

et le couple de chercheurs italiens Giuseppe et Ann Britt Tilia, de l'Institut italien pour le Moyen- et le Proche-Orient à Rome, s'occupèrent aussi de la restauration des monuments, assurant la conservation des traces de peinture résiduelles.

Depuis 2006, les restes pigmentaires de Persépolis sont systématiquement répertoriés et analysés à l'aide d'un microscope numérique de haute précision, capable de livrer une image de la surface de la pierre grossie 1 000 fois. Les traces de couleurs sont retrouvées aux endroits qui ont été protégés des éléments. C'est ainsi que la façade de la tombe de Darius I à Naqsh-e Rostam a livré de nombreuses traces de couleurs : du noir sur la ligne de sourcils du roi, du rouge sur les lèvres et sur le globe oculaire, du bleu sur la barbe et les cheveux (voir la figure 5). Sur les bas-reliefs de Persépolis, on remarque certaines surfaces que les sculpteurs n'ont pas polies, sans doute pour que les couleurs déposées par les peintres y adhèrent bien.

Couleurs exportées

Contrairement aux sculptures restées sur place, celles qui sont parvenues dans les musées européens et américains ne présentent pratiquement plus aucune trace de couleurs. Une monumentale tête de taureau restée à Persépolis en porte en plusieurs endroits, alors que son vis-à-vis mis au jour à la même époque et livré en 1935 à l'Institut d'Orient de Chicago n'en a plus. Le sculpteur italien Donato Bastiani fut en effet chargé d'un nettoyage de la surface, qui fit disparaître tous les restes de couleurs.

Des résidus de ces restes furent cependant conservés en un lieu inattendu : sur les calques épigraphiques que l'on préleva alors sur les œuvres. Ces feuilles de papier que l'on mouille et presse à la brosse sur une œuvre à relever en conservant la forme en négatif, une fois sèches. Au XIX^e siècle, de nombreux visiteurs prenaient des calques des inscriptions, qui de retour en Europe servaient au déchiffrement des textes perses. La plus grande collection de tels calques se trouve aujourd'hui dans les archives Herzfeld de l'Institut Smithsonian à Washington. L'examen au microscope révèle la présence de particules de pigment bleu collées aux calques.

L'analyse microscopique de ces pigments que nous avons réalisée à l'Insti-



6. CE BAS-RELIEF EN TUILLES ÉMAILLÉES provenant du palais de Suse montre sans doute deux gardes du corps du Grand Roi. Puisque leurs couleurs sont intactes, elles nous offrent probablement une impression véridique de l'ambiance haute en couleurs qui caractérisait le palais.

tut Smithsonian montre qu'il s'agit de bleu d'Égypte, point que Texier avait déjà établi au XIX^e siècle à la faveur de ses expériences. Les recherches récentes nous ont appris que dès le III^e millénaire avant notre ère, on synthétisait du bleu égyptien au Proche-Orient à partir de cuivre, de silice, de soude et de calcaire. En outre, nous parvenons pour la première fois à nous imaginer comment les peintres de Persépolis opéraient. En effet, depuis une centaine d'années, les archéologues ont découvert de nombreux pots de peinture en terre cuite enterrés au pied des bâtiments tout juste terminés, sans doute dans le cadre d'un rituel (voir la figure 4). Les couleurs du bâti en étaient manifestement un aspect assez important pour qu'on demande pour elles la protection divine...

✓ BIBLIOGRAPHIE

B. Valeur, *La couleur dans tous ses éclats*, Belin, coll. Bibliothèque scientifique, à paraître.

Alexander Nagel, *Achromatic Environments in the Ancient Near East, New Research on the Colors of Achaemenid Persepolis*, communication au 110^e colloque de l'Institut archéologique d'Amérique, 2009.

Pierre Briant, *Histoire de l'Empire perse, de Cyrus à Alexandre*, Fayard, 1996.

