

Les derniers hiéroglyphes

Les rongorongo, hiéroglyphes de l'île de Pâques, témoignent d'une écriture.

Depuis leur découverte, au milieu du XIX^e siècle, les hiéroglyphes de l'île de Pâques, les *rongorongo*, résistaient au décryptage. Aussi, de nombreux linguistes pensaient qu'il ne s'agissait pas d'une écriture, mais d'un support mnémotechnique pour psalmodier des chants. Par des approches différentes, deux linguistes, Konstantin Podzniakov, à Saint-Petersbourg, et Steven Fisher, à Auckland, ont montré que les signes gravés sur les 26 tablettes de bois retrouvées représentent une véritable écriture.

Ces tablettes sont difficiles à dater. Entre la découverte de l'île en 1722 et l'apparition de la première tablette, plus de 100 ans après, aucun des explorateurs et des visiteurs de l'île ne mentionne de tablettes ou d'écriture. Selon la tradition orale, les tablettes auraient été apportées par les premiers Polynésiens qui débarquèrent sur l'île vers le V^e siècle de notre ère. Elles étaient gardées dans des lieux secrets, inaccessibles aux étrangers. Lorsque, en 1871, les explorateurs s'intéressent enfin aux tablettes, presque toute la population de l'île (quelques milliers d'habitants)

avait été déportée en esclavage par les pirates péruviens pour travailler dans des mines du Pérou. Les quelques dizaines de Pascuans qui en revinrent ne savaient ni lire ni graver les caractères.

Pour déchiffrer les hiéroglyphes, S. Fisher, a utilisé un bâton conservé à Santiago et qui avait appartenu à un dignitaire de l'île. Cet objet, couvert de signes, contient 97 traits verticaux délimitant, par couple, une série de signes. Le premier signe de chaque série délimitée par deux traits verticaux porte un appendice de forme phallique, qui se répète ensuite tous les trois signes : les signes du bâton de Santiago sont regroupés en triades, retrouvées ensuite sur deux autres tablettes, dont la petite tablette de Santiago (voir la figure). Les «phrases», situées entre deux traits, sont toutes des répétitions de triades de la forme X'YZ, où X' désigne le signe associé à l'appendice phallique, Y et Z les signes suivant immédiatement X'.

S'inspirant d'un chant pascuan recueilli en 1886, S. Fisher a traduit une triade du bâton de Santiago formée par un motif d'oiseau portant le signe phallique, suivi d'un signe de poisson, puis

d'un soleil, par la formule : «Tous les oiseaux (X) se sont accouplés (Y) avec les poissons (Z) pour engendrer le Soleil (Z).» Les tablettes sur lesquelles ce système de triades peut être repéré sont vraisemblablement des chants célébrant la création du monde, fréquents dans les cultures polynésiennes. Les *rongorongo* seraient ainsi une écriture mixte : une partie des signes représente des mots en rapport avec des choses ou des êtres vivants (signes logographiques), une autre décrit un acte sans recours au langage (par exemple l'appendice phallique traduit l'acte de s'accoupler).

L'ANALYSE STATISTIQUE DES TABLETTES

Pour identifier les caractères *rongorongo* par une méthode statistique, K. Podzniakov a établi son propre catalogue des signes, dénombrant une centaine de signes de base. Sur un corpus d'environ 14 500 signes, il constate que tous les textes *rongorongo*, à deux exceptions près, sont constitués d'une soixantaine de mini-textes qui contiennent chacun entre 10 et 150 signes, lesquels se retrouvent sur de nombreuses tablettes. Le nombre de signes différents placés au début et à la fin de ces mini-textes est faible ; la répartition de ce type de signes indique que ces mini-textes seraient des phrases séparées par des caractères. Les textes *rongorongo* constitués d'une dizaine de mini-textes qui se suivent presque sans intervalle pourraient être non seulement des chants de création, comme le suggère S. Fischer, mais aussi des formules magiques ou des poèmes.

Le linguiste russe montre aussi que la fréquence des signes de base des textes *rongorongo* est très proche d'une tablette à l'autre, indice d'une véritable écriture. D'autre part, il établit que les fréquences des signes dans les textes *rongorongo* et les fréquences des syllabes dans la langue de l'île de Pâques d'aujourd'hui (le rapanui) sont très proches. Cela montre, d'une part, que la base linguistique de cette écriture est bien polynésienne et, d'autre part, que cette écriture possède des signes syllabiques.

