

Chimie et préhistoire : une vieille histoire nouvelle

Philippe Walter* docteur ès sciences

Chimie et préhistoire entretiennent depuis plus d'un siècle des relations plus ou moins étroites, souvent issues de coups de cœur de certains chimistes isolés pour l'art ou l'archéologie. Je voudrais dans ce court article souligner certaines relations entre les deux disciplines, d'un point de vue historique dans un premier temps, pour montrer ensuite qu'il existe actuellement de nombreux sujets de convergence entre chimistes et archéologues.

De nombreuses approches de la préhistoire peuvent en effet trouver des moyens d'étude dans la chimie : il est ainsi possible d'utiliser certaines théories thermodynamiques pour aborder les phénomènes d'altération, d'employer certaines transformations chimiques pour dater des objets. Je ne reviendrai pas sur ces travaux souvent bien connus des scientifiques et que seule la finalité «sciences humaines» distingue de ceux qui sont orientés vers les technologies contemporaines. Par exemple, les voies d'étude de l'altération dans le cas des métaux des cuves des centrales nucléaires diffèrent peu de celles nécessaires pour interpréter l'importante corrosion de métaux (cuvrés ou ferreux) développée en quelques millénaires dans des sols archéologiques ; il en est de même pour les vernis des

tableaux anciens vis-à-vis des polymères synthétiques modernes... Je souhaite plutôt montrer un chemin plus spécifique, celui de l'étude de l'objet technique, en l'illustrant de recherches originales permises par des relations transdisciplinaires et qui ont abouti à des informations sur les procédés anciens de synthèse de matériaux.

Tout objet archéologique résulte en effet d'un savoir-faire, d'une technique de fabrication qui mêle des gestes à des processus chimiques et mécaniques ; les procédés de fabrication, les outils et les instruments qui sont mis en œuvre attestent des évolutions technologiques. En préhistoire, l'objet qui nous parvient intègre les données techniques de chaque époque et son étude précise les bases nécessaires à une meilleure compréhension des sociétés, à l'établissement d'une chronologie et à la reconstitution de la vie préhistorique. Des générations d'artisans ont ainsi trouvé, dans la nature, des formes, des motifs, des couleurs et des matériaux ; ils les ont assemblés, transformés et ils ont parfois créé des gammes de nouveaux produits. Déterminer ces matières est alors mieux comprendre une partie de l'histoire de la chimie ; reconnaître certaines recettes contribue également à retrouver les bases d'une discipline qui deviendra la chimie industrielle.

Je ne chercherai pas à montrer toutes les possibilités de recherche ; je m'intéresserai seulement à quelques exemples traitant de deux périodes-clés : 1 - les débuts de la métallurgie et les techniques employées pour préparer et fondre du cuivre ; 2 - les premières activités artistiques qui ont conduit l'homme à l'élaboration de peintures souvent sophistiquées, parfois proches de certaines de nos peintures actuelles.

La découverte des trois âges et, en particulier, l'âge du métal

Les débuts d'une discipline

Dès le début du XIXe siècle, certains archéologues, en particulier scandinaves, ont cherché à comprendre la chronologie des périodes antiques à partir des matières employées. Vers 1820, Christian J. Thomsen créa ainsi, pour classer ses collections du musée de Copenhague, le système "des trois âges" (âge de la pierre, âge du bronze ou du cuivre et âge du fer) qui est le fondement des études archéologiques modernes.

En fait, la naissance de la préhistoire remonte en France au milieu du XIXe siècle : elle est datée traditionnellement de 1859, lorsque Jacques Boucher de Perthes vit ses travaux reconnus par la communauté scientifique internationale et que fut admise la très haute antiquité de l'homme. Une discipline se crée alors avec des institutions nouvelles (le musée des antiquités nationales de Saint-Germain-en-Laye, la revue spécialisée *L'Anthropologie*, l'École d'anthropologie, etc.) et une communauté de savants très particulière, associant essentiellement des amateurs, des géologues et des paléontologues.

Les chimistes ne trouvèrent alors pas de grandes motivations pour travailler dans cette discipline de naturalistes qui cherchaient avant tout à collecter des silex et des ossements, parfois des œuvres d'art, et à créer grâce aux stratigraphies des systèmes chronologiques. Pourtant, très tôt, quelques-uns d'entre eux effectuèrent des travaux en marge de ces recherches. Je voudrais maintenant

* Laboratoire de recherche des musées de France, EP 97 du CNRS, 6, rue des Pyramides, 75041 Paris Cedex 01.
Tél. : (1) 40.20.59.89. Fax : (1) 47.03.32.46.

illustrer ce propos par certaines études sur les débuts de la métallurgie.

