

# Eurêka!

Les chercheurs et chercheuses écrivent pour nous



Les six meilleurs articles du concours 1994  
de vulgarisation scientifique de l'Association canadienne-française  
pour l'avancement des sciences

L'atteinte du tenace ténia • Des images dans la préhistoire  
• Le vampire des céréales africaines • Qu'est-ce qui fait  
courir les physiciens? • Grandeur et misère de la couleur  
humaine • Quand la navigation de plaisance se fait toxique

# Eurêka!

Les chercheurs et chercheuses écrivent pour nous



**MARIE-LAZARINE POULLE**

Biologiste de formation, Marie-Lazarine Poule est chercheuse dans une firme privée de consultants en environnement, Gauthier & Guillemette inc. Depuis 1986, en France et au Québec, elle a participé à plusieurs projets de recherche relatifs à l'écologie, à l'éthologie et à l'épidémiologie des mammifères terrestres . . . . . *page 3*



**STÉPHANE DURAND**

Stéphane Durand est titulaire d'un doctorat en physique théorique de l'Université de Montréal et actuellement professeur au Collège Édouard-Montpetit. De plus, il est chercheur affilié à l'Université McGill et à l'Université de Montréal. Ses recherches portent sur certaines généralisations de la notion usuelle de symétrie, ainsi que sur un nouveau type d'espace . . . . . *page 10*



**DANIEL ARSENAULT**

Archéologue responsable du projet Nisula, recherche vouée à l'analyse des sites à pictogrammes préhistoriques de la Haute-Côte-Nord, Daniel Arsenault est chargé de cours en art précolombien au Département d'histoire de l'Université Laval et chercheur affilié au Centre d'étude sur la langue, les arts et les traditions (CELAT) de la même université . . . . . *page 6*



**PIERRE THIFFAULT**

Étudiant à la maîtrise en muséologie (programme conjoint UQAM/Université de Montréal), Pierre Thiffault s'intéresse particulièrement à la vulgarisation de l'anthropologie. Il est titulaire d'un baccalauréat de l'Université de Montréal dans cette discipline . . . . . *page 12*



**ALAIN OLIVIER**

Titulaire d'un doctorat en biologie végétale de l'Université Laval, Alain Olivier enseigne au collégial, au Petit Séminaire de Québec. Depuis 1986, il a participé à différentes recherches en agronomie en France, en Alberta, au Burkina Faso et au Mali . . . . . *page 8*



**RICHARD ST-LOUIS**

Étudiant au doctorat en océanographie, Richard St-Louis se consacre à l'étude de l'effet des polluants en milieu marin. Le Dr Émilien Pelletier, de l'INRS-Océanologie de Rimouski, dirige ses travaux. Depuis 1989, le lauréat a obtenu une maîtrise en chimie à l'Université de Montréal et enseigné, à titre de chargé de cours, au baccalauréat en chimie . . . . . *page 14*

L'Association canadienne-française pour l'avancement des sciences est un regroupement pluridisciplinaire de scientifiques de tous les milieux.

Intéresser le grand public à différents domaines de recherche, le sensibiliser aux multiples projets touchant la science et la technologie, tenter d'éliminer les préjugés à l'égard de la recherche et du développement, voilà quelques-uns des objectifs que l'Acfas souhaite atteindre par son Concours de vulgarisation scientifique.

Le monde de la recherche a une mission d'importance dans notre société. Les scientifiques se doivent de participer aux grands débats de l'heure, qu'ils soient culturels, sociaux ou économiques. Une partie de leur travail consiste à proposer de nouvelles solutions et des pistes de réflexion à la portée de tous.

Le Concours de vulgarisation scientifique est un outil pour promouvoir la culture scientifique mais aussi un exercice passionnant pour les chercheuses et les chercheurs. Vulgariser son domaine de spécialisation pour le rendre accessible à un large public relève du défi.

... Communiquer son savoir et y prendre goût ...

## Jury du concours

**Anne Beuter**: UQAM, professeure de neurocinétique / **Diane Dontigny**: revue *Contact*, Université Laval, rédactrice en chef / **Bernard Dubreuil**: Camp spatial Canada, relationniste, secteur scolaire / **Ariel Fenster**: Collège Vanier et Université McGill, professeur de chimie / **Isabelle Montpetit**: chercheuse, émission « Découverte » à Radio-Canada et journaliste indépendante / **Guy Paquin**: journaliste indépendant, affaires scientifiques / **Maryse Lassonde**: Université de Montréal, professeure en neuropsychologie, présidente du jury

Cet encart a été produit par:



