

– regrettable, l'espèce étant menacée – de deux exemplaires juvéniles (voir la figure b page 68).

Tout aussi étonnante est l'observation en 2003 d'un marlin *Makaira nigricans* de 380 kilogrammes au large de Capbreton, un type de poisson qui écume les mers chaudes. Plus normale peut-être est la présence du rorqual boréal *Balaenoptera borealis* ou encore celle du poisson-lune *Mola mola*, un poisson osseux des eaux tropicales et tempérées.

Face à ce tableau contrasté, on s'interroge. Le gouf est-il en train de se tropicaliser ? Cette évolution apparente résulte-t-elle d'un lent réchauffement des eaux ou ne reflète-t-elle que notre profonde incompréhension de l'écologie de ce milieu ? Il semble qu'un réchauffement des eaux marines soit bien en cours dans le golfe de Gascogne. Jean-Claude Quéro, biologiste marin à l'Ifremer, avait déjà souligné la hausse de la température de fond du gouf, qu'il estimait à environ 2 °C depuis les années 1970.

Pour leur part, Frédéric Vandermeersch, de l'Ifremer à Plouzané, et des collègues

ont construit un modèle physique du golfe de Gascogne à partir des mesures de température et de salinité effectuées pendant 30 ans. Lors d'un colloque en 2005, ils ont fait savoir que d'après leurs calculs, la température moyenne des eaux de cet océan avait augmenté de 1,5 °C en surface au-dessus du plateau continental et de 1 °C au-dessus de la plaine abyssale ; à ces évolutions correspondent respectivement des hausses de la température moyenne de 0,8 °C et de 0,6 °C dans la tranche d'eau des 50 premiers mètres au-dessus du plateau continental et de la plaine abyssale.

Ainsi, la lente remontée d'espèces méridionales et tropicales dont témoigne la macrofaune du gouf de Capbreton semble liée au réchauffement des eaux du golfe de Gascogne. Pour préciser le phénomène et affiner les inventaires de la faune, l'étude systématique des échouages de mammifères marins et la collaboration avec ces autres experts de la mer que sont les marins-pêcheurs sont à poursuivre. Ce gouf est un monde mystérieux qui ne nous a pas encore tout dit. ■

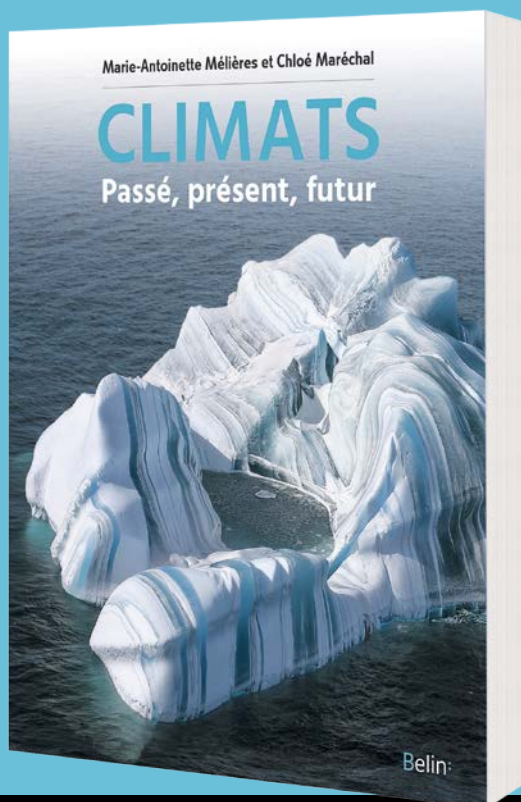
■ BIBLIOGRAPHIE

M.-N. de Casamajor *et al.*, **Espèces inhabituelles capturées dans le sud du golfe de Gascogne. Synthèse 1997-2012**, 2013 (<http://archimer.ifremer.fr/doc/00117/22830/>).

M.-N. de Casamajor, **Baie de Biscaye, richesse méconnue et diversité**, Éditions Alexandre Dewez, 2004.