Marcelin Berthelot et les premières métallurgies

Fasciné par l'histoire des sciences et tout particulièrement par l'histoire de la chimie, il n'est pas surprenant de trouver chez Marcelin Berthelot (1827-1907) certains des premiers travaux sur les techniques antiques. Berthelot étudia les origines de la chimie et de l'alchimie, déchiffra d'anciens documents de toutes langues, analysa des produits découverts par les archéologues. Cet intérêt pour l'archéologie provient en fait du séjour en Égypte qu'il effectua en novembre 1869 lors du voyage officiel conduit par l'Impératrice Eugénie à l'occasion de l'inauguration du canal de Suez (figure 1). En compagnie de nombreux artistes et scientifiques tels que Balard, Jamin et Wurtz, la croisière qu'il effectua sur le Nil lui révéla l'importance des connaissances de chimie industrielle que possédaient déjà les bâtisseurs pharaoniques et cet étonnant constat fut au départ de ses ouvrages *Les origines de*

l'alchimie (1885), *Introduction à la chimie des anciens* (1889), *La chimie au Moyen Age* (1893).

Ce n'était en fait pas la première fois que la révélation des techniques de l'Égypte antique était apparue à des scientifiques lors d'un voyage en Égypte. La très célèbre mission scientifique de Bonaparte, en 1798, avait déjà conduit d'autres chercheurs sur cette piste. Pour la chimie, citons par exemple Claude Louis Berthollet (1748-1822) qui consacra certains travaux à des *Observations sur le natron*, travail débuté en Égypte et terminé au laboratoire à Paris par l'explication de la décomposition des sels, acides et bases dans son ouvrage *Essais de statistiques chimiques* (1803).

Berthelot analysa de nombreux objets métalliques d'Égypte ou de Perse découverts en particulier par l'ingénieur des mines Jacques de Morgan, devenu archéologue. Citons, par exemple, le cas d'objets découverts dans les ruines de la ville sumérienne Lagash (actuelle Tello), qui furent caractérisés comme étant constitués de cuivre pur ou de cuivre allié à l'arsenic : une figurine votive

portant le nom du roi Goudéa (vers 2100 avant J.C.) fut fabriquée avec du cuivre pur ; un fragment de vase était en antimoine pur... Ces travaux faisaient suite aux toutes premières analyses métallurgiques effectuées par le chimiste allemand Martin Heinrich Klaproth vers 1810. Ils permirent de comprendre qu'il existait un âge du cuivre pur avant l'âge du bronze et donc que les analyses chimiques pouvaient aider à organiser chronologiquement certaines découvertes.

D'autres travaux archéologiques importants de Berthelot concernent la métallurgie antique du Sinaï (à Wadi Magharah). Des mines de cuivre et de turquoise avaient été découvertes à la fin du XIXe siècle : elles avaient été exploitées de la fin du néolithique à la fin de l'époque des Ramessides. Les habitations des mineurs et des fondeurs furent mises à jour aux côtés de galeries considérables. Berthelot chercha à déterminer les procédés mis en usage pour la réduction et l'alliage des métaux. Son examen des scories, des laitiers, des débris de fours, des fragments de creusets et