Archives des articles de Ernst Herzfeld à la Galerie d'art Freer et Sacker à Washington : http://www.asia.si.edu/archives/finding_aids/herzfeld.html

Le bleu égyptien, premier pigment artificiel

François Delamare

Le « bleu égyptien » est le premier pigment créé par l'homme. Apparu il y a cinq millénaires en Égypte et en Mésopotamie, il a longtemps fait l'objet d'un monopole et d'un commerce prospère dans le bassin méditerranéen.

Pendant des millénaires, les peintres ont disposé d'une palette pauvre en nuances, mais comportant presque toutes les couleurs : rouge, jaune, vert, marron, noir et blanc. Seul manquait le bleu. Pour une raison simple : il n'existe que très peu de minéraux bleus, et rarissimes sont ceux qui, réduits en poudre, conservent un pouvoir colorant.

Ainsi, le broyage du lapis-lazuli, pierre d'un beau bleu profond, ne fournit qu'une poudre bleu-gris pâle, inutilisable comme pigment. Certes, il existe une technique permettant d'extraire le minéral bleu (la lazurite) de cette poudre pour obtenir un pigment utilisable, l'outremer. Mais il semble qu'elle n'ait été mise au point que vers le II^e siècle avant notre ère, au Turkménistan. Elle n'atteindra l'aire méditerranéenne que vers le VIII^e siècle.

Les artistes du bassin méditerranéen ont pourtant pu utiliser un pigment bleu bien avant ces époques. Il s'agit du « bleu égyptien », nom donné en 1830 par Jean-François Léonor Mérimée, le père de l'écrivain Prosper Mérimée, dans un traité sur la peinture à l'huile. En quoi consiste le bleu égyptien ? Quand et comment et

où ce premier pigment synthétique a-t-il commencé à être fabriqué ? Où son emploi s'est-il diffusé ? Autant de questions auxquelles on donnera ici quelques éléments de réponse, dont certains ont été obtenus grâce à des fouilles et travaux archéologiques récents.

Un pigment fabriqué au Proche-Orient...

Qu'est-ce que le bleu égyptien ? Cette matière artificielle est une pâte de verre, c'est-à-dire une matrice vitreuse au sein de laquelle est dispersé un matériau cristallin ayant un indice de réfraction différent de celui de la matrice. Dans le cas du bleu égyptien, la matrice de verre est colorée en bleu clair par du cuivre, et la phase cristalline dispersée est constituée par un silicate double de calcium et de cuivre ($\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$), d'un beau bleu foncé. Ce silicate est identique à la cuprorivaïte, un minéral très rare.

Au vu de sa composition, il n'est pas étonnant que le bleu égyptien soit apparu en même temps que le verre, vers 3000 avant notre ère. Il aurait deux

berceaux : la Mésopotamie, où on l'appelait *uknû merku* (lapis-lazuli moulé), et l'Égypte, où il avait pour nom *hsbd irt* (lapis-lazuli fabriqué).

En raison de sa composition et du climat beaucoup plus humide, le verre élaboré en Mésopotamie s'est moins bien conservé que celui fabriqué en Égypte. La plupart des témoins matériels proviennent donc d'Égypte, et c'est pourquoi on a pris l'habitude de parler de bleu « égyptien » et d'occulter la source mésopotamienne.

Il convient aussi de préciser que le bleu égyptien n'était pas le seul matériau synthétique bleu apparu en Égypte et en Mésopotamie à cette époque. Deux autres familles de tels matériaux étaient les verres teints par l'oxyde de cobalt, d'un bleu sombre, et les verres teints au cuivre, d'un bleu clair. Mais ces matériaux n'ont pas eu le même succès que le bleu égyptien, dont la couleur est plus saturée.