**Association canadienne-française pour l'avancement des sciences**: 425, rue De La Gauchetière Est, Montréal (Québec) H2L 2M7  
Tél. (514) 849-0045 / Téléc. (514) 849-5558

Coordination: **Patricia Legault** Révision journalistique: **Marie Chalouh** Révision linguistique: **Hélène Larue** Graphisme: **Lorti-Mousseau** Séparation de couleurs, pelliculage électronique et impression: **Interweb**

Produit grâce au financement du ministère de l'Industrie, du Commerce, de la Science et de la Technologie

échinococcose

# L'atteinte du tenace ténia

MARIE-LAZARINE POULLE

L'échinococcose alvéolaire est une maladie rare, mais très grave, qui résulte du développement, dans l'organisme humain, de la larve d'un parasite

intestinal du loup, du renard, du chien ou du chat. Sa prévention nécessite la

**collaboration des médecins, des vétérinaires et des écologistes pour remonter la piste complexe qui part du bois et se rend au foie...**

Il paraît qu'un jour une petite fille, coiffée d'un chaperon rouge et munie d'une galette de beurre, a appris, à ses dépens, qu'en flânant dans les bois, on courait le risque de finir dans l'estomac d'un loup. Depuis, les écologistes nous ont convaincus que le « grand méchant loup » de la fable était complètement inoffensif pour le paisible promeneur. Cependant, il n'en va pas de même du parasite au nom barbare de « ténia équinoque », que le loup, le renard ou encore notre chien ou notre chat peuvent héberger dans leurs intestins. Ce parasite est responsable, chez l'Homme, de graves lésions hépatiques qui, non traitées, se révèlent fatales.

La contamination de l'Homme est heureusement très rare, car elle résulte de la conjonction, peu probable, d'un ensemble de facteurs complexe. Le fait qu'elle se produise parfois pose néanmoins un véritable défi aux scientifiques, qui tentent de comprendre la complexité des mécanismes de transmission du parasite. Petit à petit, ils parviennent à assembler les éléments d'une fable moderne qui pourrait débiter par : « Il était un foie... »

Tout commença par des cas, rares et isolés, de personnes décédées des suites d'une tumeur hépatique d'origine inconnue. En 1856, Virchow découvrit la nature parasitaire de cette tumeur, et le parasite responsable fut décrit par Leuckart en 1863. Cependant, il fallut attendre 1950 pour que l'identification spécifique soit faite, la maladie elle-même n'étant reconnue et décrite que depuis une soixantaine d'années. On sait aujourd'hui que les tumeurs hépatiques observées chez certains sujets résultent du développement de la forme larvaire d'un cestode.

Les cestodes, ou « ténias », sont des vers plats de l'embranchement des plathelminthes et leur représentant le plus connu est le « ver solitaire », qui peut atteindre plusieurs mètres de long. Les cestodes comptent aussi, dans leurs rangs, des vers beaucoup plus petits comme le ténia échinocoque, *Echinococcus multilocularis*, qui, adulte, ne mesure généralement pas plus de quelques millimètres. Ce ténia est responsable de l'échinococcose alvéolaire, une maladie parasitaire rarement mentionnée dans les livres de médecine, quasi inconnue du grand public, difficile à retracer pour les scientifiques, mais douloureusement présente pour les quelques rares malchanceux qui la côtoient au quotidien.

Durant son temps d'incubation, qui dure entre 5 et 30 ans (10 ans en moyenne), cette maladie peut occasionner des douleurs abdominales et de petites modifications de la biologie hépatique.

Une fois déclarée, elle progresse comme un cancer et peut même essayer sous forme de métastases vers les poumons, le cerveau ou les os. Le Dr Vuitton, de Besançon (France), rapporte que les lésions forment un tissu fibreux à l'intérieur duquel les vaisseaux sanguins ne peuvent plus se développer, ce qui occasionne des phénomènes de nécrose qui se traduisent par un trou central au milieu de la masse parasitaire. Le développement de la larve du parasite provoque donc, généralement, une perforation du foie dans sa profondeur.

Bien que des cas de guérison spontanée soient rapportés, 70 p. cent des cas humains non traités sont fatals. Jusqu'à ces dernières années, le diagnostic était généralement posé lorsque la maladie était très avancée et, dans ce cas, malgré le recours possible à la chirurgie, la pudeur médicale assénait le verdict de « pronostic réservé », de très mauvais augure pour le patient. Aujourd'hui, les médecins disposent d'outils plus sophistiqués qui leur permettent d'établir un diagnostic plus précoce; en outre, les récents progrès médicaux et chirurgicaux donnent désormais de meilleures chances de survie à l'hôte involontaire du parasite. Cependant, le ténia n'est pas devenu inoffensif pour autant et la prévention de sa transmission à l'Homme reste un enjeu important.