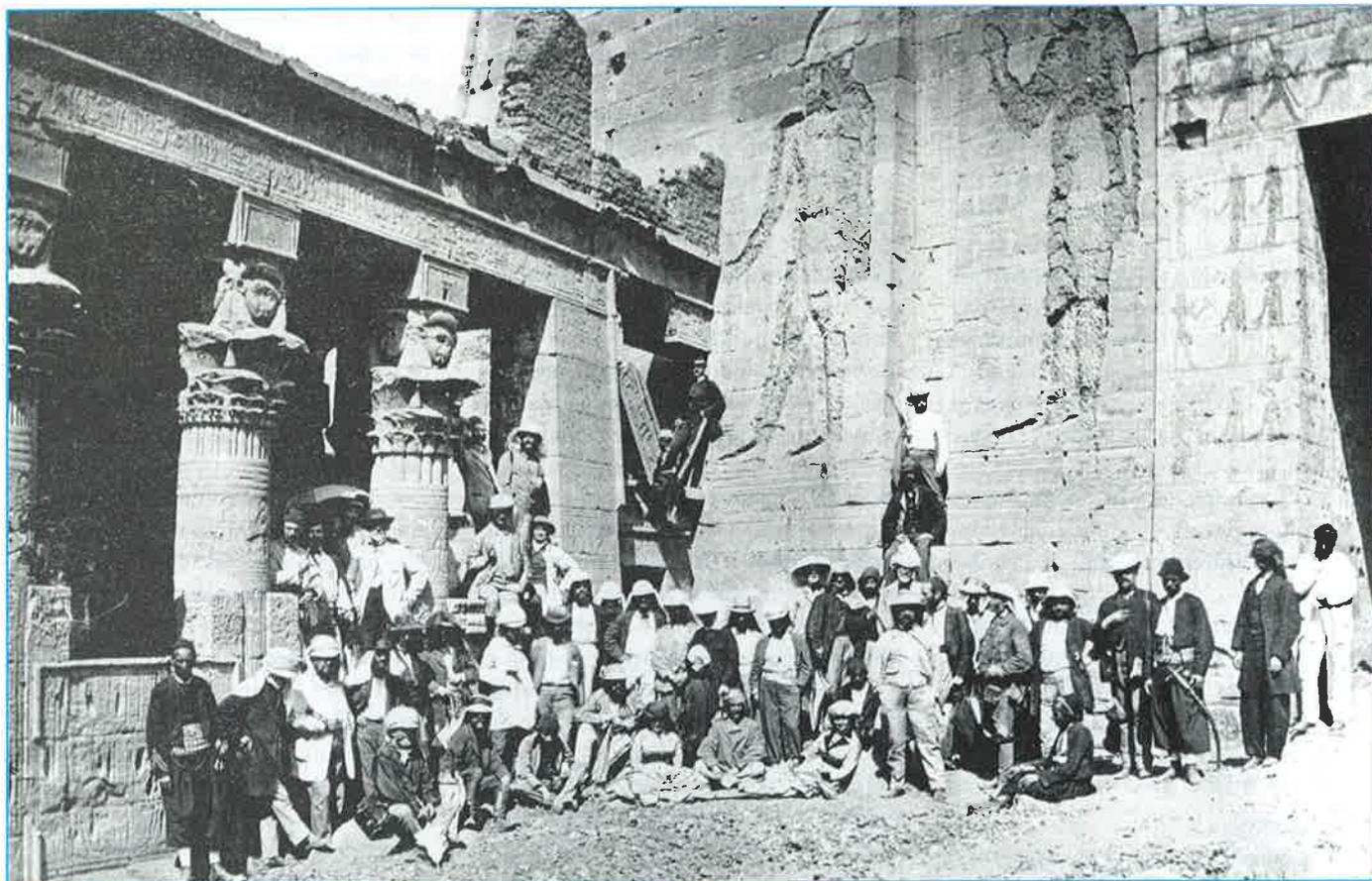


Figure 1 - M. Berthelot devant le Khédive, sur l'île de Philae, parmi les artistes et scientifiques lors du voyage en Égypte pour l'inauguration du canal de Suez (octobre-novembre 1869). Photo G. Braun (Égypte n°75) (archives départementales du Haut-Rhin 6 Fl, propriété du Musée d'Unterlinden, reproduction Christian Kempf).

d'outils de mineurs lui permit d'affirmer que «l'extraction du métal s'opérait par les méthodes qu'a suivies la métallurgie du cuivre depuis l'Antiquité jusqu'à ces derniers temps, c'est-à-dire par l'emploi du bois comme réducteur, combiné avec celui de fondants siliceux, ferrugineux et calcaires» (Berthelot, 1896).

Comprendre les activités des premiers métallurgistes

Les traces d'artisanat métallurgique concernant l'élaboration du bronze sont peu fréquentes dans la préhistoire européenne du II^e millénaire avant J.C. et les vestiges caractéristiques observés lors des fouilles sont rarement décrits et étudiés. Les importants ateliers de bronziers installés durant l'âge du bronze sur l'éperon fortifié du Fort-Harroard (commune de Sorel-Moussel, Eure-et-Loir) constituent un ensemble exceptionnel qui a fait l'objet de nombreuses fouilles et de plusieurs recherches de laboratoire.