Le bleu égyptien était, comme le verre, fabriqué en petites quantités. Il remplaçait le lapis-lazuli afghan en joaillerie et pour la réalisation de petits objets. C'était une matière onéreuse, donc de luxe. Il a fallu

L'ESSENTIEL

- ✓ Le bleu égyptien est une pâte de verre contenant un silicate de calcium et de cuivre d'un bleu intense.
- ✓ C'était un matériau synthétique de luxe, dont les Égyptiens ont produit une poudre bleue utilisable sur divers supports dès 2500 avant notre ère.
- ✓ L'Égypte a conservé le monopole de sa fabrication et de son commerce jusqu'au I^{er} siècle avant notre ère.
- ✓ Vers -70 est née la première fabrique de bleu égyptien sur le sol italien, pigment que les Romains nommaient *cæruleum*.

quelques siècles pour que l'on se rende compte que la poudre obtenue en la broyant constitue un excellent pigment bleu, utilisable sur des supports divers. Ce fut chose faite vers 2500 avant notre ère en Égypte, date à partir de laquelle on constate son emploi sur des décors muraux.

...puis largement exporté

La production du bleu égyptien a suivi étroitement le développement de la production du verre. En particulier, cette production s'est très fortement accrue aux alentours de -1450, sous le règne de Thoutmosis III, époque où les décors bleus peints se sont banalisés (*voir les figures 1 et 2*). Depuis, la production égyptienne n'a cessé d'augmenter, stimulée notamment par les exportations.

La mise au point en Mésopotamie et en Égypte de la fabrication de pigments bleus synthétiques, teintés par le cobalt ou par le cuivre, fut donc un événement d'importance. Pour ce bleu de cuivre qu'est le bleu égyptien, elle fut le point de départ d'un commerce fructueux, fondé



1. LE BLEU ÉGYPTIEN était d'un usage répandu dans les fresques et l'art statuaire de l'Égypte ancienne, comme en témoigne ce buste de la reine Nefertiti (vers -1350) conservé au Musée égyptien de Berlin.

L'AUTEUR



François DELAMARE a été directeur de recherches au Centre de mise en forme des matériaux à l'École des mines de Paris.

sur un monopole de fabrication, qui allait durer 2500 ans.

L'étude des décors muraux peints retrouvés par les fouilles archéologiques dans l'ensemble du monde méditerranéen met en évidence l'élargissement progressif de l'aire d'utilisation du bleu égyptien.

En -2500, le *hsbd iryt* apparaît dans les décors peints de Cnossos, en Crète minoenne et dans l'île de Kéros, dans les petites Cyclades. Ces exportations sont donc contemporaines des premiers emplois du pigment notés en Égypte. Vers la Crète, elles dureront au moins jusque vers -1400. Appelé *kuwano* par les Minoens, le bleu égyptien sera successivement adopté par les Mycéniens (de -1400 à -1100) sous le nom de *kuanos*, puis du VI^e au I^{er} siècle avant notre ère par les Grecs, sous le nom de *kuanos préparé*. Ces derniers le diffuseront en Ita-

lie préromaine, en particulier en Campanie et en Étrurie.

Comment Rome, qui soumettait ces peuples Italiques, n'aurait-elle pas adopté l'usage de ce pigment sans rival sur le marché ? Effectivement, à partir du III^e siècle avant notre ère, Rome importe du bleu égyptien, qu'elle nomme *cæruleum*. Fabriqué dans la banlieue d'Alexandrie, ville réputée pour le talent de ses verriers, le bleu égyptien arrive à Pouzzoles, alors unique port de Rome. Sur ces importations de la République romaine, nous sommes très mal renseignés, faute de témoins archéologiques. Le seul vestige que nous ayons été mis au jour à Pompéi en 2003 par Marie Truffeau-Libre, archéologue au CNRS (voir la figure 3). Il s'agit d'un élément de décor polychrome, qui témoigne tant de l'existence de décors colorés autres que des peintures murales, que de l'importation de *cæruleum* dans la Pompéi des II^e et, probablement, III^e siècles avant notre ère.