## L'impasse involontaire

La contamination de l'Homme par le parasite est un événement accidentel, qui ne fait l'affaire d'aucun

FRAISIERS EN FLEURS

Photo: Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles

des deux protagonistes : pour l'Homme, elle présente des risques élevés de mortalité; pour le parasite, elle aboutit à une impasse. En effet, le ténia échinocoque est un parasite obligatoire, qui ne peut donc survivre et se perpétuer qu'au détriment des individus qui l'hébergent. Il doit, pour assurer sa pérennité, passer par plusieurs phases de développement qui font intervenir différents « hôtes » involontaires. La larve du parasite se développe sur le foie de son « hôte intermédiaire », qui est généralement un rongeur (herbivore). Ce dernier se fait manger par un prédateur carnivore qui, ce faisant, est parasité à son tour par la larve du ténia et devient, de ce fait, l'« hôte définitif » du parasite. Dans son intestin, la larve se développe pour atteindre sa phase adulte, sexuée, qui produit des œufs, qui, déposés sur des végétaux par l'intermédiaire des excréments de l'hôte définitif, contaminent d'autres rongeurs qui seront à leur tour mangés par un prédateur. Ainsi, la boucle est bouclée, le tour est joué et le parasite continue à passer d'un hôte à un autre par l'intermédiaire des relations prédateurs-proies.

Il reste à savoir ce que l'Homme vient faire dans cette mécanique bien huilée ! Accidentellement, il ingère les œufs destinés au rongeur soit en consommant des végétaux crus (laitue, fruits des bois, etc.) sur lesquels se trouvent ces œufs, soit en ramassant ces derniers sur le pelage d'hôtes intermédiaires (chien, chat, renard, etc.) parasités. Une fois dans son organisme, les œufs trouvent le chemin du foie et, si les conditions s'y prêtent, la larve s'installe et se développe. Cependant, l'Homme n'est pas un bon hôte intermédiaire du parasite,

car, dans son organisme, la larve est généralement stérile, c'est-à-dire qu'elle ne pourrait pas achever son cycle de développement dans le cas (hautement improbable, du reste) où l'Homme serait consommé par un hôte définitif. La contamination humaine aboutit donc à une impasse parasitaire.

#### Sur la piste du parasite

Les cartes établies en 1969 par Rausch, du Service de santé publique de l'Alaska (É.-U.), ont montré que l'échinococcose alvéolaire n'existe que dans l'hémisphère Nord. Elle est présente dans plusieurs pays d'Europe et dans certaines parties de l'Asie et de l'Amérique du Nord (dont le Canada). Le ténia échinocoque a 10 hôtes naturels connus parmi les canidés (chiens, renards, loups) et les félidés (chats), et il compte près de 40 espèces d'hôtes intermédiaires (principalement des rongeurs). Cependant, le nombre de cas de parasitisme humain rapportés est généralement très faible. En France, par exemple, il est de moins de 10 nouveaux cas par année pour une population de plus de 55 millions d'habitants. En grande partie du fait de cette rareté, relativement peu d'équipes de recherche se sont intéressées au mécanisme de transmission du parasite entre ses hôtes. Les données disponibles proviennent d'études réalisées aux États-Unis, en ex-URSS, en Iran, en Allemagne, en Suisse et en France.

Tous les cas de parasitisme qui ont été décrits se retrouvent dans des zones froides ou des régions montagneuses de l'hémisphère Nord. Ainsi, en France, les travaux des équipes de recherche du

laboratoire INRA-Faune sauvage de Montpellier et Rennes, et du CNEVA / LERPAS de Malzéville, ont montré que cette maladie sévit dans les contrées agricoles caractérisées par un climat froid et humide. De plus, la période d'infestation des hôtes intermédiaires correspond aux mois d'automne et d'hiver (froids et humides). Par ailleurs, les plus forts taux de parasitisme des hôtes intermédiaires sont observés en lisière des terrains retournés par le labour ou par le piétinement du bétail.

