

L'obsidienne cachée...

...ou comment Murillo a peint deux œuvres sur une pierre rare.

Le visiteur du Musée du Louvre ne peut manquer de s'interroger devant deux tableaux de Bartolomé Esteban Murillo (1618-1682) : quel est ce noir lisse et irisé qui compose le support laissé nu du *Christ au jardin des oliviers* et du *Christ à la colonne* ?

Les historiens d'art ont d'abord pensé que les deux tableaux, conservés au Louvre depuis 1785, quand Louis XVI a acheté la collection du comte de Vaudreuil, étaient peints sur une pierre noire. Puis certains y ont vu du jaspe noir (une roche sédimentaire siliceuse) ou du marbre noir (une roche calcaire). Olivier Meslay, le conservateur des œuvres espagnoles du Musée du Louvre, et Éric Gonthier, du Muséum national d'histoire naturelle, ont découvert qu'il s'agit d'obsidienne, une roche vitreuse et rare qui résulte d'épanchements magmatiques de minéraux siliceux en fusion.

Quels indices ont permis l'identification d'une telle roche ? Le marbre noir est une roche composée de micro-cristaux,

ses cassures sont rugueuses et le grain gros. Or le support des deux tableaux n'est pas ainsi. En revanche, le revers du *Christ au jardin des oliviers* montre des cassures en forme de coquille, typiques de l'obsidienne : cette roche, amorphe, est dépourvue d'une structure cristalline qui orienterait les cassures. Dues au débitage de la pierre, celles qui apparaissent au dos du tableau sont visibles au travers d'une gangue d'un minéral proche de la pierre ponce, qui confirme l'origine volcanique de la pierre.

De plus, l'obsidienne renferme parfois, à sa surface, des bulles d'air minuscules et des fragments de minéraux variés : ces inclusions sont à l'origine des reflets irisés de l'obsidienne. On aperçoit dans un pli du manteau bleu du *Christ au jardin des oliviers* une traînée de bulles que l'artiste a laissée apparente.

Ainsi, en 1670, Murillo a peint sur deux blocs exceptionnels d'obsidienne d'environ deux à trois kilogrammes chacun et d'environ 30 centimètres de côté. D'où proviennent-ils ? Selon François Gendron, du Musée de l'Homme, il s'agit de deux miroirs divinatoires aztèques fabriqués au XV^e ou au XVI^e siècle, ou encore à l'époque de l'invasion espagnole menée par Hernan Cortés (1485-1547). Auparavant,

les miroirs étaient constitués de plaquettes de pyrite cimentées sur une ardoise.

La tradition des miroirs en Mésomérique remonte à la première civilisation de la région, les Olmèques. Ainsi plusieurs miroirs monolithiques (en ilménite, en hématite et en hématisite), datés de 750 à 400 ans avant notre ère, ont été découverts sur le site de La Venta, au Mexique. Cette tradition s'est perpétuée au fil des civilisations, et les miroirs sont devenus des objets divinatoires chez les Aztèques. Selon une légende, quelques années avant la conquête hispanique en 1519, l'empereur aztèque Moctezuma II a vu la chute de sa civilisation dans un miroir situé... sur le front d'une grue cendrée capturée par un chasseur.

Séville, le lieu de résidence de Murillo, était le premier port d'échange avec les Amériques : le peintre, déjà habitué à des supports originaux tel le cuivre ou le bois, s'est donc sans doute vu confier ces deux blocs précieux. Comme ils étaient très lisses, Murillo a utilisé de la bile de bœuf pour mordre en surface l'obsidienne et faire ainsi accrocher la peinture. Cependant, il a laissé intacte la pierre autour des personnages, pour le plus grand plaisir des amateurs d'art, mais aussi, aujourd'hui, des minéralogistes.



Le Christ au jardin des oliviers.



Le Christ à la colonne.

Mâles trompés

Des chimistes créent des molécules qui perturbent le comportement des papillons et protègent les cultures.