L'analyse statistique indique la présence de signes logographiques et de déterminatifs représentés par des signes autonomes ou des associations de signes. Par exemple, lorsque l'on rencontre un même signe trois fois dans le corpus de 14 500 signes, le signe est plus vraisemblablement un signe logographique qu'une syllabe. En revanche, un signe dont la fréquence dépasse celle de toutes les syllabes (par exemple, l'appendice phallique) est probablement un signe déterminatif. □



Sur la petite tablette de Santiago, on retrouve des triades (rectangles) et des signes logographiques, tel celui représentant un oiseau (cercles). D'une ligne à l'autre, l'écriture est inversée : il faut sans cesse tourner la tablette pour la lire.

Expérience de cosmologie

Des tourbillons dans de l'hélium superfluide modélisent les cordes cosmiques formées dans les premiers instants de l'Univers.

Quelques instants après le Big Bang, l'Univers primordial, en se refroidissant, subit des transitions de phases. Celles-ci engendrent des défauts topologiques, telles les cordes cosmiques, filaments massifs qui seraient les germes des galaxies. Lorsque l'on abaisse la température de l'hélium 3 à quelques millièmes de degré au-dessus du zéro absolu, des filaments tourbillonnaires, analogues aux cordes cosmiques, peuvent apparaître dans l'hélium superfluide. En mesurant la densité des filaments tourbillonnaires créés dans de l'hélium superfluide, des chercheurs du Centre de recherche sur les très basses températures de Grenoble et du Laboratoire des basses températures d'Helsinki ont simulé la formation des cordes cosmiques.

Les transitions de phase engendrent des brisures de symétrie, transformant des états symétriques en des états asymétriques. Un cristal est moins symé-

trique qu'un liquide. Lors de la transition de phase qu'est la congélation de l'eau, des défauts topologiques apparaissent dans la glace (par exemple des paillettes) quand plusieurs zones cristallisent selon des directions différentes.

Personne ne sait combien de transitions de phase a subies l'Univers, mais toutes ces transitions se sont produites lors de la première seconde après le Big Bang. Elles ont pu engendrer des défauts où de l'énergie d'un Univers symétrique a été piégée. Des cordes cosmiques massives, où sont concentrées de grandes quantités d'énergie, se sont alors formées. Leur masse aurait entraîné l'effondrement gravitationnel de la matière environnante, constituant ainsi les galaxies.

Cette hypothèse séduit T. Kibble, du Collège impérial de science et technologie de Londres, qui propose des scénarios de formation des cordes cosmiques au cours de transitions de phase,

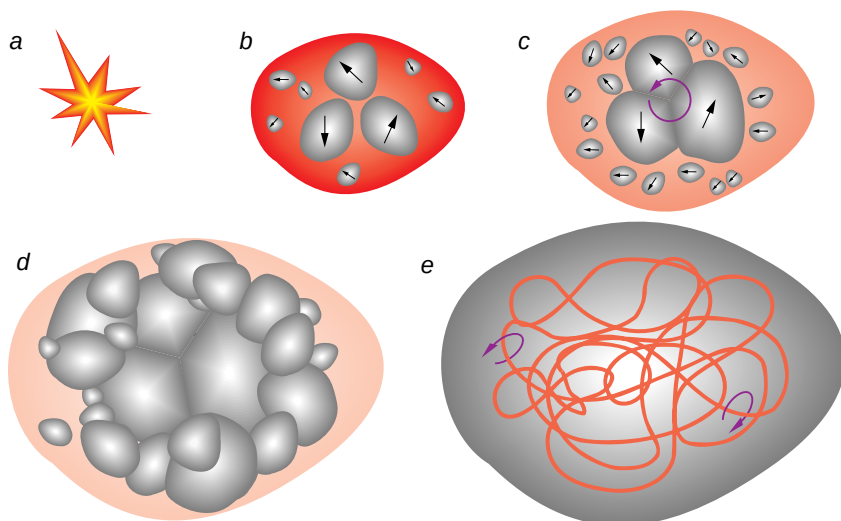
et estime la densité de ces cordes lors de leur formation. Même si la densité des cordes cosmiques est celle prédite par T. Kibble, leur détection est hors de portée des instruments actuels. Aussi, pour confronter cette estimation à l'expérience, on procède par analogie : la physique qui gouverne les transitions de phase est la même, quelle que soit la température. En mesurant la densité des filaments tourbillonnaires formés au cours d'une transition de phase entre l'hélium liquide et l'hélium superfluide, on pourrait déterminer la densité des cordes cosmiques formées aux premiers instants de l'Univers, lorsque la température était de 10^{28} kelvins.