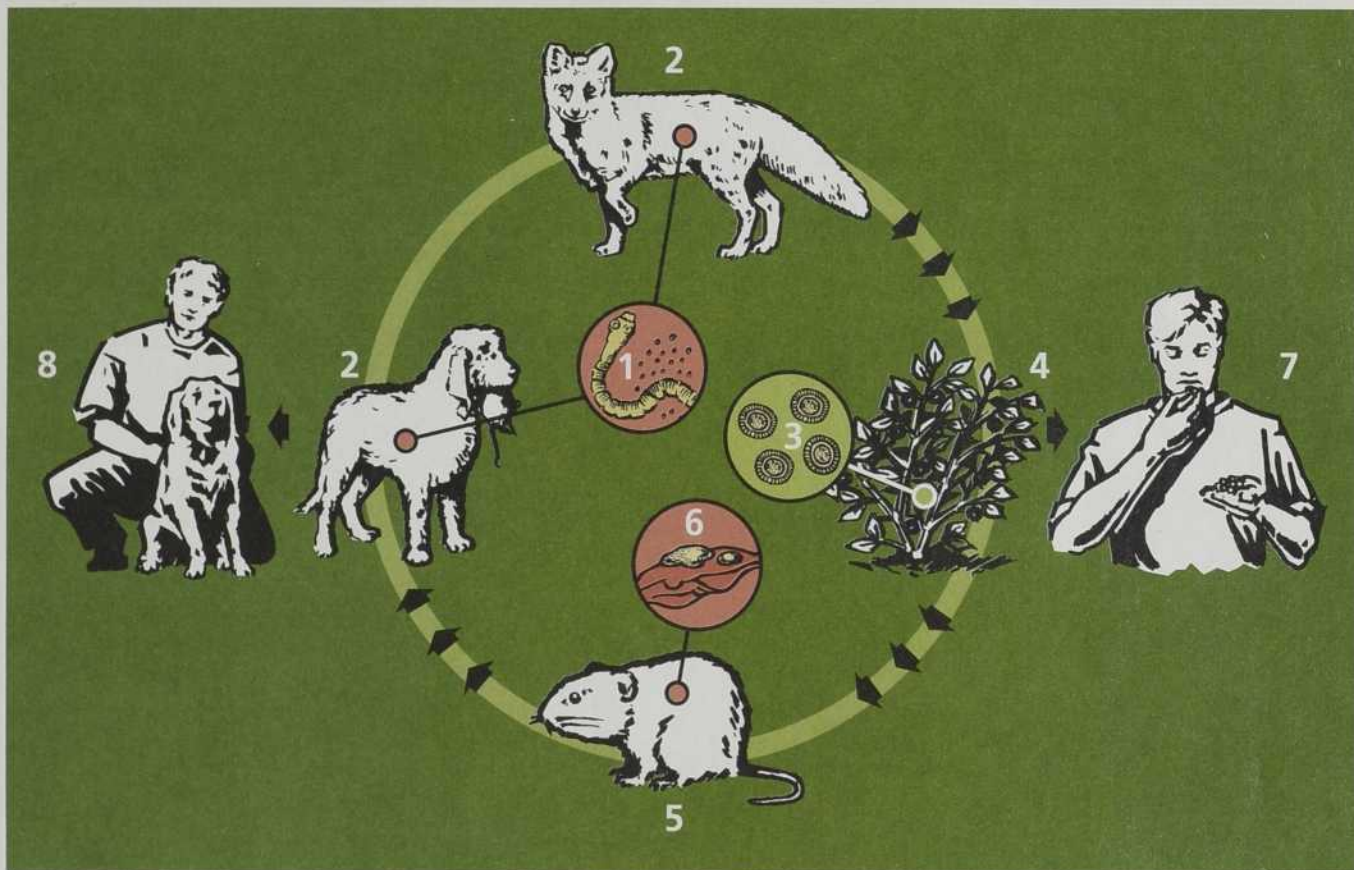
Le froid, l'humidité, l'enfouissement temporaire qui protège de la dessiccation, seraient autant de facteurs qui permettraient une longue durée de séjour des œufs dans l'environnement, augmentant ainsi leur chance d'être ingérés par un hôte intermédiaire. Les expériences menées au laboratoire confirment cette hypothèse et montrent effectivement que les œufs du ténia échinocoque sont très résistants au froid mais très vulnérables à la chaleur. Ils sont, de plus, sensibles à la dessiccation. Toutefois, si des conditions climatiques particulières sont nécessaires à la survie des œufs, elles ne sont pas suffisantes pour assurer la pérennité du parasite dans un lieu donné. En effet, des régions qui présentent ces conditions et où coexistent une des espèces hôtes intermédiaires et une des espèces hôtes définitifs ne sont pas touchées par la maladie. Il faut donc prendre en considération d'autres éléments.

#### Le passage d'un hôte à un autre

Un élément important est que le taux de parasitisme est très faible chez les hôtes intermédiaires



LE RENARD ROUX PEUT JOUER UN RÔLE IMPORTANT DANS LA TRANSMISSION DU TÉNIA ÉCHINOCOQUE.