Au printemps, dans les cultures maraîchères et horticoles, les noctuelles potagères (*Mamestra brassicae*), des papillons nocturnes, rejouent l'éternel épisode de la reproduction : les femelles libèrent une substance olfactive, nommée phéromone, qui attire les mâles, parfois distants de plusieurs centaines de mètres, et qui les guide vers leur promise. Hélas, par leur appétit, les chenilles qui naissent de cette union nuisent aux cultures, et les exploitants, peu sensibles au romantisme, s'ingénient à se débarrasser de ces insectes.

Pour leur venir en aide, les équipes d'Angel Guerrero, du Conseil supérieur d'investigations scientifiques (CSIC) de Barcelone, et de Michel Renou, de la Station INRA de Versailles, ont mis au point des paraphéromones, c'est-à-dire des substances proches des phéromones de ces papillons, qui désorientent les mâles.

Comment fonctionnent les phéromones naturelles ? La femelle qui désire attirer un mâle libère ces molécules volatiles que le vent transporte. Au gré des courants d'air se forme ainsi un panache de phéromones dont la concentration diminue avec la distance à la femelle. Lorsque ces molécules entrent en contact avec l'antenne d'un mâle, elles pénètrent par des pores à l'inté-

rieur de poils sensitifs nommés sensilles. Là, dans une liqueur sensillaire, elles se fixent à des protéines qui les véhiculent au cœur de la sensille. Les complexes phéromone-protéine se lient alors aux sites récepteurs des neurones olfactifs. L'influx nerveux déclenché renseigne l'insecte sur les désirs d'une femelle éloignée. Enfin, le complexe se dissocie et une enzyme dégrade la phéromone : la protéine est de nouveau disponible pour véhiculer une nouvelle molécule. Ces réactions ont duré quelques millièmes de seconde.

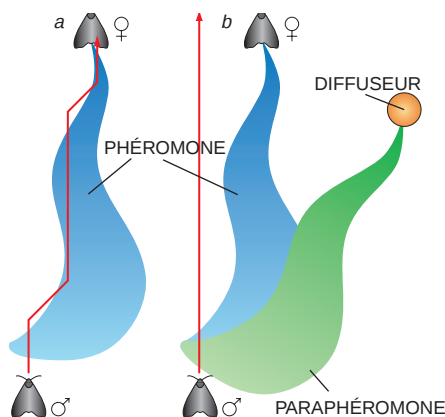
Par l'odeur alléché, le mâle entreprend de remonter le panache de phéromones jusqu'à sa belle. En détectant les variations de concentration de phéromones dans l'air, il ajuste en permanence sa direction.

La plupart des phéromones sont de longues chaînes de carbone (entre 10 et 20) dont l'extrémité porte un groupe chimique nommé acétate ($-COCH_3$). Les chimistes du CSIC ont remplacé le groupe acétate du principal constituant de la phéromone des noctuelles potagères par un groupe trifluorométhylcétone, où trois atomes de fluor se sont substitués aux atomes d'hydrogène de l'acétate. Les paraphéromones de synthèse sont reconnues par les protéines de la liqueur sensillaire, mais ne déclenchent pas la stimulation du neurone sensoriel. La détection de la phéromone est ainsi bloquée et le mâle ne peut plus s'orienter : il manque son rendez-vous (voir la figure).

Placées dans des diffuseurs, ces paraphéromones complèteraient et renforceraient l'emploi de phéromones naturelles dans les stratégies de lutte par confusion sexuelle.



La noctuelle potagère (*Mamestra brassicae*) est un papillon nocturne (à gauche) dont les chenilles ravagent les cultures maraîchères. La femelle attire le mâle par des substances volatiles nommées phéromones qu'il détecte par les poils, ou sensilles, de ses antennes (au centre, en haut). Les phéromones forment un panache (en bleu) où la concentration diminue à mesure que l'on s'éloigne de la femelle. Sensible aux variations de concentration, le mâle rejoint la femelle (a). Exposé à des paraphéromones, c'est-à-dire à des molécules proches des phéromones naturelles (en vert), libérées par un diffuseur (en orange), un mâle ne perçoit plus les variations de concentrations : il manque son rendez-vous avec la femelle (b).