Le Fort-Harroard présente les vestiges de nombreux ateliers : du bronze y fut fondu dans des moules afin de mettre en forme des objets bruts de coulée, des lingots, des ébauches ou des fabricats. Situés en pays calcaire, à la frontière du Bassin parisien et de la Normandie, relativement loin de toute les sources de minerais de cuivre, de plomb ou d'étain, ces ateliers d'élaboration méritent une attention particulière afin de mieux comprendre les enjeux économiques pendant la période de l'âge du bronze. Les études des outils des bronziers et des compositions élémentaires et isotopiques des métaux montrent que la métallurgie a été l'une des principales activités artisanales dès le Bronze moyen (Philippe, 1935 ; Mohen, Bailloud, 1987) et que le cuivre a essentiellement été importé du Nord-Ouest de l'Europe (Collin, 1990).

L'examen des vitrifications présentes à l'intérieur des creusets a également permis de montrer que l'élaboration de l'alliage bronze a été effectuée avec des métaux initiaux cuivre-étain-plomb séparés (Walter, 1990) : les analyses au MEB de ces vestiges et de ces scories ont indiqué la présence conjointe de nodules de bronze, de cuivre et d'oxyde d'étain (ce métal, plus oxydable que le cuivre, se présentant sous la forme de cristaux

