

Le bleu des Mayas

Pourquoi il résiste au temps.

Les façades de nos cathédrales gothiques ont aujourd'hui la couleur de la pierre : les peintures qui les ornaient autrefois ont disparu en quelques siècles (et sont même sorties de notre mémoire collective). Comment fabriquer des peintures qui résistent au temps ? La civilisation maya, qui domina une partie de l'Amérique centrale pendant près de 2 000 ans, avait surmonté cette difficulté, au moins pour la couleur bleue : des fresques et des poteries millénaires ont conservé cette couleur, malgré l'humidité et la chaleur. Hasard ou maîtrise technique, la structure de ce pigment ne ressemble à aucune autre : tout semble comme si les Mayas utilisaient les connaissances les plus récentes de la science des matériaux.

La peinture bleue des Mayas est un mélange d'indigo, colorant végétal, et d'ar-

gile, majoritairement de la palygorskite (un silicate d'aluminium et de magnésium). Une recette de préparation a été publiée dans les années 1960 : on chauffe à 150 °C, pendant une vingtaine d'heures, un mélange d'indigo synthétique et de palygorskite. Les Mayas extraient l'indigo des branches d'un arbuste nommé *xiquilit*.

Comment la peinture ainsi fabriquée et déposée sur des fresques a-t-elle résisté aux intempéries et aux attaques de la végétation ? Des expériences ont montré que le bleu maya résiste aux réactifs acides, basiques, oxydants ou réducteurs pas trop concentrés, et qu'il n'est pas altéré par la biocorrosion. La molécule d'indigo est pourtant beaucoup plus fragile.

Pour expliquer cette robustesse, une équipe de physico-chimistes mexicains a prélevé des échantillons de bleu maya sur des fresques de l'époque épique (entre 700 et 1 200 de notre ère) et les a observés au microscope électronique. Elle a découvert que les cristaux de palygorskite sont légèrement déformés par rapport aux cristaux de la palygorskite extraite d'une ancienne mine : les plans atomiques du réseau cristallin sont plus espacés. Les molécules d'indigo pourraient donc s'insérer dans l'argile, ce qui les protégerait contre les dégradations.

En outre, à côté des cristaux de palygorskite, la peinture bleue des Mayas contient des particules métalliques, plus ou moins oxydées, enrobées dans de la silice amorphe. Ces particules, de quelques nanomètres de diamètre, sont composées surtout de fer, apporté par le *xiquilit* qui en est riche.

Une suspension de particules de tailles inférieures aux longueurs d'onde de la lumière visible diffracte celle-ci différemment selon la taille et la dispersion des particules : Michael Faraday, en particulier, a montré, au milieu du XIX^e siècle, que la couleur de suspensions d'or passaient ainsi du vert-jaune au bleu. Les particules de fer présentes dans le bleu Maya contribueraient donc aussi à sa coloration. □



G. Dagli-Orti

La peinture bleue des fresques de Cacaxtla (aujourd'hui au Mexique), peintes par les Mayas vers 900, a résisté au temps grâce à une composition chimique originale.

Vers le Sri Lanka

Source de devises, le tourisme de masse vers les pays en développement a de multiples conséquences négatives et prévisibles.

Le tourisme mondial explose : en 1970, 160 millions de personnes ont voyagé de par le monde ; ces voyageurs ont été 455 millions en 1990. Ils devraient être 637 millions en l'an 2000.

Cette fièvre des voyages qui gagne surtout les pays industrialisés contraste avec la précarité des habitants de nombreux pays en développement, où règnent souvent une démographie galopante, la pauvreté, des ressources alimentaires insuffisantes et le chômage. À cela s'ajoute une dépendance vis-à-vis des marchés mondiaux, une dette extérieure élevée et un manque des capitaux. On comprend que ces pays pauvres, mais souvent dotés de richesses culturelles ou naturelles, encouragent le tourisme, source de devises et d'emplois. Ce choix occulte les conséquences socioculturelles et écologiques du tourisme de masse.

Sri Lanka, l'ancienne île de Ceylan (17 millions d'habitants), est l'une des destinations favorites des touristes occidentaux. En 1994, plus de 408 000 touristes ont passé leurs vacances sur cette île de l'océan Indien. Le gouvernement sri lankais voudrait que, d'ici 2001, la capacité d'accueil double et que les revenus du tourisme triplent, pour atteindre près de quatre milliards de francs.

Pour que ces prévisions se confirment, il faudrait que la guerre civile qui a commencé en 1983 entre la majorité des Cinghalais et la minorité des Tamouls s'achève. Quoiqu'il advienne, on peut déjà mesurer les conséquences de l'essor du tourisme international qui eut lieu au cours des années 1960.