BRÈVES

L'âge des clones

Quand la brebis clonée Dolly est née, les biologistes ont craint qu'elle soit fausement jeune, parce que les extrémités de ses chromosomes, les télomères, semblaient anormalement courtes, comme chez les animaux âgés. Robert Lanza et ses collègues de la Société *Advanced Cell Technology*, ont montré que des bovins clonés avaient, au contraire, des télomères plus longs que la normale, et que leurs cellules se divisaient plus que des cellules normales, dans des cultures.



Des fils très solides

Souvent, dans les scénarios de conquête spatiale, les ingénieurs imaginent l'utilisation de câbles très fins et très résistants, constitués de nanotubes de carbone. Ces câbles pourraient, telles des frondes géantes, envoyer des charges en orbite ou servirait dans de gigantesques ascenseurs. Comment caractériser leur résistance à la traction ? Jusqu'ici, uniquement par des moyens indirects ou théoriquement. Toutefois une équipe de physiciens vient de mesurer la résistance d'une corde tressée avec des centaines de nanotubes, et en a déduit la résistance par nanotube : elle est dix fois supérieure à la résistance de l'acier ou des fibres de carbone.

Par Bérिंग et Panama...

On a découvert des mollusques qui vivaient dans l'océan Pacifique Nord il y a 5,5 millions d'années. Or leurs ancêtres ont aussi habité l'Atlantique Nord. Selon une équipe américaine, ils auraient migré de l'Atlantique Nord vers le Pacifique par le détroit de Bérिंग, alors ouvert. Par ailleurs, on trouve, dans l'Atlantique Nord, des fossiles (3,6 millions d'années) de mollusques originaires du Pacifique Nord. À cette époque, l'isthme de Panama était déjà formé : on en déduit que les mollusques du Pacifique sont remontés vers le Nord, entraînés par un courant contraire à celui qui avait apporté les mollusques de l'Atlantique. Diverses espèces marines ont migré entre les deux océans au gré des mouvements tectoniques.

Moustiques et femmes enceintes

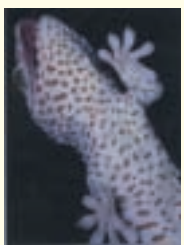
Une étude réalisée en Gambie sur 72 femmes, dont 36 enceintes, montre que ces dernières attirent deux fois plus les moustiques que les autres, à cause des modifications physiologiques et comportementales qui accompagnent leur nouvel état : une femme enceinte expire un volume d'air supérieur à la normale et la température de son abdomen augmente de 0,7 °C, de sorte que sa peau dégage plus de substances volatiles. Les moustiques les repèrent plus facilement. Les femmes enceintes doivent redoubler de vigilance vis-à-vis des moustiques, vecteurs du paludisme dans cette région.

Le champ de la vie

Alors que les molécules chimiques peuvent exister en deux variétés, images l'une de l'autre dans un miroir, les molécules de la vie existent uniquement en une variété. Quel mécanisme a-t-il favorisé ou engendré cette sélection ? Au Laboratoire des champs magnétiques intenses de Grenoble, des physiciens ont réalisé une réaction chimique où l'une de ces deux variétés était produite en plus grande quantité. Comment ? À l'aide d'un champ magnétique statique et de lumière. Ainsi, à une époque de l'histoire de la vie, le champ magnétique aurait pu influencer sur la production des molécules de la vie. Cette découverte relance le débat sur l'origine de la vie. Le champ magnétique terrestre a-t-il été suffisamment important pour favoriser l'émergence de ces molécules ?

Défi à la pesanteur

Le gecko est un lézard tropical qui fait mieux que Spiderman : il marche sur les murs et les plafonds, la tête en bas, aussi facilement que nous marchons sur le sol. Son secret ? Ses



coussinets plantaires comportent des rangées de poils minuscules, ramifiés, composés de kératine, la même protéine que celle des cheveux humains ou des plumes des oiseaux. Une équipe de l'Université de Portland a mesuré, par microscopie à force atomique, les forces que ces poils exercent sur les surfaces contre lesquelles ils se collent. Cette adhérence est due à des forces dites de Van der Waals, et la bonne adhérence résulte de la ramification des poils, les divers segments qui les constituent s'alignant parallèlement au support.