LE TÉNIA (1), QUI CORRESPOND À LA PHASE ADULTE DU CESTODE, EST HÉBERGÉ DANS L'INTESTIN GRÊLE DE CERTAINS CARNIVORES: CHIEN, CHAT, RENARD, LOUP, COYOTE (2), QUI CONSTITUENT POUR LUI DES «HÔTES DÉFINITIFS». IL PRODUIT DES ŒUFS, QUI SONT ENTRAÎNÉS HORS DE L'INTESTIN PAR LES SELLES. LES ŒUFS EMBRYONNÉS (3), AINSI DÉPOSÉS SUR LE SOL OU SUR DES VÉGÉTAUX (4), CORRESPONDENT À LA PHASE LIBRE DU PARASITE. ILS SONT INGÉRÉS PAR UN RONGEUR (5), LORSQUE CELUI-CI SE NOURRIT DES VÉGÉTAUX SOUILLÉS. ILS TRAVERSENT ENSUITE LA PAROI INTESTINALE ET SONT TRANSPORTÉS, PAR LA CIRCULATION, JUSQU'AU FOIE. LÀ, SE DÉVELOPPE LA PHASE LARVAIRE DU PARASITE (6), AU DÉTRIMENT DU FOIE DE L'ANIMAL QUI L'HÉBERGE ET QUI LUI SERT AINSI D'«HÔTE INTERMÉDIAIRE». CE DERNIER EST

CONSOMMÉ PAR UN HÔTE DÉFINITIF (2) QUI, CE FAISANT, S'INFESTE À SON TOUR. L'HOMME (7) PEUT ÊTRE PARASITÉ SOIT LORSQU'IL CONSOMME DES VÉGÉTAUX SUR LESQUELS SE TROUVENT DES ŒUFS (LAITIUE, PISSENLITS, FRUITS DES BOIS, ETC.), SOIT LORSQU'IL TOUCHE LE PELAGE DE CARNIVORES INFESTÉS (8) QUI, EN SE NETTOYANT, PROPAGENT LES ŒUFS DE LEUR ANUS SUR L'ENSEMBLE DE LEUR PELAGE. LE PARASITISME HUMAIN EST DONC GÉNÉRALEMENT LIÉ AU MILIEU RURAL ET AU RAPPORT ÉTROIT ENTRETENU AVEC LES CHIENS ET LES CHATS. EN ALASKA, EN 1951, RAUSCH ET SCHILLER DÉCOUVRIRENT DE NOMBREUX CAS DUS AUX CHIENS DE TRAÎNEAU; EN FRANCE, LES AGRICULTEURS APPARTIENNENT À LA CATÉGORIE SOCIOPROFESSIONNELLE LA PLUS TOUCHÉE PAR CETTE MALADIE.

(en général, moins de 1 p. cent des rongeurs piégés dans les régions contaminées) alors qu'il peut être relativement élevé chez l'hôte définitif (il était de 100 p. cent dans le cas des renards autopsiés par Rausch en Alaska dans les années 1950). Pour que le prédateur, hôte définitif, s'infeste, il faut donc que les relations qu'il entretient avec sa proie facilitent la transmission parasitaire. Les résultats des travaux effectués dans l'est de la France permettent d'illustrer comment cette situation se produit: le renard roux, *Vulpes vulpes*, hôte définitif du parasite, fait une grande consommation du campagnol des champs, *Microtus arvalis*, qui est le principal hôte intermédiaire du parasite dans la région. Ce faisant, il accroît le risque d'ingérer un rongeur parasité. De plus, il chasse de préférence dans les bordures herbeuses des champs cultivés, qui sont les milieux de prédilection des campagnols des champs, et il défèque le plus fréquemment à proximité de ces mêmes bordures, riches en hôtes intermédiaires potentiels. Par ce comportement, il facilite donc la transmission du parasite d'un hôte à un autre. Enfin, certaines obser-

vations laissent à penser que les rongeurs parasités peuvent avoir un comportement anormal (déplacements à découvert notamment) qui les rendrait plus vulnérables à la prédation. Cependant, un problème se pose encore pour le parasite: les populations de ses hôtes intermédiaires, comme le campagnol des champs, fluctuent selon des cycles d'abondance saisonniers et pluriannuels. Elles peuvent pulluler par moments, mais aussi passer par des périodes de grande rareté. Le taux de parasitisme chez les hôtes intermédiaires est déjà très bas lorsque ces derniers sont relativement abondants; lorsqu'ils deviennent rares, il risque de ne plus rester assez d'individus parasités pour infester les prédateurs. Mais, qu'on se rassure, le ténia a plus d'un tour dans son sac! On a observé en effet que, dans les régions touchées par la maladie, le ténia échinocoque parasite généralement plus d'une espèce de rongeurs et que ces espèces ont des cycles qui sont rarement synchrones. Si l'une devient rare, qu'à cela ne tienne, le ténia se rabattra sur une autre, plus abondante à ce moment-là.