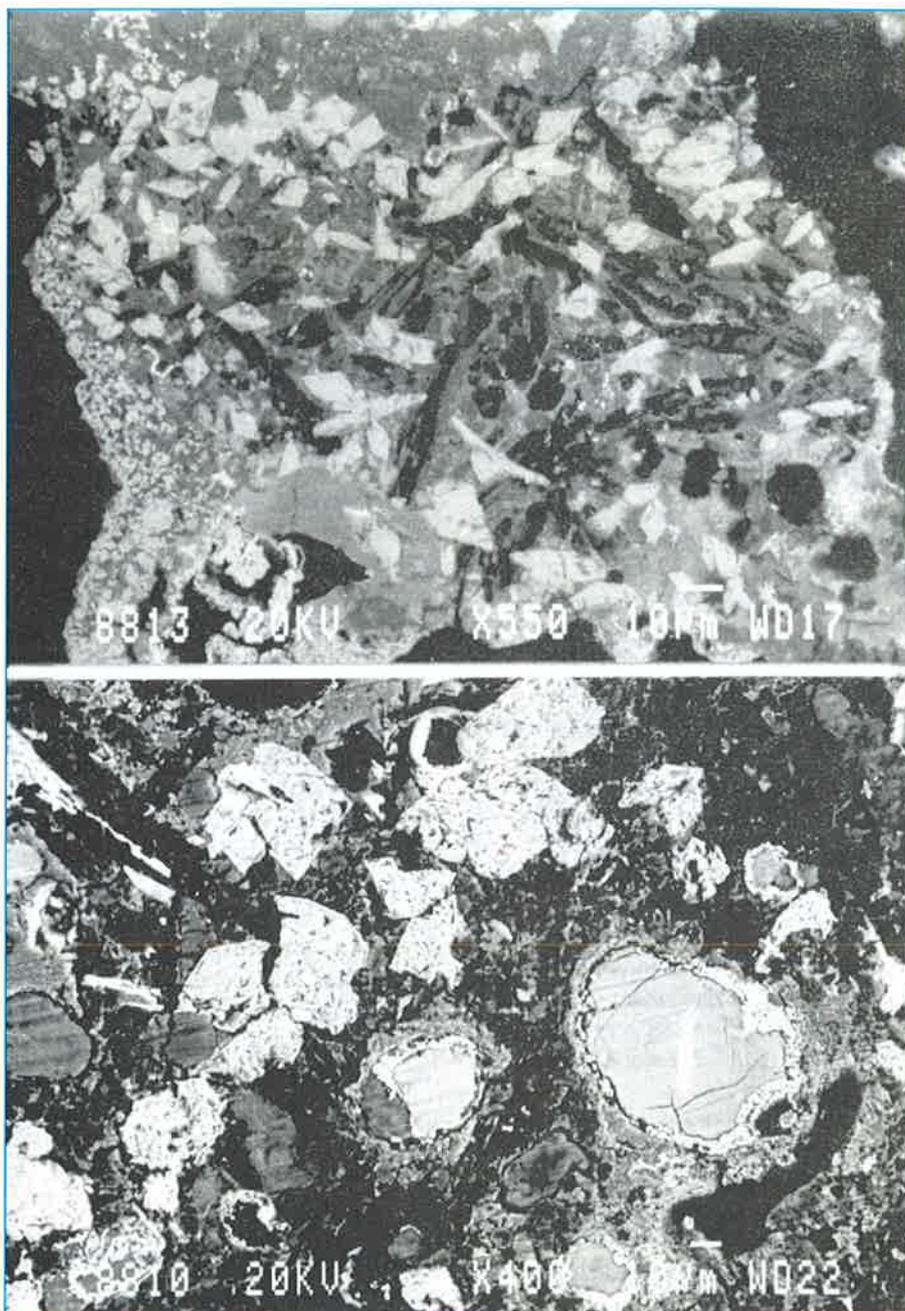


Figure 2 - Creuset du Fort-Harroard (vers 1000 avant J.C.) : microstructures métalliques contenues dans la couche vitrifiée du creuset (photographies MEB - électrons rétrodiffusés) ; en haut : nodules d'étain pris dans les vitrifications ; en bas : structures complexes de bronze, d'étain et de cuivre.

aciculaires) (figure 2). Dans certains cas, l'importante concentration en phosphore nous a indiqué que ces métallurgistes pouvaient avoir remarqué l'intérêt de la présence de cet élément permettant de limiter l'oxydation du métal et donc, d'obtenir plus rapidement un bronze fondu homogène. S'agissait-il d'une invention réfléchie ou du hasard ? Aucune trace de charbon de bois n'a été trouvée. D'autre part, des études palynologiques ont permis de démontrer la disparition des forêts à la fin de l'âge du bronze autour du site. Les métallurgistes ont donc dû rechercher un combustible

particulier. L'observation microscopique du sédiment des ateliers a indiqué la présence de très nombreux phytolithes agglomérés entre eux par fusion. Il s'agit en fait de petits grains de silice amorphe qui constituent le squelette de beaucoup d'herbacées et de céréales. Nous pensons qu'ils proviennent de bouses de vache employées comme combustible ; riches en phosphates, elles pouvaient également jouer un rôle important comme désoxydant du métal.

Les matières premières ont été importées sous forme de lingots métalliques ou peut-être de minerais dans le cas de

La grotte des Eyzies et la Société Française de Chimie

L'article de Ph. Walter détaille l'histoire de la «Grotte de la Laugerie Basse» aux Eyzies. Il montre comment, grâce à Achille Le Bel, ancien président de la Société Chimique de France, savant curieux et désintéressé, cette grotte entra, à sa mort, dans notre patrimoine par le biais d'un legs très généreux dont la SFC tire encore une partie de ses moyens - legs qui ne se limitait pas à la grotte et aux collections préhistoriques qu'elle contenait.

La gestion de la grotte par la Société Chimique de France d'abord puis par la Société Française de Chimie, qui prit sa suite après la fusion avec la Société de Chimie physique en 1985, s'était poursuivie grâce à l'intervention sur place d'un amateur éclairé de préhistoire, le docteur Jacques Leclerc, possesseur d'une grotte voisine (la «Grotte d'Enfer») et époux d'une petite fille de J. Maury, collaborateur et codécouvreur du site des Eyzies.

Cette gestion d'un site archéologique situé aux Eyzies à côté d'autres sites, certains beaucoup plus importants, n'était ni simple ni rentable, la SFC n'ayant pas la possibilité de faire évoluer une situation qui devenait difficile.

J'ai donc, en accord avec le Conseil d'administration et l'Assemblée générale, été amené à rechercher une solution conforme aux volontés d'Achille Le Bel et qui préservait l'existence de l'ensemble archéologique tout en permettant son épanouissement.

C'est dans cet esprit, qu'après environ deux ans d'études, la vente du site a été réalisée en 1992 au bénéfice de la famille Molteni, descendants de J. Maury et exploitants d'une autre grotte également située aux Eyzies, la collection proprement dite, après inventaire détaillé et évaluation, fut cédée en 1993 au Musée National de la Préhistoire qui exploite, aux Eyzies, le site archéologique national.

C'est une page de l'histoire de notre compagnie qui est ainsi tournée tout en respectant l'œuvre d'Achille Le Bel et en valorisant les intérêts de notre société.

J.-B. Donnet

ancien président de la SFC

l'étain (cassitérite SnO_2), à partir de lieux d'extraction situés à plusieurs centaines de kilomètres de distance. Fort-Harrouard jouait un rôle privilégié de centre économique nécessitant autour de lui un vaste réseau d'échange interrégional dans lequel chaque communauté importe et exporte des matières premières et des produits finis. L'artisanat métallurgique devait alors jouer un rôle économique tout à fait particulier, créateur de plus-value en vue d'échanges réalisés soit de proche en proche, soit par de lointaines et peut-être périodiques expéditions.