Les problèmes du XXI^e siècle

L'auditoire du Collège de France, un concentré de talents mathématiques, plus le Ministre de la recherche, célébraient le 24 mai, le centenaire des problèmes posés par le mathématicien David Hilbert au Congrès des mathématiciens de Paris. La commémoration était solennelle et les participants étaient émus d'entendre la profession de foi de Hilbert «...Il n'y a pas d'ignorabimus en mathématiques, nous devons savoir, nous saurons», depuis devenu célèbre. Hilbert (*en médaillon*) se trompait, car il a été démontré qu'il existe des propositions indécidables en mathématiques. Il aurait répondu que savoir que l'on ne pourra pas tout savoir est quand même savoir.

Les 23 problèmes posés par Hilbert ont inspiré et guidé les mathématiciens durant tout le xx^e siècle. Douze ont été résolus, huit étaient assez généraux pour qu'ils soient encore des sujets d'intérêt, et l'une des questions non résolues, l'hypothèse de Riemann, reste le plus important problème ouvert des mathématiques. Hilbert avait dit que s'il se réveillait après plusieurs millénaires de sommeil, la première chose qu'il demanderait est : la conjecture de Riemann a-t-elle été démontrée ?

Cette hypothèse est l'un des sept problèmes que les conseillers mathématiciens de l'Institut de mathématiques fondé par Landon Clay ont choisi de poser pour célébrer le nouveau millénaire. Tout mathématicien qui résoudra l'un de ces problèmes sera récompensé par un prix d'un million de dollars.

La tradition des prix à sujet imposé avait presque disparu, et c'était dommage, car certains d'entre eux ont, par le passé, notablement contribué à l'avancement des mathématiques. Ainsi, le prix du roi Oscar de Suède, à la fin du xix^e siècle, a vu le succès des idées de Poincaré sur le problème des trois corps en interaction gravitationnelle, problème qui a inspiré de nombreux continuateurs de Poincaré. Les idées mathématiques avancées par Poincaré restent d'actualité : une de ses conjectures est encore ouverte et constitue l'un des prix Clay. Notons que, signe



des temps, un génèreux industriel a remplacé un royal mécène.

On a quelquefois opposé les mathématiciens qui résolvent des problèmes à ceux qui construisent des théories, les découvreurs aux inventeurs de mathématiques. Ainsi Alexandre Grothendieck est renommé pour être un *theory builder* et son élève Pierre Deligne un *problem-solver*. Michael Atiyah, médaille Fields comme ces deux mathématiciens cités, illustre la différence en expliquant que, confronté à une «vallée mathématique» qu'il faut franchir, Grothendieck construit des strates de théories jusqu'à ce que la vallée soit comblée par les connaissances, tandis que Deligne lance un pont à travers la vallée. La métaphore est saisissante ; toutefois, pour résoudre les problèmes, il faut des

théories sur lesquelles s'appuyer, et ces théories progressent par l'effort commun de la communauté mathématique. Alain Connes pense que les théories nécessaires à la résolution des problèmes posés embelliront le paysage mathématique.

Les mathématiciens ne se préoccupent, comme d'ailleurs nombre de scientifiques, que de ce qui les intéresse. Parmi les théorèmes démontrés, la société reconnaîtra les siens, c'est-à-dire ceux qui sont utiles, mais les mathématiciens se targuent de leur incapacité à identifier, positivement ou négativement, les parties inutiles des mathématiques. Leur «égoïsme» produit un bien commun d'un grand intérêt social : par un miracle que nul n'explique, des préoccupations d'intellectuels qui n'ont rien à voir avec la réalité fécondent les sciences. Et les grandes civilisations ont toutes encouragé les mathématiques qui contribuent à leur pérennité glorieuse : les Grecs sont renommés pour leur culture et non pour leur réussite économique.