Tenace et coriace, le ténia échinocoque passera donc des uns aux autres dans les régions qui auront su lui offrir le froid, l'humidité, la présence d'hôtes définitifs et la variété d'hôtes intermédiaires nécessaires à la pérennité de son cycle évolutif. Il semblerait même qu'à l'heure actuelle, il élargisse la palette de ses espèces hôtes, notamment aux dépens des espèces domestiques, ce qui fait craindre une augmentation de la probabilité de parasitisme humain. La recherche des mécanismes de prévention de la maladie est une tâche ardue, mais passionnante. Elle ne peut se faire sans la collaboration des écologistes, des épidémiologistes et des médecins puisqu'elle nécessite de s'intéresser aux conditions environnementales qui favorisent la survie des œufs à l'air libre, à l'écologie des nombreuses espèces hôtes participant au cycle parasitaire, aux relations prédateurs-proies qu'elles entretiennent, à l'environnement et au comportement des personnes parasitées, et aux mécanismes de défense de leur système immunitaire. ••

Un exemple d'art rupestre au Québec

# Des images dans la préhistoire

DANIEL ARSENAULT

Qui d'entre nous n'a jamais entendu parler des fameuses peintures

préhistoriques qui ornent les grottes de Lascaux en France? Mais sait-on

VUE D'ENSEMBLE DU SITE NISULA

qu'ici, en Amérique du Nord, il existe également des peintures rupestres?

Au Québec, on a découvert jusqu'à présent six sites d'art rupestre, dont quatre ont été analysés par Gilles Tassé, professeur à l'UQAM, dans les années 1970. Sans atteindre la complexité ni l'ancienneté des peintures rupestres de l'Europe préhistorique, les sites du Québec présentent un intérêt exceptionnel sur le plan de la connaissance de la préhistoire des populations amérindiennes. En effet, ces sites sont situés à l'intérieur de territoires qui étaient fréquentés autrefois par des populations nomades de langue algonquienne, les ancêtres des Algonquins, des Cris, des Attikameks et des Montagnais d'aujourd'hui. Depuis 1991, l'étude archéologique du site Nisula, qui se trouve dans un territoire traditionnellement occupé par des groupes montagnais, a permis d'effectuer d'importants progrès dans la connaissance de ce genre de site préhistorique.

## Le site Nisula

Le site Nisula est situé au bord d'un lac dans la région de Forestville, en Haute-Côte-Nord; c'est le seul site d'art rupestre connu dans l'est du Québec. Pour le moment, on a décidé de préserver l'anonymat du lac afin de tenir secret l'emplacement du site tant que des mesures de protection et de conservation appropriées n'auront pas été prises.

Les circonstances de la découverte du site Nisula ne sont pas banales: en 1985, en compagnie de son mari, Mme Anne Nisula Saint-Jules, une Montréalaise d'origine finlandaise, parcourait le lac à l'occasion d'une journée de pêche à la truite. Levant par hasard les yeux vers une des falaises qui dominent le lac, elle fut intriguée par des marques rougeâtres visibles sur une paroi rocheuse. Ces marques lui rappelaient vaguement les motifs peints qu'elle avait vus, enfant, dans des sites d'art rupestre de sa Finlande natale. Pensant être en présence d'un site de peintures rupestres, elle communiqua avec des responsables du ministère des Affaires culturelles du Québec pour leur faire part de sa découverte et leur en indiquer l'emplacement. Lorsqu'en 1991, des représentants du Ministère, les archéologues Charles A. Martijn et Gilles Samson, se rendirent sur place pour confirmer qu'il s'agissait bien d'un site d'art rupestre, ils baptisèrent celui-ci « site Nisula » en l'honneur de celle qui l'avait découvert. Le site Nisula allait dès lors devenir un foyer d'étude archéologique important dans la région et faire l'objet d'un projet de recherche pluridisciplinaire, le « projet Nisula ».

## Des pictogrammes énigmatiques et vulnérables

Les motifs, ou pictogrammes, qui composent le site Nisula ont été peints sur une falaise escarpée dont les parois granitiques plongent directement dans les eaux du lac. Ces parois ont été façonnées et po-

lies au fil des millénaires par le retrait des glaciers (glaciation dite du « Wisconsin ») et par la fonte subséquente de ces derniers. Ce processus a produit une surface très lisse, idéale pour y peindre des motifs à l'ocre rouge. Les pictogrammes qui s'y trouvent mesurent entre 1 et 25 centimètres, et l'ensemble s'étend sur un périmètre de près de 7 mètres de largeur sur 2 mètres de hauteur, soit une superficie d'environ 14 mètres carrés.

