

expérimentateurs de l'époque décrivaient les encres, spécialement celles constituées de multiples substances, comme fonctionnant par « sympathie ». Peu à peu, le terme encre sympathique était devenu un synonyme de l'encre invisible.)

On sait aujourd'hui que dès la seconde moitié du XVII<sup>e</sup> siècle, un savant italien, Giambattista della Porta, avait écrit sur l'encre invisible. Il avait observé que certaines encres se développent à la chaleur, d'autres sous l'application de « matière glutineuse », et d'autres encore sous l'application d'une « liqueur » qui ne fonctionne qu'associée à un certain produit chimique. Cette liqueur qui nécessitait un révélateur spécifique – un réactif – était le plus sûr des procédés. Robert Boyle, le père de la chimie moderne, l'utilisait pour consigner ses secrets à la fin du XVII<sup>e</sup> siècle.

Hellot développa un système complet de classification des trois types de révélateurs communs décrits par della Porta. Il lui ajouta deux nouvelles classes de son cru. Dans la première, l'air révélait certains colorants ; la seconde rassemblait des encres qui apparaissaient et disparaissaient spontanément. Le point commun de toutes les anciennes techniques de révélation était qu'une fois la réaction produite, les écrits restaient visibles même quand on les refroidissait, contrairement à la nouvelle encre sympathique de Hellot.

Hellot testa les associations de différents minéraux et solutions pour arriver à son encre sympathique. À l'époque, un savant ne pouvait obtenir une solution de chlorure de cobalt chez un préparateur. Il devait la fabriquer. Hellot acheta le minerai à divers apothicaires locaux ou reçut des échantillons de cobalt de ses amis savants dans différents pays. Hellot fut si enchanté par la variété des couleurs possibles qu'offrait le cobalt qu'il imagina d'utiliser les encres et colorants obtenus pour peindre des paysages d'hiver qui se transformeraient en scènes printanières sous l'effet de la chaleur. L'idée fut un succès et, bientôt, les pare-feu à paysage changeant firent fureur à Paris, déclinés au XIX<sup>e</sup> siècle sous la forme de pare-feu portatifs que les dames utilisaient pour protéger leur visage de la chaleur de l'âtre.

Plus tard au XIX<sup>e</sup> siècle, les chimistes se sont aperçus que le changement de couleur associé aux composés à base de cobalt dépendait non seulement de la chaleur, mais aussi de l'humidité de l'air. Le changement du papier du bleu ou vert au rose indique une

forte humidité. Cette découverte conduisit à la création de poupées et d'arrangements floraux doublés d'indicateurs météorologiques. Les robes des poupées et les pétales des fleurs étaient imprégnés de chlorure de cobalt, de sorte qu'ils viraient du bleu au rose lorsque l'humidité, donc le risque de pluie, augmentait. Ces objets étaient souvent pris à tort pour des baromètres, puisqu'ils indiquaient l'humidité et non la pression atmosphérique.

Le mécanisme à l'origine du phénomène, cependant, resta longtemps une énigme. À l'époque de Hellot, nombre de chimistes renommés, tel le Français Pierre-Joseph Macquer, avaient décrit et promu l'encre sympathique de Hellot dans de nouveaux dictionnaires et des manuels de chimie. Par ce biais, les encres étaient devenues un sujet d'attention scientifique, mais les réponses étaient peu concluantes.

Hellot pensait que le changement de couleur n'était pas explicable scientifiquement. D'autres expérimentateurs l'attribuaient à l'effet de la chaleur et du froid. À la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, cependant, Edward Delaval, un chimiste anglais qui avait étudié la couleur des films métalliques, postula que le sel attirait l'humidité de l'air quand il était froid et la repoussait quand il était chauffé. Cette théorie est celle qui se rapproche le plus des explications modernes (voir l'encadré page 76).

## Dans les mains des magiciens

L'impact de l'encre sympathique de Hellot dépassa de loin le cercle des chimistes. À la fin du siècle des Lumières, la science s'était répandue des laboratoires privés et des sociétés royales à la presse populaire et à la culture urbaine. Salons philosophiques, cafés et musées se multipliaient dans les rues de Paris, et ces nouvelles institutions de science populaire s'animaient de conférences, d'expériences, de démonstrations de science. L'encre invisible s'accordait parfaitement avec ces passe-temps.