Une première fabrique sur le sol italien 70 ans avant notre ère

Ces importations ont duré jusqu'au règne d'Auguste, au tout début de notre ère. C'était une période où la puissance financière de Rome s'est exprimée par une frénésie de constructions de luxe, en particulier dans les villes campaniennes – Pompéi, Herculaneum et Stabies. Devant l'ampleur des marchés qui s'ouvraient, les appétits se sont aiguisés. Et c'est Vitruve, rédacteur vers -30 d'un célèbre traité sur l'architecture, qui nous le raconte.

Selon Vitruve, vers -70, un homme d'affaires avisé, Vestorius, fonda la première fabrique de *cæruleum* sur le sol italien, dans la banlieue de Pouzzoles. L'existence de cette fabrique est confirmée par des fouilles archéologiques réalisées au XIX^e siècle dans l'un des quartiers occidentaux de Pouzzoles. Idéalement placée en Campanie, cette fabrique coïncide avec la multiplication des décors contenant du bleu trouvés dans les riches villas qui se sont construites à cette époque.

Les difficultés techniques de la fabrication du *cæruleum* (voir l'encadré page 42) ont été manifestement surmontées dans la manufacture de Vestorius. Nous en avons deux témoignages. À partir de cette date, dans les villes campaniennes, foisonnent les décors muraux réalisés avec du



2. UNE JARRE ÉGYPTIENNE avec décor peint de *hsbd iryt* (nom égyptien du bleu égyptien) provenant de Tell el Amarna, vers -1360.

Kunsthistorisches Museum, Vienne

cæruleum, les décors de fontaines utilisant des boulettes cassées en deux comme tesselles (voir la figure 4), ou les peintures d'éléments bleus. Simultanément, les exportations du *cæruleum* de Pouzzoles se multiplient, en particulier vers la Gaule Narbonnaise, comme en témoignent les épaves de caboteurs romains (Planier 3 et la madrague de Giens).

Nous n'avons aucune trace de l'existence d'autres fabriques de ce genre sur le sol italien au I^{er} siècle avant notre ère. Le fructueux monopole de la production et de la vente du *cæruleum* était passé des mains alexandrines à celles de Vestorius.

Différentes qualités de *cæruleum*

Des fouilles réalisées il y a quelques années par Laetitia Cavassa avec le Centre Jean Bérard à Naples (CNRS et École française de Rome) ont montré que plusieurs fabriques de *cæruleum* avaient fonctionné au siècle suivant à Cumes et à Litterne, villes voisines de Pouzzoles. La découverte de leurs importants dépotoirs, constitués des creusets cassés pour en extraire le *cæruleum*, suggère une production importante; elle a aussi permis de reconstituer les différents types de creusets utilisés par les artisans. Ce sont ces fabriques qui fournissaient les marchands de couleurs et les peintres en 79 de notre ère, lorsque Pompéi et Herculaneum furent englouties sous les cendres du Vésuve.

Que trouvait-on dans la gamme des bleus vendus chez les marchands de couleurs? Y avait-il diverses qualités correspondant aux multiples emplois possibles (peinture murale *a fresco* – c'est-à-dire sur enduit frais – ou *a secco*, peinture de chevet, peinture de meubles, cosmétique...)? Pliny l'Ancien cite six qualités de *cæruleum*, dont les prix allaient du simple au double. L'Édit du maximum, promulgué par Dioclétien en 301, confirme l'existence de plusieurs qualités, ainsi que la fourchette de prix. Qu'en était-il en réalité?

Il fallait trouver une collection de pigments bleus de provenance sûre, bien datée et suffisamment abondante pour que l'on puisse espérer y identifier ces différentes qualités marchandes. Il n'y avait pas meilleur choix que Pompéi et Herculaneum, villes où l'on a retrouvé des officines de marchands de couleurs riches en coupel-

3. CET ÉLÉMENT DE DÉCOR polychrome en terre cuite a été découvert en 2003 dans un remblai à Pompéi, dans la « maison du peintre ». Il s'agit d'une tuile qui a été réutilisée, ce réemploi étant daté vers 140 avant notre ère. Le bleu utilisé pour peindre le fond avait donc été importé d'Égypte. C'est le plus ancien témoin de l'emploi du bleu égyptien ou *cæruleum* en Italie.



