

# De la chimie des matériaux à l'alchimie des équipes

*Conservatrice générale du patrimoine, directrice du Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques, ministère de la Culture et de la Communication*

Parmi les sciences du patrimoine qui constituent aujourd'hui un domaine scientifique riche et varié, aux contours cependant mouvants, la chimie occupe une place importante, notamment pour l'approche des objets patrimoniaux dans leur matérialité. Elle est fortement sollicitée pour la compréhension, la conservation et la restauration, tout particulièrement aujourd'hui dans le contexte du changement climatique et des enjeux de la conservation verte qui s'efforce de respecter l'environnement et le vivant.

Les usages de cette science au service des œuvres d'art et de leur restauration s'inscrivent

dans un mouvement historique qui commence avec la révolution scientifique de la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, les découvertes de Lavoisier, les premiers essais de nomenclature moderne, avec la naissance de la chimie élémentaire, développée au XIX<sup>e</sup> siècle par Alexis Mendeleïev dont la table sert toujours de point d'appui, bref avec ce qu'Alexandre Koyré appelait la « synthèse newtonienne ». Lorsque les académies et les chercheurs de ce XVIII<sup>e</sup> siècle se passionnent pour la redécouverte des techniques antiques comme celles de la peinture à la cire, et que la chimie devient un auxiliaire de la création et de la

restauration des œuvres, on peut dire que la voie s'ouvre à ces applications de la science à l'art. Ce mouvement rend possible une approche matérielle des œuvres, préparée par les antiquaires de cette époque et renforcée par le « *connaisseurship* ». C'est cette approche qui prévaut encore aujourd'hui et qui a prévalu lors de la création des groupes de travail, évoquée par Pascal Liévaux dans sa communication. Jean Chaptal, avec la *Chimie appliquée aux arts* en 1807, qui tente d'établir des principes généraux à l'usage des artistes et des manufacturiers, et Louis Pasteur, plus connu du grand public pour ses travaux sur la rage, lequel devient en 1860 le premier titulaire de la chaire de physique-chimie appliquée aux Beaux-arts, sont autant de jalons sur ce parcours. La formation médicale initiale de nombre de ces chercheurs, l'impulsion qu'ils ont ainsi donnée aux laboratoires de recherche, se traduit encore, chez leurs successeurs, par l'omniprésence d'un vocabulaire médical, présent par ailleurs dès le XVIII<sup>e</sup> siècle, pour évoquer ce nouveau regard porté sur les œuvres. Et la restauration de Notre-Dame dans ce grand mouvement qui a porté tant de chercheurs à son chevet, est un acte de *réparation*, parfois chirurgical, à la fois matériel et symbolique.

Si donc le titre de cette communication pouvait sembler plaisant, jouant sur les mots et confondant matériaux et humains, chimie et alchimie, ce jeu de mots n'est pas tout à fait innocent. L'incendie de Notre-Dame convoque un

des éléments essentiels de la pensée alchimique : le feu. La cathédrale a subi l'épreuve des flammes et de la combustion, réaction chimique complexe, peut-être LA réaction chimique par excellence, une des forces transformatrices de la matière, la plus puissante, en mal mais également en bien. C'est aussi une puissance symbolique ; certaines des interprétations de l'événement ont été parfois inspirées par une des dimensions mythiques du feu, celle du ciel qui s'abat, frappe et punit.

On retrouve donc, dans l'incendie du 15 avril 2019, certains des éléments fondamentaux de la pensée alchimique : le feu, le plomb, qui a fondu mais ne s'est pas transformé en or, quoique l'on puisse s'interroger à ce sujet, si l'on pense à la générosité des donateurs mais aussi aux sommes investies pour favoriser la recherche par le CNRS et le ministère de la Culture. Toute plaisanterie mise à part, rappelons quelques faits et éléments : chimie et physique sont partout dans les études en vue de la restauration de Notre-Dame et dans les projets de recherche qui se bâtissent pour et à partir de Notre-Dame. Je n'esquisserai ici que quelques pistes complétées par les interventions particulières.

Le feu a provoqué de nombreuses altérations chimiques des matériaux en présence, accompagnées bien sûr d'altérations physiques et mécaniques, comme le montrent les changements d'aspects et de couleurs de la pierre sur laquelle des phénomènes de rubéfaction ont entraîné des modifications de couleurs parfois importantes (*figure 1*).



Figure 1

Pierres altérées et rubéfiées lors de l'incendie de Notre-Dame de Paris.

L'incendie a provoqué la perte de la couverture en plomb de Notre-Dame, ce métal fondant à 360 °C, d'où d'importantes coulures et concrétions spectaculaires de ce matériau à travers les trous de boulins (*figure 2*), mais aussi sa transformation en oxydes. Sous forme de microbilles transportées par les fumées (*figure 3*), ces derniers se sont déposés sur tout l'intérieur de l'édifice et doivent être enlevés pour que soit rendue aux fidèles et au public une cathédrale saine et propre. Ces microbilles sont souvent venues s'ajouter à des plombs plus anciens, dus à la pollution automobile, ou à

la saleté produite par l'activité au sein de la cathédrale, ou encore parfois à des peintures au plomb, usées, supprimées et grattées mais qui restent dans l'édifice à l'état de traces. Le traitement des peintures murales qui sera évoqué dans sa double dimension technique et scientifique montrera le gain important de luminosité et de clarté qui en découlera. Il en va de même des vitraux qui feront l'objet d'une campagne de nettoyage, sinon de restauration.