Ces recherches permettent ainsi de retrouver toutes les étapes de la métallurgie du bronze protohistorique dans son contexte technique, économique et sociologique. Parmi elles, la reconnaissance d'un modèle très particulier de vase montre l'invention à la fin de l'âge du bronze (vers 800 avant J.C.) d'un système qui allie le creuset à son four. Portatif, rapide à employer, ce système ne supplanta pourtant pas les techniques plus anciennes qui mettent en œuvre un petit creuset en coupelle. Cette découverte nous incite à réfléchir sur la valeur et les motivations de telles inventions techniques dans le cadre précis de la métallurgie (Mohen, Walter, 1994). L'étude plus précise des phénomènes thermodynamiques mis en jeu permettrait parfois de mieux comprendre l'évolution de ces techniques qui pour une grande part perdurent de nos jours.

L'analyse des premières œuvres d'art peintes

La reconnaissance progressive de l'art des grottes comme datant de la préhistoire s'est déroulée à la fin du XIXe siècle. De cette époque datent les premières études sur la chimie de ces peintures. Comme précédemment, je vais commenter les premiers travaux de chimistes sur l'art préhistorique pour montrer l'importance de la chimie analytique actuelle pour redécouvrir les premières recettes de fabrication de matières picturales.

Moissan, Le Bel et l'art des grottes

Ainsi, dès 1902, les découvertes en Périgord font entreprendre les premières analyses en laboratoire. Henri Moissan

(1852-1907), bientôt prix Nobel de chimie pour sa caractérisation du fluor, effectue l'analyse chimique de prélèvements effectués à Font-de-Gaume à la demande des préhistoriens Capitan et Breuil : la matière à examiner a été obtenue par un raclage de la pierre, en choisissant autant que possible des échantillons d'une teinte uniforme. *«L'une de ces poudres était de couleur foncée, d'un noir tirant sur le marron ; l'autre d'un rouge ocreux assez vif. Toutes les deux étaient insolubles dans l'eau et ne renfermaient aucune matière organique. Examinées au microscope, ces poussières étaient formées d'un grand nombre de parcelles de carbonate de chaux plus ou moins transparentes, dont la plupart possédaient un côté teint en noir ou en rouge. Avec un fort grossissement, on voyait nettement que la matière colorante était formée par l'agglomération de parcelles très petites, fortement colorées, mélangées à quelques grains brillants. Ces derniers, séparés par l'acide chlorhydrique, présentaient tous les caractères de la silice. La poudre ocreuse était formée de sesquioxyde de fer contenant une très petite quantité d'oxyde de manganèse. La poudre noire est un oxyde de manganèse impur, contenant du sesquioxyde de fer»* (Moissan 1902).

Un autre préhistorien, Émile Rivière contacte, en 1903, le chimiste pour analyser quelques échantillons prélevés sur des figures de la grotte de La Mouthe. Moissan (1903) utilise le même procédé et aboutit à des observations semblables, mais il remarque que la matière semble, dans ce cas, avoir été préparée avec beaucoup moins de soin : les grains de pigment sont plus irréguliers, mélangés avec beaucoup de grains brillants et transparents de silice.

Ces déterminations n'eurent que peu de suites et ne furent pas prises en compte par les préhistoriens. Peu d'autres tests furent tentés, mais on s'empressa de généraliser : le rouge est un oxyde de fer ; le noir est un oxyde de manganèse.

Je voudrais également signaler le rôle particulier d'Achille Le Bel (1847-1930). Ce chimiste fut préparateur de Charles Wurtz avant de monter son propre laboratoire privé avec sa fortune personnelle, héritée de l'exploitation pétrolière à Pechelbronn, en Alsace.



Figure 3 - Grotte de Niaux : peinture de bison, Salon Noir, vers 10500 avant J.C. (photo @ LRMF, Vigears).

Comme on le sait, il introduisit la notion de carbone tétraédrique et avança une théorie sur l'asymétrie du carbone dans les composés optiquement actifs.