Le congrès de 1900 réunissait 226 mathématiciens seulement, alors que, dans un congrès de mathématiques annuel aux États Unis, plus de 5 000 mathématiciens sont représentés. En 1900, l'intégralité du savoir mathématique tenait dans 80 volumes, il en faudrait 10 fois plus aujourd'hui... Alors pourquoi sept problèmes seulement ? Parce qu'il était plus noble de limiter le nombre des problèmes et de leur attribuer une grosse récompense ? Un million de dollars est une somme et, 23 millions de dollars, cela faisait beaucoup...

PROBLÈMES DU MILLÉNAIRE

Le problème *P* versus *NP*

C'est samedi soir et vous arrivez dans une soirée au milieu de nombreux invités. Timide, vous vous demandez combien de personnes vous connaissez déjà dans la pièce. Votre hôte vous informe que vous devez certainement connaître Julie, la femme qui se trouve à côté de la table du fond. En une fraction de seconde, vous pouvez jeter un coup d'œil et vérifier si votre hôte a raison. En revanche, si votre hôte ne vous dit rien, vous serez dans l'obligation de faire le tour de la pièce et d'aller voir chaque personne une par une. Voici l'exemple type du phénomène montrant que chercher une solution prend souvent plus de temps que de vérifier l'exactitude d'une solution.

De même, trouver un diviseur de 13 717 421 prend beaucoup plus de temps que de vérifier que ce nombre est égal à 3 607 fois 3 803. Les mathématiciens ont isolé une classe de problèmes qui peuvent être résolus en un temps efficace : les problèmes à temps polynomial. Le problème *P* versus *NP*, formulé par Stephen Cook en 1971, demande si une solution qui peut être vérifiée en un temps polynomial peut également être trouvée en un temps polynomial.

L'hypothèse de Riemann

Certains nombres entiers ont la particularité de ne pas pouvoir être exprimés comme le produit de deux nombres entiers plus petits qu'eux mêmes (par exemple : 2, 3, 5, 7, ... 53, ..., 1 999, ... etc.). Ils sont appelés nombres premiers et jouent un rôle très important dans les mathématiques fondamentales et leurs applications (comme la cryptographie). Bien qu'elle ne semble pas obéir à une règle, la répartition des nombres premiers parmi les entiers est étroitement liée au comportement d'une fonction « $\zeta(s)$ » (lire «dzéta de s») découverte par Euler. L'hypothèse de Riemann affirme que les solutions intéressantes de l'équation $\zeta(s) = 0$ se situent sur une droite. L'hypothèse de Riemann a été vérifiée numériquement pour les 1 500 000 000 premières solutions. Elle contient la clef des mystères entourant la distribution des nombres premiers.

La conjecture de Poincaré

Traçons une courbe fermée (mais qui ne se recoupe pas) à la surface d'un ballon (sphère). Si l'on découpe le ballon le long de cette courbe, on obtient deux morceaux différents. Cependant, cela n'est pas toujours le cas pour des surfaces un peu plus compliquées, comme une chambre à air de vélo (surface appelée «tore» par les mathématiciens). On dit que la sphère est simplement connexe (alors que le tore ne l'est pas). Il est facile de démontrer que toute surface simplement connexe qui est finie (que l'on peut enfermer dans une boîte) et sans bord, est nécessairement la surface d'un objet sphérique. Poincaré a conjecturé qu'une telle caractérisation des objets sphériques continue à être vraie si l'on passe des surfaces à deux dimensions aux espaces à trois dimensions.

Cette question s'est révélée extrêmement difficile et résiste depuis un siècle aux efforts des mathématiciens.

La conjecture de Hodge

Au XX^e siècle, les mathématiciens ont découvert des façons efficaces de décrire la géométrie des objets complexes. L'idée de base est de se demander comment reconstituer la forme d'un objet complexe en assemblant des formes géométriques simples de dimension croissante. Cette technique s'est révélée si puissante qu'elle a permis de créer une multitude d'outils

appelés théories de cohomologie. Grâce à ces théories, les mathématiciens ont effectué d'énormes progrès dans la classification des objets mathématiques. Malheureusement, les origines géométriques de la théorie ont disparu, au fur et à mesure qu'il est devenu nécessaire d'ajouter des éléments qui n'ont plus rien à voir avec la géométrie. La conjecture de Hodge suggère que, pour certains types d'espaces «élégants» (définis par des équations algébriques), les éléments appelés cycles de Hodge peuvent être interprétés comme une combinaison de formes géométriques d'origine algébrique.