P. Cirac *et al.*, **Le canyon de Capbreton : nouvelles approches morphostructurales et morphosédimentaires. Premiers résultats de la campagne Itsas**, C. R. Acad. Sci. Paris série IIa, vol. 332, pp. 447-455, 2001.

J.-F. Bourillet, *et al.*, **Le canyon de Capbreton. Cartes morpho-bathymétriques**, Quae, 2007.



CLIMATS

Passé, présent, futur

Marie-Antoinette Mélières et Chloé Maréchal

Une synthèse ambitieuse pour comprendre comment et pourquoi le climat évolue sans cesse

Comprendre les climats passés pour appréhender le changement climatique en cours et à venir : telle est l'originalité de ce livre. Le texte, agrémenté de nombreuses illustrations, présente une vision synthétique de la question climatique, mobilisant les connaissances d'un grand nombre de disciplines.

Un ouvrage essentiel pour appréhender les mécanismes physiques et biologiques à l'origine des climats de la Terre et de leur évolution au cours des âges et dans le futur.

34,00 € – 416 pages – 21 x 27 cm

Belin:

Pour commander cet ouvrage www.pourlascience.fr/librairie

L'histoire de l'encre

Souvent associée à l'espionnage international, l'encre sympathique a aussi eu un âge d'or oublié en tant que magie de scène et démonstration de science.

Kristie Macrakis

Pour beaucoup, les mots «encre invisible» évoquent des images de jeux d'enfants avec du jus de citron et une bougie, ou des messages d'espions pendant la guerre. De fait, l'écriture secrète a longtemps fait partie à la fois des jeux de magie et des intrigues internationales. Mais elle a aussi une longue histoire riche et méconnue. Son récit commence avec la découverte d'une encre apparaissant et disparaissant mystérieusement et culmine à la fin du siècle des Lumières. Durant cette période de fermentation intellectuelle, le développement de la magie de scène a coïncidé avec un renouveau de la magie naturelle – une tradition occulte qui recherchait le pouvoir des sources naturelles, telles que les plantes ou les astres – et une demande croissante de démonstrations scientifiques publiques. C'est sur ce fond de bouillon de sorcière que l'encre invisible a fleuri.

Depuis des années, l'histoire de l'encre invisible me fascine. Aussi, lorsque, il y a quelques années, j'ai eu l'occasion de visiter Schneeberg, en Allemagne, j'étais tout excitée. Schneeberg est l'un des berceaux de l'encre invisible. Situées dans la chaîne des monts Métallifères de la Saxe, les montagnes de Schneeberg contenaient à l'époque de riches gisements d'argent, de bismuth et de cobalt, cachés sous de verdoyantes collines et vallées. Jusqu'au XVI^e siècle, Schneeberg était connue comme une ville minière d'argent, mais quand les exploitants eurent épuisé les veines connues de ce métal, ils s'intéressèrent au cobalt, dont la demande était grande pour colorer le verre et d'autres produits.



© 2016 Museum of Fine Arts, Boston

discrète invisible



À LA CHALEUR,
le crapaud géant se métamorphose en samouraï. Même si l'usage moderne de l'encre invisible est venu d'Europe, d'autres cultures se sont délectées de ses propriétés, comme le montre cette estampe japonaise de la période Edo (1603-1897).

L'ESSENTIEL

- Au XVI^e siècle, les recettes d'encres invisibles faisaient partie de la littérature des secrets, au même titre que l'alchimie et la médecine par les plantes.
- La découverte des propriétés du cobalt minéral, qui, en solution, change de couleur à la chaleur, a lancé les savants des Lumières sur l'étude de l'encre de cobalt.
- Popularisée par des spectacles de magie scientifique et des cabinets de chimie portatifs, elle devint un outil de choix pour faire découvrir la magie de la chimie.



DES INSTRUCTIONS VARIÉES pour préparer et utiliser de l'encre invisible étaient parfois proposées dans des recueils du XVII^e siècle, tel ce traité de cryptographie de Johannes Balthasar Friderici, publié en Allemagne en 1684.

Les mineurs ont extrait des centaines de tonnes de cobalt de la montagne. Et si l'exploitation de l'argent apporta la richesse à la ville, le cobalt produisit des merveilles bien plus exotiques – dont l'encre invisible.