4. DÉTAIL D'UNE MOSAÏQUE réalisée avec des boulettes de *cæruleum* cassées en deux et utilisées comme tesselles [Pompéi, maison du bracelet d'or. Triclinium, fontaine du nymphée, an 40 de notre ère].

les contenant des pigments non encore employés (voir l'encadré page 42).

Ces pigments ont fait l'objet de nombreux travaux. Les plus célèbres d'entre eux sont ceux du chimiste français Jean-Antoine Chaptal (1809) et du Britannique Humphry Davy (1815), qui sont parmi les premiers travaux d'archéométrie jamais publiés. Plus près de nous, l'œuvre monumentale de l'Italien Selim Augusti (1967) englobe l'ensemble des pigments alors exhumés, mais date d'une époque où les techniques d'analyse étaient moins répandues et élaborées qu'aujourd'hui.

En 2004, j'ai eu la chance de pouvoir étudier l'ensemble des pigments bleus bruts actuellement conservés sur le site de Pompéi et dans les réserves du Musée archéologique de Naples. De cette étude ressortent trois faits remarquables.

Le premier résultat des analyses effectuées : sur les 46 pigments bleus, 44 sont de vrais *cæruleum*. Les deux autres sont de simples verres colorés au cuivre, dénués de toute cuprorivaite. La découverte de l'emploi de verre pilé comme pigment bleu est une première. Elle montre que de simples verriers avaient réussi à prendre une part du marché des *cæruleum*, tout en évitant les difficultés techniques inhérentes à cette fabrication.

À Pompéi, on préférait les bleus clairs

Le deuxième, fruit des mesures colorimétriques effectuées, est que les bleus clairs ont une prédominance écrasante sur les bleus foncés. On pourrait penser que cela est dû à un coût excessif des bleus foncés qui, plus riches en cuprorivaite, nécessitent une durée de chauffage plus longue. Mais une explication d'ordre esthétique est plus probable : les bleus clairs devaient être plus appréciés que les bleus foncés, point qu'il serait intéressant d'approfondir.

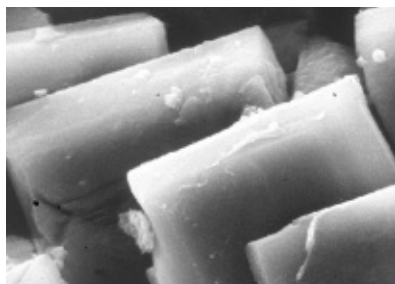
Le troisième fait remarquable est la variété des procédés employés pour obtenir ces teintes claires. Quatre procédés ont été observés. D'abord l'usage d'un simple verre au cuivre, procédé fort économique. Puis le raccourcissement de la durée du maintien à haute température, autre procédé économique. Beaucoup plus fréquemment, on observe le mélange d'un bleu moyen avec une argile blanche. Vient enfin le mélange avec du blanc de plomb, le plus coûteux des pigments blancs. La finalité de ce mélange onéreux pose problème :



Une coupelle contenant du *cæruleum* brut, trouvée à Pompéi.



Un fragment de creuset ayant servi à fabriquer du *cæruleum*, à Cumes.



Dans du *cæruleum* provenant de l'épave dite *Planier 3*, la microscopie électronique a révélé des cristaux de cuprorivaite non broyés.