Ceux-ci n'étaient d'ailleurs pas sans danger, comme le découvrit Jean-Jacques Rousseau à ses dépens. En 1736, alors jeune homme, il essaya de produire de l'encre sympathique en s'inspirant des expériences d'un professeur de physique et avec l'aide des *Récréations mathématiques* de Jacques Ozanam, un mathématicien français du siècle précédent. Rousseau venait de remplir

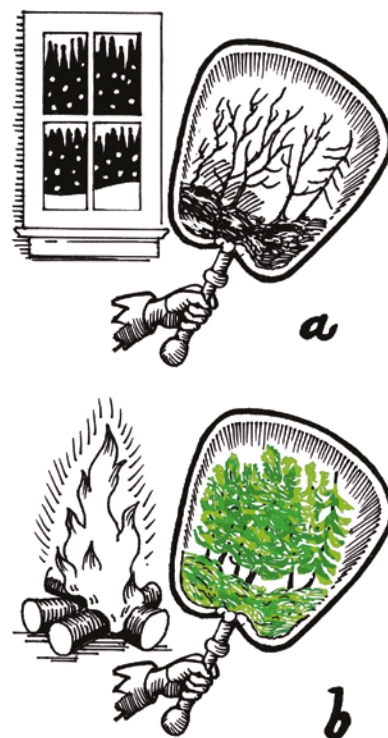
### L'AUTEUR



Kristie MACRAKIS est professeure d'histoire, technologie et société au Georgia Institute of

Technology, à Atlanta. Cet article est adapté de son dernier livre, *Prisoners, Lovers, and Spies: The Story of Invisible Ink from Herodotus to al-Qaeda* (Yale University Press, 2014).

Article publié avec l'aimable autorisation de la revue *American Scientist*.



### LES PARE-FEU À PAYSAGE CHANGEANT

— une déclinaison de l'encre sympathique — devinrent à la mode à Paris au milieu du XVIII<sup>e</sup> et au XIX<sup>e</sup> siècles. Un paysage d'hiver avec des branches dénudées était peint à l'encre de Chine sur un pare-feu. Puis une solution de chlorure de cobalt était utilisée pour créer des arbustes luxuriants, et de l'acétate de cobalt pour le ciel. Initialement, le cobalt était invisible (a), mais dès que la chaleur du feu atteignait l'écran, le paysage désolé verdoyait (b). Quand la source de chaleur s'estompait, la scène hivernale réapparaissait.

une bouteille du mélange obtenu – une solution de chaux vive et d'orpiment – et de la boucher quand « l'effervescence commença presque à l'instant très violemment », raconte-t-il dans ses *Confessions*. Il courut à la bouteille pour la déboucher, mais arriva trop tard. La bouteille lui « sauta à la figure comme une bombe ». Rousseau avala tant de chaux et d'orpiment qu'il faillit en mourir. Il resta aveugle pendant plus de six semaines.

Mais la science qui attirait le plus les badauds de Paris au XVIII<sup>e</sup> siècle s'écarterait du courant académique. Il s'agissait de science alternative, parfois même de ce qu'on appellerait aujourd'hui la pseudoscience. Franz Mesmer envoûtait les Parisiens avec ses expériences sur le magnétisme animal ; Jean Nollet électrisait les spectateurs dans des présentations où une charge se propageait à travers une rangée de personnes ; et les frères Montgolfier avaient déclenché

un engouement pour les ballons en tous genres. La science enivrait.

Devenue une part de la culture populaire, la science fournit à la fois du divertissement et une éducation générale. Des magiciens scientifiques menaient la danse, à commencer par Henri Decremps, professeur et présentateur d'amusements physiques, et l'Italien Giuseppe Pinetti, surnommé le Professeur de magie naturelle. Tous deux firent des tournées à Paris et à Londres, présentant des « amusements physiques et différentes expériences divertissantes ». Mais Pinetti n'était qu'un magicien de scène. Decremps mit un point d'honneur à démasquer les charlatans ; il expliqua les expériences de Pinetti comme de simples astuces. Ces révélations ruinèrent la carrière du magicien à Paris.