Les conséquences du tourisme international dépendent du nombre des vacanciers, de l'argent qu'ils dépensent ainsi que du stade de développement du pays visité. Au Sri Lanka, en 1994, le tourisme a représenté la deuxième source de revenus, juste après l'industrie textile. Toutefois, ces ressources sont soumises à divers facteurs incontrôlables, tant internes qu'externes : elles dépendent de la stabilité sociale et politique du pays, de la conjoncture économique internationale, des destinations qui sont à la mode parmi les touristes et des prix pratiqués par les agences de voyages.

PROFITS MAL PARTAGÉS

Qui profite de ces devises ? Au Sri Lanka, les populations les plus pauvres n'en tirent guère avantage, car leur seul contact avec les touristes se limite souvent à la vente de souvenirs dans la rue. On estime qu'en 1994, environ 84 000 personnes de l'île ont été employées par l'industrie du tourisme, 35 000 directement (par exemple le personnel hôtelier ou les employés des agences de voyages) et 49 000 indirectement (les vendeurs des rues par exemple). Ce chiffre représente environ 1,5 pour cent des salariés. D'ici l'an 2001, 53 000 emplois supplémentaires devraient être créés.

Toutefois, durant cette période, le nombre total des salariés devrait quadrupler, de sorte que l'augmentation des salariés dans le secteur du tourisme ne représentera que 2,5 pour cent de la

croissance du marché du travail. En outre, les emplois de ce secteur sont soumis aux variations du nombre des touristes, le nombre d'emplois diminue pendant la mousson et la couverture sociale des employés est minimale. Devant le nombre des demandeurs d'emploi, les licenciements expéditifs sont fréquents.

Les salaires dans le secteur du tourisme vont de 1 700 francs par an (pour une femme de chambre) à plus de 40 000 francs pour un directeur d'hôtel. Sur le milliard de francs que les touristes ont dépensé en 1994, 240 millions de francs seulement (soit environ 24 pour cent) sont revenus aux employés, 170 millions de francs pour les 35 000 employés directs et 70 millions pour les 49 000 personnes qui bénéficient indirectement du tourisme. Le nombre de ces employés indirects suit la demande de la haute saison. Pendant la basse saison, la concurrence est féroce et les revenus s'effondrent. De surcroît, les prix augmentent dans les hauts lieux touristiques, ce qui diminue le pouvoir d'achat des populations locales.

Le tourisme entraîne également une augmentation de la consommation d'énergie, en raison des installations de climatisation ou des équipements frigorifiques dont s'équipent les hôtels. En deux semaines, un touriste consomme plus d'énergie qu'un habitant de l'île en une année ! Pour circuler sur l'île, 2 500 voitures particulières sont réservées aux touristes ; plusieurs milliers de taxis sont presque exclusivement utilisés par les étrangers.

Le tourisme sexuel est devenu un fléau pour le Sri Lanka qui attire particulièrement les pédophiles. On estime que 50 000 femmes et 30 000 enfants – surtout des garçons de 6 à 15 ans – se prostituent, poussés à cette extrémité par la misère. Cette situation favorise la propagation des maladies sexuellement transmissibles, notamment celle du VIH, le virus responsable du SIDA.

Outre l'alcool, diverses drogues dures sont disponibles, à la demande des tou-



Plage de Sri Lanka vierge (à gauche) et après son ouverture aux touristes (à droite).

ristes. Leur consommation est formellement interdite sur l'île, et il faut une licence pour vendre de l'alcool, mais la police locale est vénale. Cette corruption favorise la criminalité. La mendicité a fait son apparition dans les centres touristiques. Ce sont souvent des enfants qui assurent ainsi une partie du revenu familial, mais ne vont plus à l'école, qui est pourtant gratuite au Sri Lanka.

En outre, les besoins en eau d'un touriste qui, dans un hôtel de luxe, dépassent 300 litres par jour, sont six fois plus élevés que ceux d'un habitant de l'île. Or, dans certaines régions, les ressources en eau sont limitées et l'eau est indispensable à l'irrigation des champs. Sur les côtes, les eaux usées des complexes hôteliers sont généralement déversées dans la mer sans épuration. Les récifs coralliens sont menacés, et la disparition de cette barrière naturelle exposerait les côtes surpeuplées à la houle. De nombreuses décharges sauvages enlaidissent le paysage.

La demande en souvenirs fabriqués avec du corail ou avec de la peau de serpent constitue une menace supplémentaire pour la faune ; diverses espèces non protégées sont menacées, les langoustes, par exemple, y sont surpêchées.

VERS UN TOURISME VIABLE ?