Fabriquer du bleu égyptien est loin d'être facile, et demande des compétences de verrier. Comment faisaient les Égyptiens ? On l'ignore. Aucun des papyrus qui nous sont parvenus ne donne la recette de fabrication du *hsbd'iryt*. L'inscription de la stèle funéraire du peintre Irtysen (vers -2030) en donne probablement la raison, à savoir un secret jalousement gardé :

« [...] Je sais faire des pigments et des produits qui fondent sans que le feu les brûle et, de plus, insolubles à l'eau. Je ne révélerai cela à personne, excepté moi seul et mon fils aîné, le dieu ayant ordonné qu'il s'exerce en initié, car j'ai remarqué sa compétence à être chef des travaux dans toutes les matières précieuses, depuis l'argent et l'or jusqu'à l'ivoire et l'ébène. » Les arché-

logues ont eu plus de chance avec la Mésopotamie. En effet, des tablettes babyloniennes trouvées à Tell Umar, datées du XVII^e siècle avant notre ère, donnent des recettes (difficiles à traduire) de verres et, en particulier, de verres teintés en bleu par le cuivre. On fabrique un petit nombre de mélanges-maîtres bleus que l'on modifie par addition.

Un autre lot de tablettes, assyriennes celles-ci, provenant de la bibliothèque d'Assurbanipal et datées de -640, relate des recettes de verres bleus au cuivre. Le principe reste le même : on réalise des mélanges-maîtres comme le *tersitu* (un verre bleu) et le *sirsu* (un verre sodo-calcique incolore), que l'on modifie. L'*uknû merku* s'obtient ainsi :

« Tu ajouteras à un *mana* de bon *tersitu* un tiers de *mana* de verre *sirsu* broyé,

un tiers de *mana* de sable, cinq *kisal* de craie, et tu broieras encore. Tu le recueilleras dans un moule, en le fermant avec un moule réplique. Tu le placeras dans les ouvreaux du four et il rougeoiera et *uknû merku* en sortira. » C'est une remarquable recette opérationnelle, où seules les durées ne sont pas indiquées.

Il n'en va pas de même avec la recette que rapporte Vitruve, censée être celle employée à la manufacture de Vestorius : elle n'est ni opérationnelle (les quantités et les températures ne sont pas indiquées) ni complète. Elle montre en revanche que chez Vestorius, on ne parlait pas d'un verre, mais on réalisait une synthèse à partir de différents oxydes. D'où vient cette recette ? Est-ce la recette alexandrine ? Quand serait-on passé, en Égypte, d'une recette à l'au-

tre ? Autant de questions sans réponses. La fabrication du *cæruleum* par le procédé indiqué par Vitruve, simple en son principe, est en fait assez délicate. On chauffe un mélange de sable siliceux, de calcaire, de cuivre oxydé et de fondant (substance qui facilite la fusion) réduits en poudre vers 900 °C durant une trentaine d'heures. Le fondant attaque la silice et forme un verre qui dissout les autres composants. Si l'on arrive à maintenir sa température dans la fourchette 900-950 °C, naissent et se développent au sein de cette matrice les cristaux de cuprorivaite. Dans la pratique, trois conditions doivent être impérativement remplies : la bonne proportion calcium/cuivre, le maintien d'une haute température assez précise sur de longues durées et une atmosphère oxydante.

✓ BIBLIOGRAPHIE

L. Cavassa, F. Delamare et M. Repoux, *La fabrication du bleu égyptien dans les Champs Phlégréens (Campanie, Italie) durant le I^{er} siècle de notre ère*, *Revue Archéologique de l'Est*, 28^e supplément, pp. 235-249, 2010.

F. Delamare, *Bleus en poudres. De l'art à l'industrie, 5000 ans d'innovations*, Les Presses de l'École des Mines de Paris, 2008.

✓ SUR LE WEB

Centre d'étude des peintures murales romaines : <http://www.appa-cepmr.fr/>

à cause du blanc de plomb, on ne peut l'employer pour peindre *a fresco* (l'enduit étant basique, le blanc de plomb devient gris). On pourrait penser à une peinture sur bois ou pierre, ou bien à un usage cosmétique.