L'UNIVERS DANS UN TUBE À ESSAI

L'équipe grenobloise, en collaboration avec des chercheurs de l'Université de Lancaster, a refroidi une petite quantité d'hélium 3 à la température de 160 microkelvins. Ils bombardent alors l'hélium superfluide avec des neutrons. Chaque neutron sert à chauffer brièvement une petite quantité d'hélium au-dessus de sa température critique : l'hélium est alors sous la forme de bulles de liquide normal.

En se dilatant, ces bulles chaudes refroidissent sous la température critique : elles redeviennent alors superfluides. Cette transition de phase n'est pas homogène, car des régions différentes du fluide refroidissent indépendamment. Comme, contrairement à un liquide normal, un superfluide est un liquide orienté (tel un cristal liquide), les différentes régions superfluides qui se forment sont orientées différemment. Le superfluide final ne peut alors être uniforme, et des défauts topologiques apparaissent sous la forme d'un enchevêtrement de tourbillons. L'énergie déposée par les neutrons étant bien connue, l'énergie qui s'échappe sous forme de chaleur est la quantité d'énergie nécessaire à la formation des tourbillons. Dans le groupe d'Helsinki, l'expérience est analogue, et une procédure permet de compter les tourbillons créés.

La densité spatiale des tourbillons déduite de ces expériences confirme la prédiction de T. Kibble sur la densité initiale des cordes cosmiques. Cependant, la confirmation expérimentale du mécanisme qui crée des défauts topologiques ne suffit pas à montrer que les cordes cosmiques existent. Pour cela, il faudra les détecter dans l'Univers, par exemple en observant des discontinuités linéaires dans le rayonnement du fond cosmologique, ou en observant les variations de la période de pulsars millisecondes dues au rayonnement gravitationnel émis par des cordes cosmiques. □



Une réaction nucléaire entre un neutron et un noyau d'hélium superfluide crée une région chaude de fluide normal (a). Le refroidissement n'est pas homogène : des bulles de superfluide apparaissent quand la température locale est inférieure à 2,7 millikelvins. Comme les bulles de superfluide se forment indépendamment, tels des cristaux de glace, leurs orientations (leurs arrangements internes) sont différentes, ce qui est représenté par les flèches noires (b). Lorsque les trois régions centrales se touchent (c), il se forme un tourbillon (flèche violette). Un réseau de tourbillons est créé le long des frontières entre les bulles de plus en plus nombreuses (d). Finalement, toute la région est superfluide, et il ne demeure qu'un enchevêtrement de tourbillons (e).

La contraception dans le monde

L'utilisation des méthodes modernes a progressé depuis 30 ans.

Depuis environ 30 ans, la fertilité mondiale a considérablement décliné, particulièrement dans les pays en développement. Entre 1960 et 1965, les femmes de ces pays avaient, en moyenne, six enfants. Au début des années 1990, ce chiffre a baissé jusqu'à 3,4. Dans les pays d'Extrême-Orient, sur la même période, le nombre de naissances par femme a chuté de 65 pour cent. Il est aujourd'hui inférieur au seuil de remplacement de la population (2,1 enfants par femme). Ailleurs en Asie, le nombre de naissances par femme a diminué d'un tiers, tandis qu'il a presque été divisé par deux en Amérique latine. En Afrique, en revanche, la diminution n'a été que de 10 pour cent. Dans les pays développés, le nombre de naissances par femme a baissé de 40 pour cent et y est presque partout inférieur au seuil de renouvellement de la population.