Il n'est pas de tourisme qui préserve la nature et la culture locales. Tant que l'objectif principal de l'industrie internationale du tourisme restera le profit maximal, les aspects culturels, sociaux et écologiques passeront au second plan. Le tourisme a déjà profondément modifié le Sri Lanka, mais on pourrait atténuer certaines conséquences négatives en prenant des mesures appropriées qui respecteraient la structure sociale et l'environnement.

On pourrait diminuer le nombre de vacanciers en augmentant les prix. Les populations locales pourraient être consultées pour planifier le tourisme. La lutte contre la prostitution et surtout contre le tourisme pédophile devrait être une priorité absolue. Les zones dont l'écosystème est fragilisé devraient être interdites au tourisme, les sources d'énergie renouvelable privilégiées. Le tri sélectif et le recyclage des ordures devraient être mis en place. Enfin, on pourrait améliorer le transport ferroviaire pour limiter le nombre de véhicules réservés aux touristes. Si toutes ces mesures étaient appliquées, le tourisme au Sri Lanka, et dans les pays en développement, serait sans doute viable.

Wilfrid BACH et Stefan GÖSSLING,
Institut pour l'Écologie des paysages,
Université de Münster, Allemagne.

Anti-Nobel

Ne reproduisez pas ces recherches !

L'automne est traditionnellement la saison des prix. En science, le prix Nobel, le plus prestigieux, n'est attribué que dans six domaines : physique, chimie, médecine, économie, littérature et paix. Les prix Ig Nobel, décernés par la revue *Annales de la recherche improbable*, basée à l'Université Harvard, sont plus nombreux et plus variés. Ils récompensent des travaux «que l'on ne peut pas ou que l'on ne devrait pas reproduire». L'humour (même involontaire), l'excentricité ou la bêtise sont des qualités utiles pour obtenir un prix Ig Nobel. Le palmarès ne connaît toutefois pas l'élitisme : les lauréats ne sont pas nécessairement des scientifiques.

La France est honorée par l'attribution du prix Ig Nobel de la paix à Jacques Chirac, Président de la République, «pour la commémoration du 50^{ème} anniversaire d'Hiroshima par des essais de bombes atomiques dans le Pacifique». Les précédents lauréats français étaient Jacques Benveniste (chimie, 1991) «pour sa découverte que l'eau est un liquide intelligent et pour sa démonstration que l'eau se souvient des événements longtemps après que toute trace en ait disparu», un groupe d'Éclaireurs de France (archéologie, 1992) pour le nettoyage des parois d'une grotte qui portaient des peintures préhistoriques, et Louis Kervran (physique, 1993) «pour sa conclusion que le calcium des

coquilles d'œufs de poule est produit par fusion froide».

Cette année, Robert Matthews, de l'Université d'Aston, en Grande-Bretagne, remporte le prix Ig Nobel de physique «pour ses travaux sur la loi de Murphy, en particulier pour sa démonstration que les tartines tombent toujours du côté beurré» (voir *Le principe anthropomorphique*, par Ian Stewart, *Pour la Science*, janvier 1996). Les jurés Ig Nobel semblent particulièrement apprécier les travaux en relation avec l'alimentation : en 1995, trois lauréats avaient partagé le prix de physique pour la publication d'un article sur les «conséquences de la teneur en eau sur le comportement vis-à-vis du compactage des flocons de céréales pour petit déjeuner». Le prix de chimie 1996 concerne aussi des activités nutritionnelles : George Goble, de l'Université Purdue, l'obtient pour «le record du monde de vitesse d'allumage d'un barbecue (trois secondes) avec du charbon et de l'oxygène liquide».

En sciences de la vie, le prix de médecine a été partagé entre cinq dirigeants des Sociétés *R.J. Reynolds*, *U.S. Tobacco*, *Lorillard*, *Philip Morris* et *Brown and Williamson Tobacco*, toutes productrices de cigarettes «pour la découverte, dont ils ont témoigné devant le Congrès des États-Unis, que la nicotine ne provoque pas d'accoutumance». Le prix de biologie revient à Anders Baerheim et Hogné Sandvik, deux chercheurs norvégiens de l'Université de Bergen, pour leur article intitulé *Effets de la bière, de l'ail et de la crème fraîche sur l'appétit des sangsues*. Enfin, un prix Ig Nobel de santé publique a été décerné à Ellen Kleist, de Nuuk, au Groenland, et Harald Moi, d'Oslo, en Norvège, auteurs de l'article *Transmission des blennorragies par l'intermédiaire d'une poupée gonflable*.

... ET, HORS CONCOURS,
LE PRIX IG NOBEL DE LA PAIX
A MONSIEUR NOBEL,
INVENTEUR DE LA DYNAMITE !