Ce nettoyage implique aussi bien le métal des grilles que le bois du mobilier liturgique, les peintures murales que les



Figure 2

*Coulures de plomb à travers les trous de boulins après l'incendie.*



Figure 3

*Microbille plombifère collectée sur la console de l'orgue après l'incendie de la cathédrale Notre-Dame. Sa morphologie témoigne de son origine : l'exposition à de fortes chaleurs entraîne la formation de particules sphériques en raison de la tension de surface appliquée sur le métal fondu (© LRMH © Godet).*

vitraux où la pierre doit respecter le matériau patrimonial original. Comprendre les interactions entre le plomb, sous ce format post-incendie, et ces différentes matières a été au cœur des protocoles de nettoyage mais aussi d'une étude menée à l'heure actuelle avec le Domaine d'intérêt majeur d'Île-de-France. Une autre étude en cours avec le LEESU (Laboratoire Eau, Environnement et Système

Urbain de l'École des Ponts Paris-Tech), s'intéresse à la lixiviation du plomb – autrement dit son lessivage – pour mieux évaluer les risques que cela représente. Dans certains cas, par ailleurs, ce plomb a fusionné avec la pierre créant quasiment un nouveau matériau, grâce à la pseudomorphose, étrange phénomène étudié par Véronique Vergès-Belmin (*figure 4*).



Figure 4

Phénomène d'altération de la pierre et du plomb sous l'effet de la chaleur appelé pseudomorphose. © LRMH © Véronique Vergès-Belmin.

L'eau utilisée par les pompiers n'a pas moins altéré matières et édifice, en véhiculant différents matériaux à l'état de solutions, de même que celle, venue du ciel, qui a continué de pénétrer dans la cathédrale, altérant pierres, mortiers et autres matériaux, tant que l'échafaudage initial, tordu et soudé par l'incendie n'a pas été enlevé (*figure 5*). Lors des

nettoyages, il convient par conséquent d'éviter une surenchère de réactions chimiques, par des apports de sels, par exemple, à des matériaux qui, par l'eau et le feu, ont déjà été mis à mal. Le choix des compresses et des gels de nettoyage est donc très important (*figure 6*).

Les scientifiques qui se sont portés au chevet de l'édifice

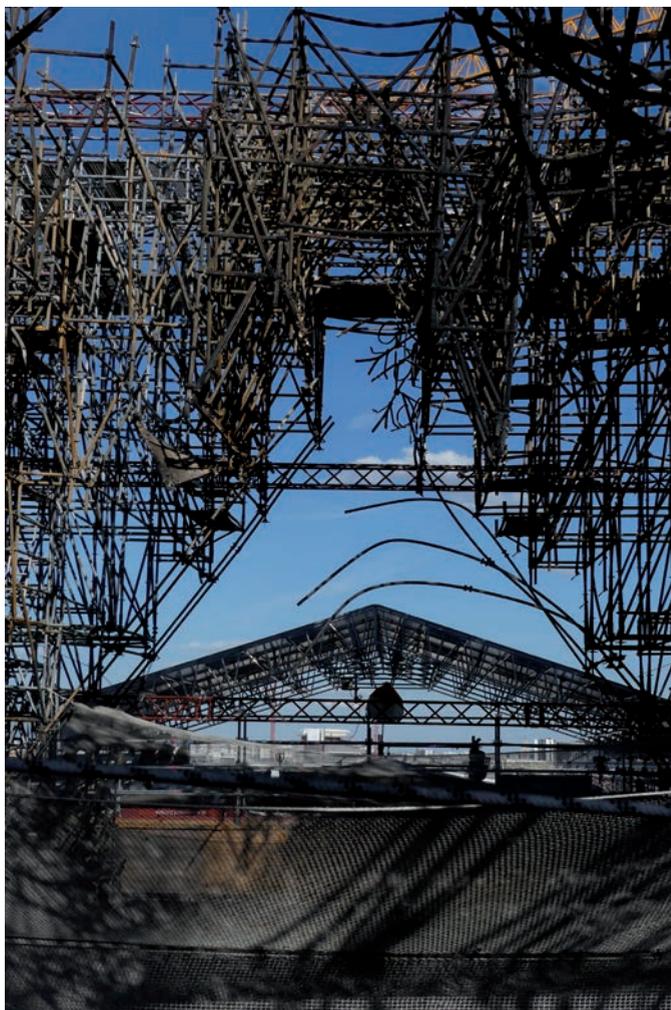


Figure 5

Vue de l'ancien échafaudage avant démontage. © LRMH.