Les méthodes modernes de contraception ont fortement contribué à cette baisse de la fécondité. La moitié des femmes en âge de procréer, mariées ou vivant en union libre, utilisent la contraception. Les méthodes modernes sont

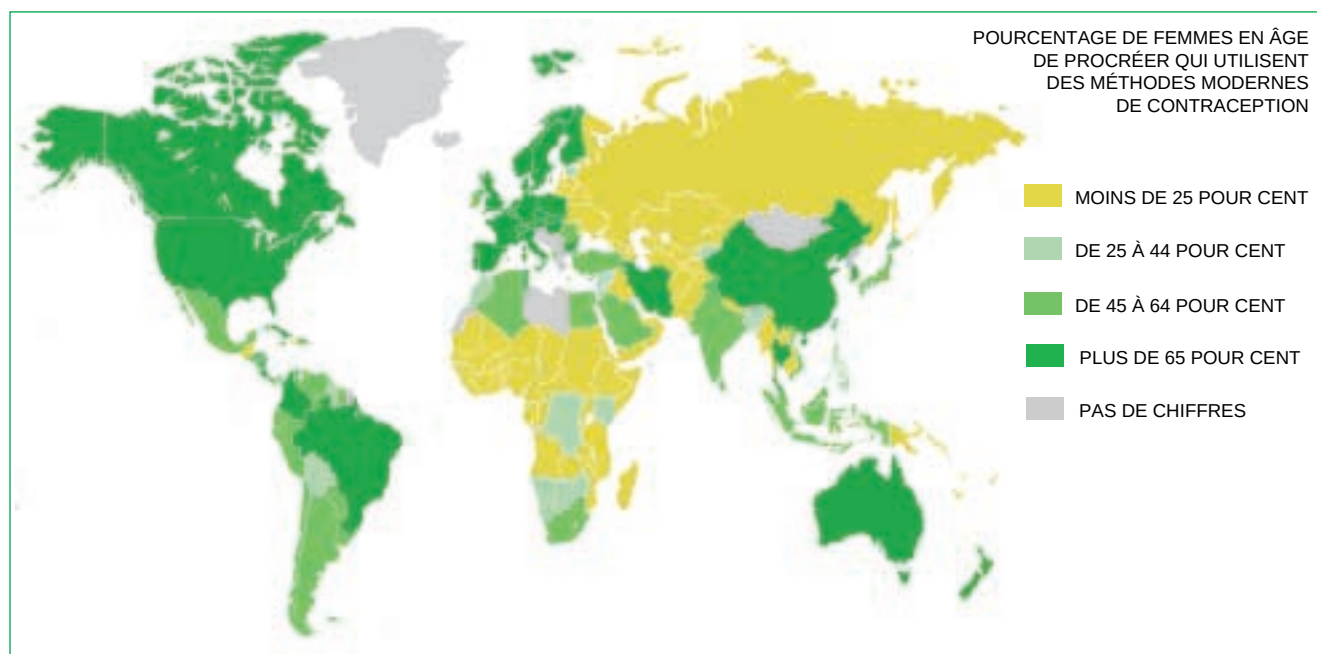
variées : stérilisation féminine, stérilisation masculine, implants hormonaux, produits injectables, stérilet, pilule anti-conceptionnelle, préservatif, spermicides, diaphragme (la moins efficace). Les préservatifs (masculins et féminins) sont les seules méthodes disponibles qui protègent aussi des maladies sexuellement transmissibles.

Le pourcentage de femmes qui utilisent des moyens modernes de contraception est aujourd'hui de 54 en Asie (39 pour cent si l'on ne compte pas la Chine), 53 en Amérique latine, 30 à 50 dans les pays musulmans du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord, 48 à la pointe Sud de l'Afrique, mais moins de 10 pour cent dans la vaste partie centrale de ce continent. Dans les pays développés d'Amérique du Nord et d'Europe de l'Ouest, les méthodes modernes sont utilisées par 65 à 75 pour cent des femmes. Dans les pays de l'ancienne Union soviétique, les produits contraceptifs manquent, ce qui restreint leur usage à moins de 20 pour cent des femmes. L'avortement est devenu un moyen «normal» de limitation des naissances.

L'accroissement de l'utilisation de contraceptifs et le déclin de la fécondité dans les pays en développement sont étroitement liés à la scolarisation des filles. L'alphabétisation facilite l'accès à des informations fiables sur la contraception, tandis que les exigences des études, particulièrement au niveau universitaire, retardent l'âge du mariage et du premier enfant. L'Afrique subsaharienne, la région dont la fécondité est la plus grande, a le plus faible pourcentage de scolarisation féminine.