La conjecture de Birch Swinnerton-Dyer

Les mathématiciens ont toujours été fascinés par le problème consistant à trouver des solutions aux équations algébriques comme : $x^2 + y^2 = z^2$.

La question de base est de chercher des solutions où x , y , et z sont des nombres entiers. Pour l'équation ci-dessus, on sait depuis Euclide décrire toutes les solutions, mais, pour des polynômes plus compliqués, cela devient extrêmement difficile. En fait, Yu Matijasevich a montré en 1970 que le dixième problème d'Hilbert a une réponse négative, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de méthode générale pour savoir si une telle équation a une solution composée d'entiers! Cependant, pour une classe très importante d'équations appelées courbes elliptiques de genre un, la conjecture de Birch Swinnerton-Dyer dit que la taille du groupe de solutions rationnelles dépend du comportement près de $s = 1$ d'une généralisation de la fonction $\zeta(s)$ associée à la courbe.

Équations de Navier-Stokes

Les équations de Navier-Stokes gouvernent la mécanique des fluides, qui joue un rôle crucial dans un très grand nombre de phénomènes allant du contrôle des turbulences aérodynamiques aux prévisions de la météorologie.

Bien que ces équations datent du XIX^e siècle, notre compréhension de leurs solutions reste minime. Le problème est de décider si ces équations admettent des solutions et d'obtenir une théorie mathématique rigoureuse qui permette d'expliquer et de prédire le comportement des solutions des équations de Navier-Stokes.

Équations de Yang-Mills

Les lois de la physique quantique jouent aux échelles microscopiques un rôle analogue à celui des lois de Newton, qui régissent la mécanique classique du monde macroscopique.

Il y a près d'un demi-siècle, deux physiciens Yang et Mills ont découvert une relation étonnante entre la physique des particules élémentaires et la géométrie des espaces fibrés. Ils ont obtenu une équation fondamentale qui porte le nom d'équation de Yang-Mills et dont on vérifie quotidiennement les prédictions expérimentales dans les accélérateurs de particules du monde entier, comme à Brookhaven, à Stanford, au CERN, ou à Tsukuba. Cependant, il n'y a aucune preuve mathématique de l'existence des champs quantiques gouvernés par les équations de Yang-Mills et la question, essentielle pour la physique, du confinement des quarks est un problème d'une difficulté mathématique considérable. La solution de ce problème nécessitera sans doute l'introduction d'idées nouvelles aussi bien du point de vue des mathématiques que de celui de la physique et devrait permettre de lever le voile sur un des grands mystères du monde microscopique.

Le sixième sens des blattes

Les cafards réussissent (trop) souvent à échapper au coup rageur qui devrait les écraser. Des physiciens de l'Université de Princeton ont montré



que les blattes portent, sur deux appendices postérieurs, des poils minuscules qui leur permettent de détecter la direction et la vitesse du vent. Ces capteurs sensoriels transmettent l'information à des neurones qui commandent les réactions de l'animal. Ce mécanisme de détection ultra sensible les protège des prédateurs.

Anti-VIH et nécrose de la hanche

Les antiprotéases, qui empêchent le virus responsable du SIDA de se multiplier, ont notablement augmenté l'espérance de vie des personnes séropositives. Pourtant, l'administration régulière de ces molécules aurait quelques conséquences néfastes pour la santé : on a constaté que les personnes traitées souffrent parfois d'une nécrose douloureuse de la tête du fémur. Les antiprotéases perturbent le métabolisme des graisses : la quantité de graisse dans le sang augmente, de sorte que, pour un même flux sanguin, les os sont moins bien irrigués et se dégradent. Quand cette nécrose est diagnostiquée assez tôt, on sait la traiter ; sinon, on doit implanter une prothèse de hanche, mais l'opération n'est pas dénuée de risques chez les personnes immunodéprimées.