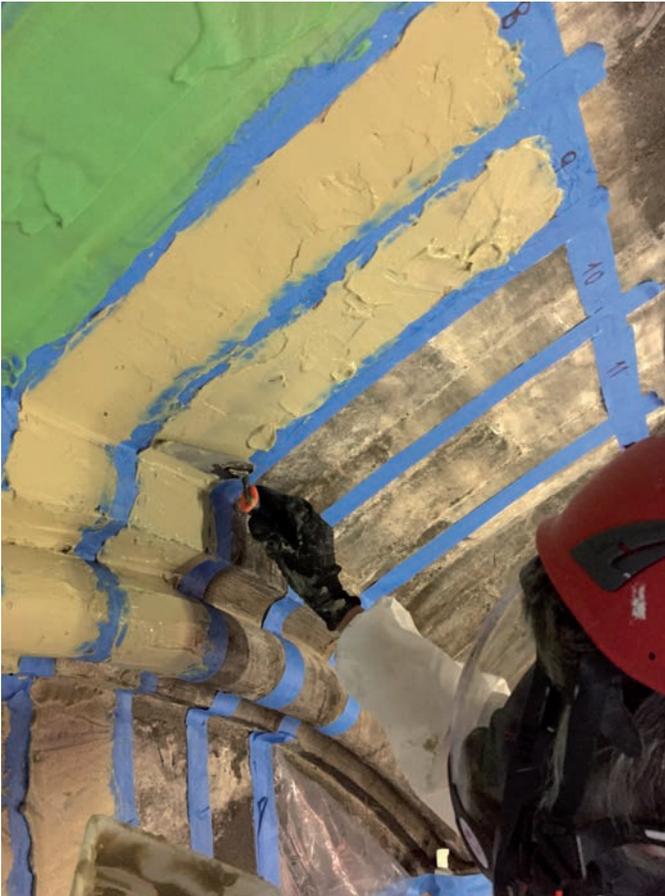


Figure 6

*Essais d'application de différents types de compresses afin de décontaminer et nettoyer les murs intérieurs de la cathédrale. © LRMH.*

se sont ainsi trouvés confrontés à des altérations de nature diverse. C'est pourquoi Notre-Dame a vu se développer, au sein des neuf groupes évoqués en introduction, des recherches liées à la formation des sels, aux modifications de la pierre sous l'action du feu ; l'analyse des mortiers et de leur composition relève à la fois du constat d'état sur la cathédrale, de l'histoire des techniques constructives, et des matériaux du bâti, mais

aussi des questions liées à la restauration et à la sécurité. Ces mortiers appartiennent au passé mais engagent l'avenir. Les bois calcinés de Notre-Dame constituent à certains égards une manne pour les chercheurs (figure 7). On peut souligner au passage l'importance de la documentation matérielle : lors d'une campagne menée dans les années 1990 par l'équipe de Georges-Noël Lambert, les carottes



Figure 7

Bois calcinés à des degrés divers issus des charpentes de Notre-Dame.  
© LRMH.

dendrochronologiques réalisées à cette occasion ont été déposées à Bribacte et vont pouvoir être analysées et comparées à celles qui vont être faites sur les poutres calcinées et nouvellement tombées, afin de constituer un vaste tableau de l'opération. Des études isotopiques sont également prévues, permettant de comprendre d'où viennent les chênes, de connaître le climat dans lequel ils ont poussé ou les conditions de leur sylvi-culture.

Le métal n'est pas en reste. L'incendie a transformé la cathédrale en une sorte d'écorchée, faisant apparaître de nombreux éléments structurels (figure 8). C'est le cas des agrafes de Notre-Dame dissimulées jusqu'alors dans les murs bahuts et qui font l'objet d'une étude métallographique. Celle-ci confirme

une pose médiévale précoce dont parlera plus précisément Maxime L'Héritier. Dans le même domaine, l'analyse des produits de corrosion métallique liés à l'incendie – en étudiant grâce au Raman la présence d'hématite qui n'apparaît qu'à très haute température – peut donner des indications sur les températures atteintes dans la cathédrale (figure 9). L'étude des plombs de scellement, ceux des agrafes des murs bahuts ou des fenêtres hautes du chœur, en fait près de 400 plombs de construction de Notre-Dame au total, permet aussi d'affiner les datations en mettant en évidence différents groupes de composition, en signant des phases de pose distinctes et en permettant de mieux comprendre l'évolution des sources d'approvisionnement et les mélanges de



Figure 8

Réapparition de nombreux fers de scellements, chaînages etc. dans les murs de Notre-Dame à l'issue de l'incendie. © LRMH.



Figure 9

Fers corrodés de Notre-Dame. © LRMH © Aurélia Azéma.

matières, notamment le recyclage des couvertures.

Les différents intervenants de ce colloque vont développer ces points et enrichir ce survol introductif. Il est bien sûr regrettable qu'il ait fallu l'épreuve du feu et ce creuset

douloureux pour que toutes ces bonnes volontés s'associent de façon tout-à-fait unique et originale afin de mieux comprendre et œuvrer à la restauration de Notre-Dame : mais c'est aussi ça l'alchimie...