Quelques pays en développement, tels la Chine et Cuba, sont déjà au-dessous du seuil de renouvellement de la population de 2,1 enfants par femme, en grande partie grâce aux méthodes modernes de contraception. Des pays tels que le Brésil, l'Indonésie, le Vietnam, l'Afrique du Sud, la Turquie, l'Égypte et l'Inde devraient atteindre ce chiffre dans dix ans environ. Au contraire, des pays tels que le Pakistan ou le Nigeria n'atteindront pas ce seuil de renouvellement avant plusieurs décennies. Peu de femmes de ces pays à forte fécondité utilisent la contraception moderne.

Les méthodes traditionnelles de contraception, méthode des températures, coït interrompu, allaitement prolongé (qui supprimerait l'ovulation) ne sont pas comptabilisées sur la carte. Dans le monde, sept pour cent des femmes mariées ou vivant en union libre, et en âge de procréer utilisent ces méthodes, beaucoup moins fiables que les méthodes modernes. Elles sont particulièrement répandues dans plusieurs pays. En Turquie, par exemple, le coït interrompu a les faveurs du plus grand nombre. □



Voir plus petit

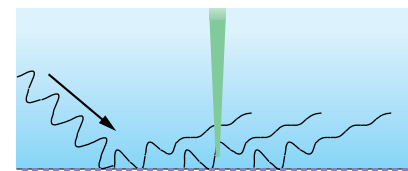
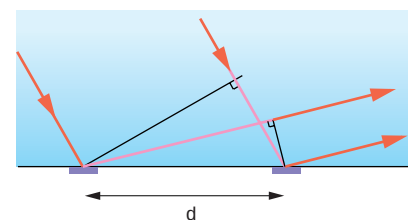
La résolution du microscope optique est améliorée.

La longueur d'onde de la lumière avec laquelle on éclaire un objet limite la finesse des détails que l'on observe. En lumière visible, la résolution d'un très bon microscope, pour un objet en contact avec l'air, ne dépasse pas 0,30 micromètre (ou millionième de mètre). Depuis une dizaine d'années, des opticiens ont franchi cette limite grâce à la «microscopie en champ proche» : ils sondent le champ électromagnétique au voisinage des surfaces à l'aide, par exemple, d'une petite ouverture à l'extrémité d'une fibre optique taillée en pointe et métallisée. La variante technique que nous avons mise au point avec Renaud Bachelot, Ahmed Larech et Philippe Gleyzes, permet d'observer des détails de 0,015 micromètre, indépendamment de la longueur d'onde lumineuse.

Lorsque l'on examine un objet à structure périodique (rideau, surface d'un disque compact, réseau), on observe des rayons lumineux diffractés dans d'autres directions que celle de la lumière transmise ou réfléchi. Plus la période de la structure est petite et plus l'angle entre la direction d'éclairage et la direction des images diffractées est grand. Pour des périodes un peu supérieures à la demi-longueur

d'onde de la lumière rasante utilisée pour éclairer l'objet, les rayons diffractés rasent la surface observée. Pour des périodes inférieures, ils disparaissent. Le rayonnement électromagnétique correspondant subsiste toutefois au voisinage de la surface, sous forme d'ondes évanescentes (elles ne se propagent pas). Si l'on veut des informations sur des détails plus petits que la demi-longueur d'onde, il faut donc sonder le champ électromagnétique tout près de la surface de l'échantillon (d'où le nom de «microscopie en champ proche» pour cette technique).

C'est ce que nous faisons avec une pointe métallique très fine qui oscille près de la surface, avec une amplitude de quelques centièmes de micromètre. L'extrémité de cette pointe, dont le rayon de courbure est de 0,015 micromètre, se comporte comme une particule conductrice plongée dans un champ électromagnétique : elle émet un rayonnement dont les variations spatiales dépendent de la structure du champ lui-même. Ces ondes électromagnétiques engendrées par l'oscillation de la pointe constituent le signal qui est collecté par un objectif de microscope et envoyé sur un détecteur. Il est ensuite traité, afin de quantifier les



Une image de diffraction d'une structure de période d se forme dans les directions pour lesquelles la différence de marche (différence des distances en rose) entre deux réflexions voisines est un multiple de la longueur d'onde λ (en haut). Si d est inférieure à la moitié de λ , il n'y a plus d'interférences. Le rayonnement n'est pas réfléchi, mais crée, près de la surface, des ondes évanescentes (en bas). Une fine pointe vibrante (en vert) détecte les variations spatiales de ce champ électromagnétique «proche».

images et de mettre en évidence les coefficients de réflexion locaux.