Bien que la plupart de ces motifs ne soient constitués que de simples traits verticaux ou obliques sans lien apparent, il en est quelques-uns qui illustrent vraisemblablement des figures humaines ou animales, ou même des personnages à l'allure étrange, voire fantasmagorique. Ainsi, on peut distinguer une personne qui marche les bras en croix, une autre qui est reproduite la tête en bas, un serpent, un oiseau, etc. On retrouve également des pictogrammes plus complexes, tels ces deux personnages qui portent des cornes sur la tête, ou cet autre qui paraît tenir un grand poisson à la main. L'un des motifs les plus intéressants représente deux individus qui se tiennent par un bras et qui semblent ou bien se battre à mains nues ou, au contraire, danser ensemble.

Étant à ciel ouvert, le site Nisula est exposé continuellement au vent, à la pluie, au rayonnement solaire, au gel et au dégel, ainsi qu'à la prolifération des végétaux – en particulier les lichens qui, en s'enracinant dans la pierre, la font s'écailler, puis éclater. La combinaison de ces facteurs en-

traîne la dégradation des matériaux qui le composent. L'une des premières tâches à remplir lorsque l'on fait l'étude archéologique d'un tel site est donc d'évaluer son état de conservation, travail effectué en collaboration avec les conservateurs, MM. Louis Gagnon et André Bergeron.

Dans son état actuel, le site Nisula est relativement bien préservé; de tous les sites à pictogrammes connus du Québec, il est celui qui présente le meilleur état de conservation. Mais une étude attentive montre qu'il a connu quelques épisodes dramatiques. Le plus marquant a sans doute été la perte d'une partie importante de l'une des parois ornées, probablement causée par un tremblement de terre. Il s'agit d'un bloc de près de deux mètres de long qui s'est détaché de la falaise, à une époque inconnue, pour s'abîmer dans les eaux du lac. Une équipe de spécialistes en archéologie subaquatique, dirigée par M. André Lépine, a pu localiser le bloc manquant à plus de 11 mètres de profondeur. Ce bloc repose malheureusement sur sa face ornée, ce qui empêche pour l'instant de vérifier si les pictogrammes se sont bien préservés sous l'eau.

Dans ces circonstances, il est donc important de faire rapidement le travail d'enregistrement scientifique du site, à savoir: 1) un relevé détaillé par dessin-calque des éléments que l'on observe directement sur la paroi; 2) des photographies du site, en couleur et en noir et blanc; 3) le prélèvement d'échantillons des matières premières entrant dans la composition du site (pigments ayant servi à tracer les motifs, lichens, etc.). Cet enregistrement, qui est conservé dans les archives du ministère de la Culture du Québec, permettra aux chercheurs actuels et futurs de bénéficier de données de première main sur le sujet.

Les observations faites à l'œil nu et à la loupe, de même que les clichés pris au moyen d'une lentille macroscopique, ont permis de déterminer quelle était la matière première utilisée et de mieux comprendre la façon de procéder des artistes préhistoriques. Ainsi, d'une part, les échantillons analysés par M. Ian Wainwright, de l'Institut canadien de conservation, ont confirmé que ceux ou celles qui ont dessiné sur la pierre les motifs du site Nisula utilisaient de l'ocre rouge, réduite en poudre et mélangée simplement à de l'eau. D'autre part, le tracé de certaines lignes est à ce point net que l'on voit très bien le contour des doigts qui ont servi à peindre les pictogrammes. C'était en quelque sorte un art qui exigeait beaucoup de doigté!

### La datation du site Nisula

L'un des problèmes majeurs auxquels font face les archéologues qui travaillent sur des sites d'art rupestre concerne l'ancienneté du site étudié. Ce point est essentiel puisqu'une datation précise pourrait permettre de déterminer quel était le groupe culturel associé à la création et à la fréquentation du site. De récents travaux archéologiques ont montré, par exemple, que l'occupation humaine en Haute-Côte-Nord remonte à au moins 5000 ans; plusieurs groupes culturels, qui se dis-

tingent chacun par des modes de vie et de fabrication d'objets usuels sensiblement différents, se sont succédé dans ce vaste territoire. Lequel ou lesquels sont les « auteurs » du site Nisula?