Chimie paléolithique

Il y a 40 000 ans, les habitants de l'actuelle Syrie travaillaient le bitume.

Quand l'homme a-t-il commencé à transformer la matière ? Des traces de bitume sur des silex datés d'environ 40 000 ans, découverts en Syrie, font reculer de plus de 30 000 ans l'ancienneté du travail de ce matériau : ce bitume a été chauffé, probablement pour en faciliter l'utilisation comme colle.

Le bassin d'El-Kowm, en Syrie centrale, est situé entre Palmyre et l'Euphrate. Au centre de cette dépression, sur le versant Nord du plateau de Qdeir, le site d'Umm-el-Tlel a été occupé quasi continuellement par l'homme depuis environ 500 000 ans.

Trois niveaux sédimentaires successifs du Paléolithique moyen ont livré 14 pièces de silex qui portent des traces noires dont les analyses chimiques montrent qu'il s'agit de bitume. Ces niveaux ont environ 40 000 ans : la datation, par carbone 14 et par thermolumi-

nescence (H. Valladas et N. Mercier, CEA-CNRS), des couches qui se trouvent juste au-dessus donne un âge de 34 000 à 36 000 ans.

Les silex tachés de bitume n'ont pas été enfouis postérieurement à la formation de ces niveaux sédimentaires : selon une analyse micromorphologique du terrain, celui-ci n'a pas été bouleversé. Les traces de bitume ne résultent pas non plus d'une pollution par des hydrocarbures modernes. Les moteurs diesel les plus proches, utilisés pour pomper de l'eau depuis les années 1970, sont situés à plus de 50 mètres du lieu de la découverte et à un mètre en contrebas des couches concernées. En outre, la composition chimique des huiles de moteurs utilisées est très différente de celle du bitume.

Les analyses physico-chimiques confirment l'origine naturelle de ce bitume. Il contient en outre du T-alkyle-benzène,

du fluoranthène, du pyrène et du phénanthène, hydrocarbures aromatiques absents du bitume naturel, mais qui abondent dans les résidus de combustion et dans les cendres. Le bitume présent sur les silex a donc été en contact avec un foyer, probablement pour être ramolli par chauffage.

DES USAGES MULTIPLES

À quoi ce bitume servait-il ? Parmi les pièces qui en portent des traces, nous distinguons trois ensembles qui démontrent la diversité des usages du bitume. Sur six outils, la position du bitume vis-à-vis des meilleurs tranchants laisse penser qu'il aurait servi de colle pour maintenir un manche. Sur un racloir, les lignes de bitume suivent régulièrement, à un centimètre, les bords aux tranchants les plus réguliers. Cette régularité a été obtenue par des retouches lors du dépôt du bitume. Un autre silex est couvert de nombreuses traces de bitume, sauf sur son seul bord tranchant, qui a été réaffûté.

Le deuxième ensemble de silex comprend deux éclats où la répartition du bitume évoque un contact direct, volontaire ou involontaire, sur le tranchant. L'analyse tracéologique de l'une de ces pièces (H. Plisson, CNRS) révèle une probable action de grattage, postérieure aux dépôts de bitume. Ce dernier aurait donc été utilisé comme élément d'une chaîne opératoire : grattage d'un objet recouvert de bitume ou utilisation du bitume pour le traitement particulier d'un objet.

Le troisième groupe, composé de simples éclats à la surface desquels le bitume est réparti au hasard, indifféremment avant ou après le débitage, prouve que le bitume a été travaillé sur place. Ces traces ne seraient en effet que des éclaboussures : nos expérimentations montrent que, même en étant très soigneux, il est impossible de travailler le bitume sans en répandre sur d'autres objets que ceux auxquels il est destiné.

En l'absence de gisement naturel sur le site d'Umm-el-Tlel, le bitume était apporté par l'homme. D'où provenait-il ? Deux gisements de bitume ont été repérés à plus de 40 kilomètres, mais selon les analyses chimiques, celui retrouvé sur les pièces n'en provient pas. Indépendamment de ces gisements, des galets de bitume isolés, toujours distants de plusieurs dizaines de kilomètres, témoignent de l'existence de sources que nous n'avons pas encore localisées.

Éric BOËDA, Université Paris X, Jacques CONNAN, *Elf-Aquitaine* et Sultan MUHESEN, Direction générale des antiquités et des musées de Syrie



Éric Boëda

Les traces noires à la surface de ce racloir taillé il y a 40 000 ans sont des résidus de bitume naturel chauffé. Le bitume aurait servi à fixer un manche (zone grise sur le dessin à gauche).