En opérant par réflexion, nous avons fait l'image d'un grand nombre de structures de la taille d'un centième de micromètre environ, qui présentent des contrastes optiques (des zones adjacentes ont des coefficients de réflexion différents) et des contrastes topographiques variés (structures en creux ou en bosse, structures en marches d'escalier sur des surfaces de monocristaux). La résolution de ce microscope ne dépend que de la taille de la pointe.

À la longueur d'onde rouge de 0,67 micromètre nous avons atteint une résolution de 0,015 micromètre, voisine du rayon de courbure de nos pointes et bien inférieure à la limite de la demi-longueur d'onde. Nous avons ensuite observé des films d'or avec la lumière rasante d'un laser à gaz carbonique, à la longueur d'onde de 10,6 micromètres. Les plus petits détails sont toujours du même ordre de grandeur (0,015 micromètres) que la longueur d'onde.

Cette résolution étend le champ d'application de la microscopie optique : vérification des composants micro- et opto-électroniques, observation des propriétés locales d'édifices moléculaires ou d'agrégats. Le rayonnement infrarouge, qui interagit avec les charges électriques de surface, permettra de contrôler les implantations ioniques et les modifications locales dans les composants semi-conducteurs et supra-conducteurs, dont les tailles ne cessent de se réduire.

Claude-Albert BOCCARA, ESPCI, CNRS

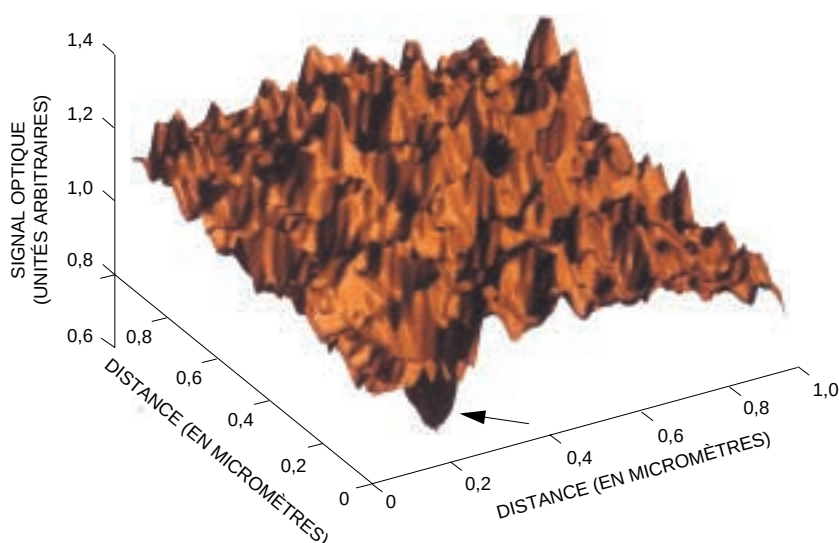


Image en champ proche d'un film mince d'or, à la longueur d'onde de 10,6 micromètres. Les détails (fluctuations de la réflectivité dues à des variations locales des propriétés électroniques) sont 600 fois plus petits que la longueur d'onde utilisée. La chute importante du signal (flèche) est due à la présence d'une particule organique, très absorbante dans l'infrarouge.

L'invasion des moules zébrées

Elles nettoient le lac Érié, mais elles feraient disparaître les poissons.

L'invasion des Grands Lacs américains par la moule zébrée (*Dreissena polymorpha*), mollusque originaire de la mer Noire et de la Caspienne, a fait craindre le pire pour l'équilibre de l'écosystème. Huit ans après l'arrivée de l'espèce, celle-ci semble au contraire participer à la dépollution des eaux : elle favoriserait même la réapparition d'espèces végétales menacées. Des écologistes l'accusent toutefois d'être la cause de la disparition des poissons.