Des recettes oubliées à partir du XIII^e siècle

À partir du II^e siècle de notre ère, les fabrications de *cæruleum* se développent dans tout l'empire et bien au-delà. On en constate l'emploi aussi bien à Londres qu'en Lybie, en Ouzbékistan ou en Norvège. Le déclin et la chute de l'Empire d'Occident, aux IV^e et V^e siècles de notre ère, ont entraîné une situation de crise, où la construction d'édifices ornés de décors muraux n'était pas du tout une priorité. Aussi, la plupart des fabriques de *cæruleum* ont disparu.

Mais à chaque retour d'un ordre politique, correspond un renouveau de l'emploi de *cæruleum*. Il en a été ainsi sous la

Renaissance carolingienne et, dans certaines abbayes, jusqu'au XIII^e siècle. Puis ce sera l'oubli, et le remplacement par l'indigo, l'azurite et, plus tard, le smalt, des pigments moins stables.

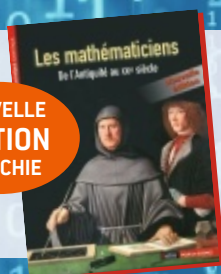
Le *cæruleum* sera redécouvert sur décors romains lors des fouilles de Pompéi, au XVIII^e siècle, et sur décors égyptiens pendant l'expédition d'Égypte (1798-1801). Il suscitera un engouement exceptionnel de la part des chimistes. Au XIX^e siècle, nombreux seront ceux qui essaieront de lui donner une deuxième chance en organisant sa production industrielle. Et au XX^e siècle, des chimistes soviétiques proposeront son emploi pour assurer la pérennité des vastes décors muraux peints comme les aimait le régime alors en vigueur... Ces tentatives n'ont pas eu de suite, en particulier en raison de l'arrivée sur le marché, à partir des années 1830, de pigments plus performants tels que l'outremer artificiel (le bleu Guimet). ■

■ POUR LA

La librairie SCIENCE

Le savoir scientifique au fil des pages...

NOUVELLE
ÉDITION
ENRICHIE



Les mathématiciens ■ Collectif

« Nul ne peut être mathématicien s'il n'a une âme de poète », disait Sophie Kowalevskaia. D'Archimède à Jacques Hadamard, cet ouvrage dresse les portraits d'une vingtaine de mathématiciens, autant artistes que scientifiques.

280 pages • 24 euros • ISBN 978-2-8424-5109-7



À contre-idées ■ Didier Nordon

Trouver du comique dans une idée sérieuse (et inversement), du local dans une idée générale (et inversement), de l'absurde dans une idée sensée (et inversement)... Au fil de ses billets d'humeur, Didier Nordon s'ingénie à bousculer les idées reçues.

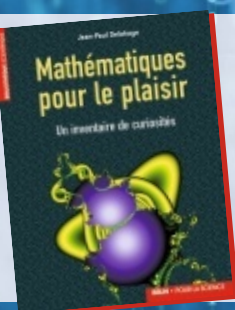
224 pages • 19 euros • ISBN 978-2-8424-5110-3



Au nom de l'infini ■ Jean-Michel Kantor, Loren Graham

Les auteurs retracent un épisode fascinant et dramatique de la création mathématique. Sur les traces de chercheurs russes et français du XX^e siècle, ils nous éclairent sur les liens étroits entre science, religion et politique.

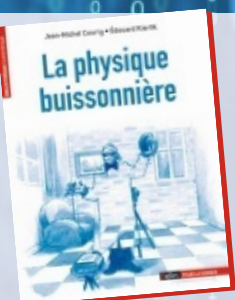
288 pages • 24 euros • ISBN 978-2-8424-5107-3



Mathématiques pour le plaisir ■ Jean-Paul Delahaye

Les mathématiques ne se réduisent pas – heureusement – à ce qu'on nous en apprend à l'école. Partout présentes, elles sont une source de joie et d'épanouissement pour celui qui sait y consacrer un peu d'attention et d'esprit ludique. Dans cet ouvrage, découvrez pourquoi les mathématiques sont faciles et comment s'y adonner est un plaisir.