L'encre sympathique faisait partie des secrets que Decremps révéla. Dès lors, tout un chacun put, chez lui, choisir parmi cinq

sortes d'encres sympathiques développées par un liquide, de l'air, de la poudre ou du feu, et créer des paysages changeants ou divers jeux de bonne aventure impliquant une question écrite à l'encre classique et une réponse à l'encre sympathique. Les magiciens, cependant, détournèrent ces procédés de façon à donner l'impression d'avoir des pouvoirs extraordinaires. Par exemple, dans un tour appelé le livre du destin, un compartiment secret conçu dans la couverture d'un livre permettait d'y cacher un papier imbibé d'« encre vivifiante », fabriquée à partir de chaux vive et d'orpiment. Le magicien préparait sur plusieurs papiers une question à l'encre classique et une réponse en encre sympathique faite avec de l'oxyde de plomb rouge ou du bismuth. Lors du spectacle, il demandait à une personne de choisir un papier, le glissait dans le livre, le maintenait fermé pendant deux-trois

## La chimie des encres invisibles

**L**es encres invisibles apparaissent et disparaissent grâce à divers mécanismes chimiques dont voici quelques-uns des plus courants, explicités à l'aide de la chimie moderne. Commençons par le chlorure de cobalt, une des formes de l'encre sympathique de Hellot utilisée pour peindre des paysages changeants sur des pare-feu.

Les couleurs changeantes de ces pare-feu étaient peintes avec une solution diluée de chlorure de cobalt. En solution aqueuse, les molécules d'eau remplacent les ions chlorure et forment un complexe avec le cobalt, créant un ion octaédrique rose pâle, l'ion hexaaquacobalt(II). La couleur rose du chlorure de cobalt ne se voit pas à l'œil nu lorsque la solution a séché sur du papier. Toutefois, quand le complexe est chauffé au-dessus de la température ambiante, les molécules d'eau migrent, ce qui permet aux ions chlorure d'interagir plus fortement avec le cobalt. La structure prend alors une forme anhydre, d'une intense couleur bleue. Quand la substance est utilisée sur un pare-feu, la chaleur révèle le paysage peint. La réaction est réversible : quand le complexe

revient à la température ambiante, l'humidité de l'air réhydrate lentement le cobalt, ce qui le reconvertit dans sa forme hydratée, rose pâle.

Comme nombre de jus de fruits, le jus de citron, utilisé sur du papier, constitue une encre invisible classique que la chaleur révèle en un brun visible. La chimie du procédé, qui revient à une dégradation thermique accélérée de la cellulose constituant le papier, est étonnamment complexe. Les acides du jus de citron aident à démarrer des réactions qui enlèvent les molécules d'eau et créent des radicaux libres – des molécules chargées très réactives. Ces réactions carbonisent le papier, produisant un mélange complexe de matériaux bruns. Le sulfate de cuivre, une autre encre révélée par la

chaleur, brûle le papier en catalysant des réactions de dégradation similaires.

Avant l'introduction des colorants synthétiques, des tanins extraits d'excroissances (des galls) de certains chênes, étaient combinés avec des sels de fer pour fabriquer de l'encre noire. Le jus de la galle de chêne a aussi été utilisé comme encre invisible révélée à l'aide de sels de fer. Le principal composant



**DU JUS DE CITRON** a été utilisé pour écrire les informations sur cette invitation à un événement du festival artistique Burning Man, dans le Nevada. Le destinataire a dû la chauffer pour la déchiffrer.

de l'extrait, l'acide tannique, est une molécule complexe, consistant en un sucre lié à cinq unités d'une substance nommée acide digallique.

Au sein de la molécule d'acide tannique, un atome de fer peut former un complexe en de multiples endroits. Quand les tanins sont combinés avec des sels de fer, les complexes ainsi formés modifient les niveaux d'énergie électronique de l'acide tannique, brun pâle, intensifiant ses propriétés d'absorption de la lumière et formant ainsi une molécule très colorée. Comme un atome de fer peut se lier à six autres atomes, chaque atome de fer peut former un complexe avec plus d'une molécule d'acide tannique. De plus, chaque molécule d'acide tannique peut aussi accepter plus d'un atome de fer. Ainsi, on obtient un mélange complexe de colorants constitués de polymères de structure assez simple, mais de poids moléculaire élevé, lequel produit une intense couleur noire pouvant servir d'encre grand teint.

– Jason Lye  
Lyco Works Inc., Atlanta

Kyle Chaplin