Le XVI^e siècle était l'âge d'or de la littérature des secrets, des recueils rassemblant des recettes concernant la métallurgie, la teinture, la fabrication de pigments, l'alchimie, la médecine par les plantes, la magie, la cuisine, la cosmétologie... Parfois, ces livres contenaient des pistes pour créer de l'encre invisible, écrites comme une recette de cuisine, avec des ingrédients simples et accessibles. Par exemple, une recette suggérait de plonger dans l'eau une lettre écrite à l'alun (un sel minéral), ce qui ferait virer les écrits du blanc au noir ; une autre conseillait de frotter de la poudre sur du lait de figuier pour le rendre visible. D'autres encore disaient de peindre, éponger ou étaler un liquide sur la lettre secrète, de l'agiter dans l'air ou de la plonger dans l'eau, selon la nature de l'encre utilisée.

Le cobalt donna un nouvel élan à l'encre invisible. En 1705, une mystérieuse alchimiste allemande semble avoir été la première personne à identifier l'alliage de cobalt et de bismuth comme une substance précieuse pour fabriquer de l'encre invisible. Cette alchimiste fut aussi l'auteure anonyme de trois ouvrages, dont *Schlüssel zu dem Cabinet der geheimen Schatz-Kammer der Natur* (« La clé du cabinet de la chambre du trésor secret de la nature »), qui incluait une discussion sur la modification des couleurs



LE CHLORURE DE COBALT passe du bleu au rose quand il est mouillé. Cette réaction était utilisée au XIX^e siècle dans des poupées dites (à tort) barométriques. Leur robe, bleue par temps sec, devenait rose quand l'humidité augmentait, indiquant un risque de pluie.

de l'alliage. Trois initiales, DJW, sont les seules informations disponibles sur leur auteur, mais des recherches suggèrent qu'il s'agissait d'une certaine Dorothea Juliana Walchin (ou Wallich ou Wallichin), dont on ne sait pas grand-chose.

Cette obscure alchimiste aurait découvert du cobalt minéral qui apparaît rouge en solution et que l'on supposait être la matière première à partir de laquelle tous les autres éléments étaient constitués – le grail des alchimistes. Le cobalt minéral avait aussi de remarquables qualités visuelles : à la chaleur, sa couleur changeait du rosé au vert tendre et au bleu ciel. Quand le cobalt était préparé sous la forme d'une solution utilisable pour écrire, sa teinte était claire, mais il produisait une belle couleur bleu-vert quand il était chauffé. Les écrits disparaissaient quand ils étaient refroidis.

L'encre de cobalt de Jean Hellot

Pour Jean Hellot, un chimiste français qui, durant le XVIII^e siècle, s'investit plus que tout autre dans les recherches sur l'encre invisible et sa promotion, on devait la découverte des qualités magiques du cobalt à une autre personne – un artiste allemand, lui aussi de nom inconnu. Durant l'été 1736, l'artiste anonyme montra à des membres de l'Académie royale des sciences, à Paris, la magie du cobalt. Il avait grimpé sur les montagnes de la Saxe à la recherche d'un gisement, qu'il avait nommé *Minera Marchassitae*. Les curieuses propriétés du minéral extrait, contenant du bismuth, du cobalt, du fer et d'autres minéraux, enchantèrent Hellot, qui l'expérimenta avec assiduité pendant son temps libre. À la fin de l'été, il avait écrit un article sur l'encre de cobalt pour le journal de l'Académie.