Son attrait pour la préhistoire est lié au site de Laugerie-Basse, situé aux Eyzies de Tayac en Dordogne. Ce site est constitué de deux grandes voûtes formant abri sur plusieurs centaines de mètres de long, vingt de profondeur et environ quinze de hauteur. De nombreux archéologues y effectuèrent des fouilles et récoltèrent quantités d'objets, en particulier des œuvres d'art. En 1907, l'antiquaire suisse-allemand Otto Hauser loua Laugerie-Basse pour trois années, effectua des fouilles dont le produit fut envoyé en Allemagne. L'archéologue local J. Maury apprit, en 1912, que les abris allaient être vendus ou loués au marchand et que tout le matériel archéologique allait quitter la France. Il signala ce danger à la Société Préhistorique Française qui mit au courant Le Bel. Le chimiste loua alors la propriété, avec promesse de vente, l'acheta et fit reprendre des fouilles entre 1912 et vers 1920, essen-

tiellement dans l'abri de «Marseilles». Un abondant matériel fut découvert, avec plusieurs œuvres d'art gravées sur des os, parfois rehaussées de couleur.

«Pour la science, M. Le Bel a décidé que la partie du gisement restant intact serait conservée pour les générations futures ; de même que la coupe qui témoigne si heureusement du passage des hommes depuis les temps paléolithiques jusqu'à nos jours. Un musée situé entre les deux grands abris a été édifié et il expose le produit des fouilles classé et conservé par nous» (Maury, 1934). A la mort de Le Bel (août 1929), le site et ses collections furent donnés à la Société Chimique de France (cf. encadré) ; ce patrimoine archéologique vient d'être cédé au Musée National de la Préhistoire.

Le Bel s'intéressa plus largement à la préhistoire et il effectua en particulier des recherches concernant l'effet des périodes glaciaires sur le paysage et joua un important rôle associatif dans la Société Préhistorique Française, dont il fut président à deux reprises puis président d'honneur.

Découvrir les usages de la couleur durant la préhistoire

Il apparaît qu'à partir du paléolithique moyen, il y a environ 100 000 ans, l'homme a porté à la couleur un intérêt certain. Les premiers témoignages observés ressortissent au domaine funéraire, le mort ayant été déposé avec quelques débris de matières colorantes rouges. Dès 35 000 ans, au début du paléolithique supérieur, l'usage de la couleur se développe largement, se retrouvant dans l'art pariétal bien évidemment, mais aussi dans les habitats, lié à l'art mobilier, à la parure... Il est alors important d'étudier la couleur dans les arts et les techniques durant la préhistoire, en recherchant les manifestations où l'usage de matières colorantes a été utile que ce soit d'un point de vue culturel, technique ou esthétique. C'est aussi inventorier les jeux liés à la couleur sur le décor et les matières, que ce soit dans les arts du corps (parure et cosmétique au sens large), dans l'ornementation des objets usuels mobiliers et immobiliers et, enfin, dans la sculpture, l'architecture, la peinture.

L'analyse de minuscules prélèvements de peinture offre des informations importantes sur les techniques des artistes et, parfois, sur les étapes de réalisation des œuvres. Du point de vue technique, la recherche sur ce sujet consiste à déterminer, à partir d'observations au microscope électronique à balayage et d'analyses élémentaires, la nature des colorants, leurs provenances et leurs mises en œuvre (broyage, mélanges...) ; d'un point de vue artistique, il s'agit d'observer in situ, à l'aide de macrophotographies, les modes de dépôt et les relations entre la peinture et le dessin qui précède la répartition des tons sur les différents champs à décorer.

Par exemple, la recherche sur les peintures préhistoriques de l'Ariège a montré des évolutions techniques à la fin du paléolithique supérieur, il y a 12 à 15 000 ans, et la réalisation, dès cette époque, d'une véritable peinture à l'huile ; elle a montré également toutes les potentialités de ces études dans les domaines archéologiques : définition d'ateliers de peintres, liaison entre certains de ces ateliers et les sanctuaires décorés. L'étude de la partie minérale de minuscules prélèvements de peinture

permet de montrer que les couleurs étaient obtenues par le mélange de pigments (oxydes de fer, de manganèse ou charbon de bois) avec un minéral présent en grande quantité qui joue le rôle de charge, matériau neutre qui assure une meilleure cohésion de la matière et un pouvoir couvrant supérieur. Deux types de charges sont observés et apportent des critères chronologiques liés à de véritables écoles d'art. Ceci nous oblige à reconsidérer l'approche et l'interprétation de grands sanctuaires tels que celui de Niaux (figure 3) : le Salon Noir, vaste salle aux parois décorées, est l'aboutissement d'une conception longuement pensée et très élaborée avec, en particulier, un dessin préparatoire avant le dépôt de la peinture. Dans les cas où la paroi n'est pas polluée, l'analyse de la matière organique a montré la présence d'un liant, huile d'origine animale ou végétale suivant les cas. Des observations minutieuses directement sur les parois ornées ont fourni des arguments pour déterminer les différents modes de dépôts et les façons de peindre des artistes magdaléniens.