208 pages • 25 euros • ISBN 978-2-8424-5104-2



La physique buissonnière ■ Jean-Michel Courty, Édouard Kierlik

Une plante plus rapide qu'une mouche, un tuyau qui parle, une cape qui rend invisible, etc. La nature est pleine de surprises pour qui veut bien s'aventurer hors des sentiers battus. Passionnés de physique, les auteurs vous invitent à une promenade sur des chemins de traverse pour comprendre cette physique du quotidien.

160 pages • 22 euros • ISBN 978-2-8424-5105-9

Des livres à découvrir en librairie et sur www.pourlascience.fr

Comment l'ADN réagit sous le soleil

Thierry Douki, Jean-Luc Ravanat, Dimitra Markovitsi et Évelyne Sage

Les rayons ultraviolets solaires provoquent des cancers de la peau, en modifiant l'ADN des cellules de ce tissu. Les mécanismes photochimiques en cause se précisent.

L'ESSENTIEL

✓ Les ultraviolets solaires provoquent des lésions de l'ADN qui peuvent conduire à des mutations.

✓ Jusqu'à présent, on pensait que les ultraviolets B étaient les plus délétères, car ils déclenchent des réactions chimiques entre les bases de l'ADN.

✓ Toutefois, bien qu'ils soient moins absorbés par l'ADN, les ultraviolets A produisent des lésions semblables.

✓ L'identification de ces dommages ou « photoproduits » dans l'ADN permet aux scientifiques de mieux comprendre l'apparition des mutations et des cancers de la peau.

L'exposition au soleil pour avoir une peau hâlée – le bronzage – est une pratique datant du début du XX^e siècle en Europe. Jusqu'au XIX^e siècle, le teint pâle était une preuve d'appartenance à l'aristocratie, alors que la classe ouvrière et paysanne, exerçant son activité en plein air, avait le teint hâlé. Puis la révolution industrielle cantonna les ouvriers dans les usines, loin du soleil, tandis que les classes sociales aisées redécouvraient le tourisme balnéaire. En 1936, avec l'apparition des congés payés, la peau hâlée devint un phénomène de mode.

On découvrit ainsi les méfaits du soleil lors d'une exposition prolongée et les dangers des coups de soleil. Car les rayons ultraviolets du Soleil provoquent des cancers de la peau. On changea la formulation des crèmes solaires – dont les premières apparurent dans les années 1920 – pour qu'elles deviennent des filtres anti-ultraviolets B efficaces, car on pensait que seule cette partie du spectre solaire était délétère pour la peau. Mais par quels mécanismes ?

Dès les années 1960, les chimistes ont étudié les effets des rayons ultraviolets sur l'ADN, support de l'information génétique, des cellules de peau ; ils ont découvert que les ultraviolets B créent des liaisons entre

certaines atomes de la molécule ADN, alors que les ultraviolets A agissent indirectement en altérant divers constituants des cellules de peau. L'effet des ultraviolets A était surtout associé au vieillissement cutané. Les ultraviolets B, bien que moins importants dans le rayonnement solaire qui atteint la peau (nous y reviendrons), semblaient donc plus dangereux.

Toutefois, depuis la fin des années 1990, on sait qu'on ne peut plus négliger l'impact des ultraviolets A : non seulement ils représentent une grande partie du spectre solaire atteignant la peau, mais ils peuvent provoquer des tumeurs chez les animaux de laboratoire.

Nous avons aussi montré récemment qu'ils créent des liaisons chimiques dans l'ADN, comme le font les ultraviolets B. Or ces modifications de la structure chimique de l'ADN peuvent provoquer des mutations génétiques, voire des cancers.

Les Français et le soleil

En 2008, une étude sociologique de la Sécurité sociale et de l'Inserm montrait que si la majorité des Français déclarent être conscients des risques liés à une exposition au soleil, leur comportement sur les plages ne traduit pas cette apparente conviction : moins d'un tiers se protègent et la plupart s'exposent aux heures les plus ensoleillées de la journée. Il n'est donc pas surprenant de constater que le nombre