Peu après la publication de l'article, des savants allemands protestèrent. Hellot avait été salué pour la découverte de cette substance, alors que, clamaient-ils, un certain professeur Teichmeyer, de Jena, avait montré la même encre de cobalt à ses étudiants six ans plus tôt. Bien sûr, il y avait aussi cette mystérieuse femme allemande, qui avait décrit des activités similaires en 1705. La fierté nationaliste ajouta à cette querelle de priorité. Les Allemands s'irritèrent quand l'encre de cobalt devint connue sous le nom d'« encre sympathique de Hellot », un honneur qui impliquait que la découverte était française. (Les

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^e 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^e 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^e 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^e 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^e 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

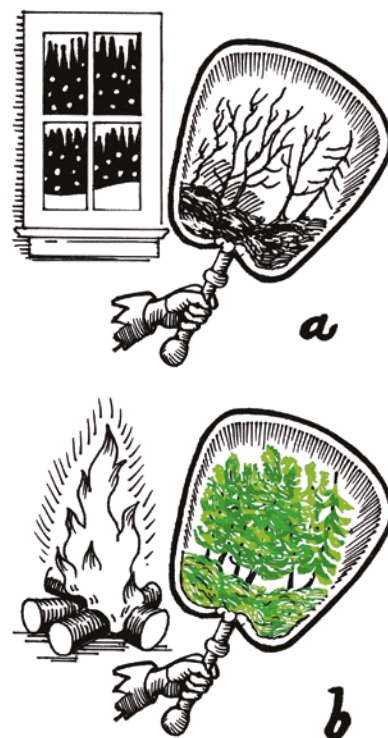
■ L'AUTEUR



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^e et au XIX^e 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^e 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

Les 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 galles) 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

minutes, puis le ressortait : la réponse à l'encre sympathique était apparue grâce à la propagation du révélateur et de ses vapeurs à travers les pages du livre.

À la fin du XVIII^e siècle, on vit un regain d'intérêt pour la magie naturelle ; l'encre invisible, avec ses substances naturelles, était dans le ton. Certains praticiens étaient des illusionnistes et des magiciens de scène qui manipulaient la réalité à l'aide de tours de passe-passe. D'autres étaient des scientifiques que la mode des tours de magie servant d'emballage pour l'éducation scientifique enchantait, et nombre d'entre eux écrivaient des livres dans ce sens.

Ces nouveaux livres de magie naturelle contenaient moins de physique expérimentale et plus d'effets physiques spectaculaires, dont l'encre sympathique. Citons par exemple *Die natürliche Magie: aus allerhand belustigenden und nützlichen Kunststücken bestehend* («La magie naturelle, consistant en toutes sortes d'amusements et de tours utiles», 1779), une série monumentale de Johann Wiegand, un des apothicaires-chimistes les plus informés et respectés de l'Allemagne des Lumières.

À l'assaut des cabinets de chimie

L'explosion d'intérêt pour la magie naturelle coïncida avec l'invention des cabinets de chimie, des caisses pleines de fournitures pour les expérimentateurs amateurs. En 1791, le chimiste et pharmacien allemand Johann Götting construisit l'un des premiers cabinets portables de chimie. Les tubes à essai n'étaient pas inclus dans le kit ; Götting utilisait un verre à vin pour mélanger les produits. La tradition de magie naturelle et ces cabinets portables de chimie conduisirent au design et au marketing des coffrets de chimie modernes.

Des ouvrages tels que *Conversations in Chemistry* (1805), de l'auteure britannique Jane Marcet, écrit comme une discussion et prenant ses exemples dans la vie quotidienne, ou *Chemical recreations* de John Griffin, publiées au milieu du XIX^e siècle, contribuèrent à la popularité de la chimie. Le chimiste britannique y consignait des descriptions de l'encre sympathique de Hellot et quelques histoires associées. Sa compagnie, J. J. Griffin and Sons, se mit à fabriquer et à vendre onze sortes de cabinets de chimie, dominant le marché pour quelque cinquante ans, jusqu'au déclenchement de la Première Guerre mondiale.

Cette popularité de la chimie coïncida avec un engouement, au milieu du XIX^e siècle, pour les spectacles de magie dans les salons privés. Les chimistes encourageaient les prestidigitateurs à intégrer à leurs tours des expériences de chimie, souvent impliquant un composant devenant invisible. Les cabinets de chimie fournissaient la matière première de ces activités. Des manuels enseignaient aussi aux magiciens amateurs des illusions optiques, mécaniques ou magnétiques.