Rotation de la graine

La partie solide du noyau terrestre, la graine, tourne plus vite que le reste de la Terre : elle effectue une révolution supplémentaire autour de son axe tous les 2 400 ans. En 1996, après l'analyse des enregistrements, en Alaska, d'ondes sismiques provenant de tremblements de terre survenus dans les îles Sandwich, en 1968 et en 1996, on avait déjà supposé l'existence de ces mouvements surprenants du cœur de la Terre : les ondes étaient parvenues plus vite en Alaska en 1996 qu'en 1968 ! John Vidale et ses collègues de l'Université de Californie ont analysé les ondes produites lors de deux essais nucléaires soviétiques qui ont eu lieu en 1971 et 1974. L'analyse de la réflexion de ces ondes sur des hétérogénéités dans la graine confirme que la rotation différentielle de la graine par rapport au manteau et à l'écorce terrestre est de 0,15 degré par an.

Des villes englouties

Découverte de deux cités antiques égyptiennes au large d'Alexandrie

Deux ville égyptiennes, datant probablement du VI^e siècle avant notre ère, ont été découvertes sur les fonds sous-marins de la baie d'Aboukir, à quelques kilomètres d'Alexandrie. Après deux ans de repérages, les équipes de l'explorateur Frank Goddio et du Conseil supérieur des antiquités égyptiennes ont sorti les premières statues de la Méditerranée, où elles gisaient à moins de dix mètres de profondeur. Notamment, une tête de pharaon, un buste du dieu Séraphis et une statue décapitée d'Isis en granite noir ont été mis au jour.

Les nombreux vestiges découverts sont répartis sur deux sites. Le premier se trouve à deux kilomètres au large d'Aboukir et comporte des fondations de monuments, des statues, principalement liées au culte d'Isis, et de nombreux objets (céramiques, pièces de monnaie, bijoux...). Les plongeurs ont aussi retrouvé les parties manquantes du «Naos des décades», une chapelle de basalte dont un fragment, trouvé à Aboukir en 1777, est exposé au Musée du Louvre. Cette chapelle, du IV^e siècle avant notre ère, était gravée de tableaux et d'inscriptions représentant et commentant les 36 décades, des périodes de dix jours déterminées par l'apparition et la dispa-

rition dans le ciel d'étoiles nommées décans. Elle témoigne des origines de l'astrologie classique, où les décans sont devenus des subdivisions des douze signes du zodiaque. Le second site, à six kilomètres des côtes, correspond aux vestiges d'une cité entière, en parfait état de conservation, répartis sur un kilomètre carré : on y a notamment identifié des ruines d'habitations, de temples, d'infrastructures portuaires. La statuaire y est également largement représentée.

Dès 1929, on avait établi, d'après l'étude des textes anciens, que les villes d'Hérakleion et de Ménouthis devaient se trouver sous les eaux, à quelques kilomètres des côtes. La présence de Ménouthis fut confirmée quelques années plus tard par des observations aériennes et par celles d'un scaphandrier. Celui-ci avait même récupéré la base du Naos des décades, exposée au Musée gréco-romain d'Alexandrie. Cependant, la plupart des vestiges, recouverts d'une épaisse couche de sédiments, avaient échappés au repérage que les instruments modernes de détection ont enfin permis. En revanche, la cité d'Hérakleion n'avait jamais été repérée.

La lecture des papyrus et des épigraphes anciens enseigne que le Nil avait autrefois une branche dans la région d'Aboukir, au bord de laquelle se trouvait la ville de Canope, reliée à Alexandrie par un canal. Puis venait Ménouthis, faubourg de Canope et enfin Hérakleion, à l'embouchure. Port maritime de l'Égypte sur la Méditerranée au Nouvel Empire, c'était une ville douanière au commerce florissant, mais qui fut ensuite sup-



Les plongeurs ont retrouvé des fragments du Naos des décades, une chapelle couverte de hiéroglyphes, qui sont les plus anciens témoins connus de l'astrologie classique.

Christoph Gerbig, Hill Foundation/Frank Goddio/Discovery Channel