si l'on considère les excellents résultats observés dans le Comté de Sevier, il semble que la technique soit prometteuse pour régler certains problèmes et doit être considérée comme une option fiable si la situation le justifie. Néanmoins, il convient de rester prudent quant à la technique décrite ici. Il faut être très vigilant par exemple lorsqu'on teste l'efficacité de ce procédé pour enlever la suie sur des livres rares, dans la mesure où l'âge et la différence de matériaux peuvent poser de nombreux problèmes. Si la pulvérisation de glace sèche carbonique s'est révélée efficace pour remédier aux moisissures sur des surfaces de bâtiments, son application sur des reliures endommagées est encore à l'étude. Une fois encore, la pulvérisation de glace sèche carbonique semble être pleine de promesses. On ne peut donc qu'encourager les rapports et les tests qui pourraient être faits après de futures applications de cette technologie.

14 Ce travail expérimental a été mené par Randell Heath, Président, CO2LDSWEEP Dry Ice Blasting (3612 Quail Point Road, Mountain Green, UT 84050 USA; tel. 801-876-5432; <info@coldswEEP.com>). M. Heath est un ingénieur mécanicien assermenté, originaire du Comté de Sevier. Il a été engagé comme sous-traitant au tarif de 150.00 US\$ de l'heure.

15 Le système utilisé pour pulvériser de la glace sèche carbonique est le suivant : Alpheus Precision Series™ Model T-2. Cette machine est assez maniable ; elle mesure 35,56 cm. x 55,88 cm. x 50,80 cm. (profondeur x longueur x hauteur) et pèse 50 kilos. Elle peut contenir 5.4 kilos de glace sèche carbonique compacte et produit un champ de pression de 2.1 à 8.3 bar.