Au début du XX^e siècle, nombre de magiciens étaient devenus des prestidigitateurs scientifiques. Le «professeur» Ellis Stanyon offrait des cours de «Feu et magie chimique» à son «École de magie» de Londres. Ces cours mettaient l'accent sur la magie scientifique et ne faisaient pas appel à la sorcellerie. Le monde est maintenant bâti sur des «principes physiques», non sur des «arts noirs», écrivait le magicien américain Harry Blackstone en 1959 dans une réédition du manuel *Chemical Magic* (1930), du chimiste et magicien amateur John Lippy. «La magie reste avec nous – pas la magie noire, mais la magie qui amuse [...], la magie qui, sous son meilleur jour, fascine.» Et dans cette métamorphose, l'encre invisible a joué un rôle particulier. S'éloignant de ses liens précoces avec l'alchimie, elle s'est transformée au fil des siècles en un outil de choix pour démontrer le pouvoir de la chimie et présenter sa valeur divertissante à un vaste public.

Après les deux guerres mondiales, l'encre invisible acquit une autre identité tout aussi populaire : elle devint synonyme d'intrigue internationale et d'espionnage. Durant la seconde moitié du XX^e siècle, les livres et jeux pour enfants se mirent à évoquer des agents secrets usant d'encre invisible et de stylos ultraviolets, et le citron devint le complice des petits espions en herbe. Ainsi l'encre invisible a-t-elle traversé l'histoire et les modes. Elle est certes devenue un jeu d'enfant. Mais pour nombre de jeunes curieux, elle constitue une passerelle pour découvrir la magie de la chimie et ouvrir leur imagination scientifique – voire celle de leurs parents. L'histoire des messages invisibles n'est d'ailleurs pas terminée. En 2011, Manuel Palacios et David Walt, de l'université Tufts, George Whitesides, de l'université Harvard, et leurs collègues ont développé une matrice constituée de colonies de microorganismes qui délivrent des messages sur demande en changeant de couleur...



LES CABINETS DE CHIMIE destinés aux chimistes amateurs ont fleuri à la fin du XVIII^e siècle et au XIX^e. Certains avaient la taille d'un bureau. D'autres étaient plus petits, tel le modèle pour étudiant ci-dessus, conçu par le Britannique William Statham au XIX^e siècle.

■ BIBLIOGRAPHIE

K. Macrakis, *Prisoners, Lovers, and Spies: The Story of Invisible Ink from Herodotus to al-Qaeda*, Yale University Press, 2014

S. Al-Gailani, *Magic, science, and masculinity: marketing toy chemistry sets*, *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. 40, pp. 372-381, 2009.

J. Hellot, *Sur une nouvelle encre sympathique*, *Histoire de l'Académie royale des sciences*, pp. 101-120 et pp. 228-247, 1737, en ligne sur gallica.bnf.fr.

■ À VOIR

Le secret de l'État. Surveiller, protéger, informer. XVII^e-XX^e siècle, exposition des Archives nationales, à l'Hôtel de Soubise, à Paris, jusqu'au 28 février 2016.



Un volet est consacré à l'histoire des techniques et des langages du secret. <http://bit.ly/1VaZnCP>.

LOGIQUE & CALCUL

Paver avec des tatamis

Les tapis japonais ont des proportions bien définies. De combien de façons peuvent-ils recouvrir une pièce rectangulaire ? Grâce à une contrainte géométrique traditionnelle, la question devient intéressante.

Jean-Paul DELAHAYE

Au Japon, on recouvre traditionnellement le sol des habitations de tapis de paille de riz soigneusement serrés : les tatamis. Ils sont le plus souvent de dimension 91×182 cm ou 88×176 cm (à Tokyo). Dans toutes les régions, ils forment des rectangles aux proportions 1×2 , auxquels on ajoute parfois des tatamis carrés 1×1 . Le tatami est utilisé comme unité d'aire ; sa largeur détermine souvent la taille des pièces d'une maison ainsi que celles des portes et des fenêtres. Lorsqu'on dispose les tatamis, on s'arrange pour qu'en aucun point ne se rencontrent quatre tatamis (voir l'encadré page ci-contre). La raison – esthétique ou pratique ? – n'est pas bien claire, mais cette tradition semble respectée partout au Japon.