Cette volonté très ancienne d'élaborer des peintures complexes doit maintenant conduire à des recherches sur les propriétés physiques de tels matériaux : ces recettes n'étaient-elles pas les seules solutions pour pouvoir appliquer sur la paroi calcaire et humide d'une grotte une peinture durable ? Ne sommes-nous pas ici proche d'une technologie comparable à celle développée pour la peinture en bâtiment ou pour la peinture artistique actuelle ? De nombreux enseignements peuvent être tirés de ces procédés antiques et l'étude des phénomènes chimiques mis en œuvre dans des peintures doit contribuer à améliorer nos connaissances sur les pigments et les conditions de conservation d'un film peint sur des supports variés.

Conclusion

Les exemples que je viens de développer montrent l'efficacité de la chimie appliquée à l'archéologie, et le nouveau rôle important qu'elle peut jouer dans cette discipline, en particulier en fournissant des résultats objectifs et reproduc-

tibles qui valident des connaissances durables. Au-delà de la détermination des systèmes techniques des sociétés anciennes, les conclusions obtenues contribuent directement à la théorie archéologique : par exemple, les matières picturales utilisées par les artistes paléolithiques témoignent de connaissances importantes des magdaléniens dans le domaine des minéraux, et de relations encore peu étudiées entre l'homme et son environnement minéral.

Enfin, d'un autre point de vue, il est possible de considérer que certaines recettes antiques peuvent conduire à des procédés techniques d'aujourd'hui : l'homme a ajouté aux produits naturels toute une gamme de produits nouveaux ; l'industrie y puise encore actuellement les matières de base pour ses assemblages complexes et ses produits de synthèse. L'archéologie n'est pas qu'une affaire de sciences humaines visant à connaître l'évolution des sociétés. Elle contribue aussi à mieux comprendre l'histoire de la chimie.

Remerciements : Je tiens à remercier la Société Française de Chimie qui m'a remis le prix de la division de chimie physique fin septembre 1994 à Lyon. J'espère que cet article démontrera aux membres de la SFC l'important rôle que la chimie peut jouer dans le domaine de l'archéologie.

Pour en savoir plus

- Berthelot M., *Les origines de l'alchimie*, 1985.
- Berthelot M., *La chimie au Moyen-Age*, 1893.
- Berthelot M., Sur les mines de cuivre du Sinaï, *C. R. Acad. Sc.*, 19 août 1896.
- Berthelot M., *Introduction à la chimie des anciens*, 1889.
- Berthollet C.L., *Observations sur le natron*, 1802.
- Berthollet C.L., *Essais de statistiques chimiques*, 1803.
- Clottes J., Menu M., Walter Ph., La préparation des peintures magdaléniennes des cavernes ariégeoises. *Bull. Soc. Préh. Fr.*, 1990, 87/6, p.170-192.
- Collin V., Hurtel L.P., Mohen J.P., Pernod M., Turpin L., Étude du plomb dans les objets archéologiques. *Actes du Congrès Préhistorique de France*, Paris, nov. 1989, à paraître.

Maury J., *Les fouilles de Monsieur J.-A. Le Bel.*, Le Mans, imprimerie Monnoyer, 1934, 24 p.

Menu M., Walter Ph., Vigears D., Clottes J., Façons de peindre au Magdalénien, *Bull. Soc. Préh. Fr.*, 1993, 90, p.426-432

Mohen J.P., Bailloud G., La vie quotidienne, les fouilles du Fort-Harroard, *L'âge du Bronze en France*, 4, Ed. Picard, Paris., 1987, 242 p.

Mohen J.P., Walter P., Le four creuset : une invention inédite de l'Age du bronze européen, *Techne*, 1994, 1, p. 103-110.

Moissan H., Sur les matières colorantes des figures de la grotte de Font-de-Gaume, *Comptes rendus à l'Académie des Sciences*, 1902, n° 134, p. 1539-1540.

Moissan H., Sur une matière colorée de la grotte de la Mouthe, *C. R. Acad. Sc.*, 1903, n° 136, p. 144-146.

Philippe J., Les fondeurs de bronze au Fort-Harroard, *L'Anthropologie*, 1935, t. 45, p. 15-31.

Walter P., L'élaboration des alliages cuivreux à l'âge du bronze, *Antiquités Nationales*, 1989, 21, p. 15-21.