En 1988, lorsque les premières moules zébrées sont apparues dans le lac Érié, sur la frontière entre les États-Unis et le Canada, les prédictions alarmistes se sont succédées : ces coquillages robustes et prolifiques déclencheraient un désastre écologique et financier. Ils détruiraient la chaîne alimentaire du lac, boucheraient les prises d'eau des usines et des barrages hydro-électriques et bloqueraient les hélices des bateaux.

Ces prédictions n'ont pas survécu à l'épreuve des faits. Le chlore et d'autres produits chimiques ont repoussé les

maudits mollusques loin des prises d'eau, à des coûts inférieurs à ceux que ce que l'on redoutait. En outre, la présence des moules zébrées aurait amélioré la situation écologique du lac. Ces coquillages sont des filtreurs prodigieux, qui purifient l'eau de quantités surprenantes de polluants et qui les accumulent dans leurs graisses. Ils ont aussi dévoré tant d'algues, leur aliment de base, que de grandes étendues du lac sont aujourd'hui plus claires.

Des plantes aquatiques auparavant rares, qui menaient un combat perdu d'avance contre les algues nourries par la pollution, repartent de plus belle. L'herbe à anguilles, une plante endémique qui a échappé de peu, en 1988, à l'inscription sur la liste des espèces menacées, a repoussé en d'immenses forêts sous-marines qui se balancent au fond du lac. Elles s'emmêlent même dans les hélices des bateaux de plaisance près de Put-in-Bay, une ville touristique située sur une île de l'Ouest du lac.

L'invasion des moules zébrées aurait-elle été un bienfait ? Elles ont

absorbé tant de produits polluants que la moitié de ceux contenus dans le lac Saint-Clair, un plan d'eau de 1 200 kilomètres carrés qui sépare le lac Érié du lac Hudson, sont maintenant accumulés dans leurs tissus. Dans de nombreux secteurs du lac Érié, la clarté de l'eau a sextuplé. Malgré ces relatives améliorations dans le plus pollué des Grands Lacs, les écologistes restent inquiets pour l'avenir.

LE STOCKAGE DES POLLUANTS

Les moules zébrées sont des filtres vivants. Chaque adulte aspire jusqu'à un litre et demi d'eau par jour, retenant les algues et les autres nutriments et, incidemment, le pyralène, la dioxine, les hydrocarbures aromatiques et tous les autres polluants qui se trouvent dans l'eau ou dans les sédiments. La population actuelle de moules zébrées filtre toute l'eau du bassin Ouest du lac en cinq ou six jours. Les produits toxiques s'accumulent dans les tissus adipeux des animaux, qui comptent pour 15 pour cent de leur poids.

Malheureusement, les polluants ainsi éliminés des eaux ne restent pas indéfiniment stockés dans les moules. Les corps et les déjections de celles-ci, qui sont aussi pollués, sont des maillons importants de la chaîne alimentaire qui aboutit aux consommateurs de poisson. Le dépôt des polluants dans les sédiments serait moins dangereux.

Quelles quantités de polluants arrivent-elles sur les tables (et dans les estomacs) des consommateurs ? Plusieurs années seront nécessaires pour savoir comment la répartition des polluants a été modifiée dans le lac depuis l'arrivée des moules zébrées.

Le nettoyage des algues par les moules zébrées aurait aussi des conséquences dévastatrices, car ces algues sont le premier élément de la chaîne alimentaire de tous les êtres vivants du lac. Leur diminution entraînerait ainsi une diminution du zooplancton, qui s'en nourrit. Les poissons, qui consomment du zooplancton à plusieurs étapes de leur développement, manquent donc de nourriture : il ne peuvent pas dévorer des moules zébrées.

Avant l'invasion, le lac Érié, de loin le plus pêché des Grands Lacs, alimentait des pêcheries d'un chiffre d'affaires total de trois milliards de francs par an. Dans les années 1990, les prises ont diminué : le chiffre d'affaires des pêcheries est tombé à un milliard de francs. Coïncidence ou relation causale ? Les zoologistes n'ont pas encore tranché. □



Les amas de moules zébrées, sur les plages des Grands Lacs américains, symbolisent la bataille perdue contre cet envahisseur qui perturbe l'écosystème, en bien et en mal.