La contrainte « Jamais quatre tatamis en un même point » intéresse les mathématiciens. Elle a suscité, depuis une dizaine d'années, d'étonnantes recherches, dont celles d'Alexandro Erickson, qui a soutenu en 2013 une thèse sur le sujet à l'université de Victoria, au Canada. Il se trouve en effet que la règle imposée limite fortement les combinaisons possibles, sans toutefois imposer un nombre trop restreint de dispositions dont on trouverait facilement une caractérisation. Le mathématicien aime ce genre de situations !

Dans un premier temps, nous n'enviagerons que les pavages sans carrés. Par définition, le pavage d'une forme géométrique par des rectangles 1×2 respectant

la contrainte des tatamis sera un « pavage tatami-parfait ». Lorsque l'utilisation de tatamis 1×1 sera autorisée, nous parlerons de « pavages à tatamis ».

Pavages tatami-parfaits

L'encadré ci-contre donne un décompte du nombre de pavages tatami-parfaits pour les rectangles les plus petits et fournit pour certains rectangles les listes de pavages différents. On remarquera que même lorsque l'aire d'un rectangle est paire, il peut n'exister aucun pavage tatami-parfait. Le plus petit rectangle pour lequel cette situation d'impossibilité se produit est le rectangle 7×10 .

Ce tableau provient d'un travail de Dean Hickerson réalisé en 2002 et complété par Frank Ruskey et Jennifer Woodcock en 2009. Les chercheurs sont parvenus au résultat suivant. Notons $T(m, n)$ le nombre de pavages tatami-parfaits du rectangle $m \times n$ correspondant au tableau ; quatre cas sont à distinguer.

(a) $T(1, n)$ vaut 1 si n est pair, et 0 si n est impair (ce qui est évident).

(b) $T(2, n)$ est égal au nombre de façons d'écrire l'entier n comme une somme de 1 et de 2 sans qu'il y ait deux 2 consécutifs. Exemple : l'entier 5 s'écrit $1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 2 + 1 + 1 + 1 = 1 + 2 + 1 + 1 = 1 + 1 + 2 + 1 = 1 + 1 + 1 + 2 = 2 + 1 + 2$, il y a donc 6 pavages tatami-parfaits pour le rectangle 2×5 .

(c) Si m est impair et supérieur à 1, $T(m, n)$ est le double du nombre de façons

d'écrire n comme une somme de $m - 1$ et de $m + 1$. Ainsi, $T(5, 10) = 4$, car $10 = 4 + 6 = 6 + 4$. Le fait qu'il n'existe pas de pavages tatami-parfaits pour 7×10 se comprend maintenant aisément : 10 ne peut pas s'écrire comme somme de nombres égaux à 6 ou à 8.

(d) Si m est pair et supérieur à 2, $T(m, n)$ est le nombre de façons d'écrire n comme somme de nombres pris parmi 1, $m - 2$ et m en s'arrangeant pour qu'un terme sur deux soit un 1. Par exemple, $T(6, 12) = 4$ car $12 = 1 + 4 + 1 + 6 = 1 + 6 + 1 + 4 = 4 + 1 + 6 + 1 = 6 + 1 + 4 + 1$.

L'encadré page 80 décrit la structure générale des pavages tatami-parfaits de rectangles et illustre pourquoi le nombre de solutions au problème du pavage est lié aux dénombrements arithmétiques indiqués ci-dessus.

Ces conclusions sont fondées sur des résultats intermédiaires soigneusement démontrés. Toutefois, en manipulant des dominos à la recherche de solutions et en s'aidant de l'encadré page 80, on se persuade de l'exactitude des résultats mentionnés sans qu'il faille lire la dizaine de pages de la démonstration complète. Parmi les résultats généraux intéressants sur les pavages tatami-parfaits, il y a celui indiquant que connaître la disposition des tatamis sur le pourtour du rectangle qu'on cherche à paver détermine entièrement le pavage intérieur s'il est possible.

Dans le domaine de la combinatoire, il est souvent impossible de donner une expression simple (comme $2n$, $n(n+1)(n+2)/3$, ou $5n+n!$) pour les suites rencontrées. Cependant,