En 1993, un spécialiste australien, M. Alan Watchman, est venu appliquer une nouvelle méthode de datation chronométrique au carbone 14 des sites rupestres. Cette méthode consiste à évaluer l'âge des dépôts de matière siliceuse qui recouvrent les motifs d'un site et qui ont « emprisonné » avec eux des substances organiques et inorganiques, comme des pollens et des pigments d'ocre rouge. Ces substances ont pu être déposées à l'époque de l'application des motifs sur le site. Les premiers résultats de cette évaluation – probablement une première pour les sites d'art rupestre du bouclier canadien – indiquent que le site daterait d'au plus 2500 ans (+ ou - 175 ans). Une autre façon de délimiter l'ancienneté du site a été fournie par l'étude de cartes de la Nouvelle-France dressées au début des années 1730 par un jésuite, le père Pierre-Michel Laure. L'analyse minutieuse de ces cartes a permis à M. Charles A. Martijn d'y repérer un lac dont l'emplacement correspond assez bien à celui du site Nisula, et



DÉTAIL DE L'UN DES PANNEAUX ORNÉS DE PICTOGRAMMES DU SITE NISULA; REMARQUEZ LES FIGURES ANTHROPOMORPHES.

qui était caractérisé par la mention suivante: « sur le roc on peut voir des figures naturellement peintes ». S'il s'agit bien de la première mention historique du site Nisula, cela signifie que ce site avait déjà été repéré au début des années 1730.

Afin d'approfondir ces données, des recherches archéologiques ont été menées autour du lac dans le but de découvrir des indices pouvant être mis en correspondance avec le site Nisula. Cette démarche s'est toutefois révélée infructueuse à ce jour, en raison notamment des importants bouleversements subis par l'environnement du lac au cours des dernières décennies: un déboisement anarchique, la construction d'une digue qui avait maintenu le niveau lacustre à plusieurs mètres



VUE DES PRINCIPAUX PANNEAUX ORNÉS DU SITE NISULA; À NOTER LES FORMES COURBES DU RELIEF DES PAROIS.

au-dessus du niveau actuel pendant 30 ans, des travaux de terrassement et l'aménagement subséquent de chalets ont pu contribuer à effacer toute trace de présence humaine datant de l'époque préhistorique.

### L'interprétation du site

La comparaison des pictogrammes du site Nisula avec ceux des autres sites connus au Québec et dans le reste du bouclier canadien (dont 500 sites répertoriés en Ontario) offre de nombreuses possibilités d'interprétation. La présence récurrente de motifs d'un site à un autre suggère le partage et la diffusion de certaines valeurs artistiques et culturelles sur un vaste territoire. En particulier, le personnage cornu, qui semble être l'une des figures majeures de ces images préhistoriques, apparaît à deux reprises au site Nisula. Quel en est le sens? D'après les écrits des premiers Européens à venir sur le continent américain, ce sont les chamans – des hommes et des femmes investis de pouvoirs magico-religieux – qui produisaient ce type d'œuvres artistiques lors de certains rituels. Ils exprimaient alors ce qu'ils avaient « vu » en rêve ou en transe: par exemple, un contact avec les puissances surnaturelles, les esprits du ciel et de la terre, ou encore des événements à venir. On peut donc présumer que les sites de peintures rupestres étaient en général des lieux sacrés où l'art et la religion s'entremêlaient.

Le site Nisula s'inscrivait sans doute dans un tel contexte sacré. C'est d'ailleurs l'interprétation que lui ont donnée des Montagnais de la réserve de Betsiamites, MM. P.-É. et R. Dominique, ainsi que MM. G. et A. Kanapé, lors de leur visite au site ou de leur participation aux travaux archéologiques. Des recherches d'histoire orale auprès d'ainés montagnais pourraient peut-être nourrir davantage cette interprétation et – qui sait? – permettre de découvrir de nouveaux sites d'art rupestre dans cette région du Québec.

Malgré les difficultés d'interprétation et de datation qui s'y rattachent, l'art rupestre constitue un domaine de recherche passionnant et riche de possibilités pour la compréhension des pratiques religieuses, artistiques et culturelles des populations autochtones préhistoriques du Québec. ••

# Le vampire des céréales africaines

ALAIN OLIVIER

Une mauvaise herbe d'apparence inoffensive, le striga, est respon-

sable d'une diminution dramatique des rendements céréaliers en Afrique, occasionnant des pertes dont la valeur est estimée à plusieurs centaines de millions de dollars par année.

Les paysans africains n'ont vraiment pas la tâche facile: invasions de criquets, sécheresse, évolution à la baisse du prix des denrées agricoles, rien ne leur est épargné. De quoi décourager le plus vaillant des agriculteurs... Or voilà qu'un nouveau fléau vient mettre en péril la subsistance de milliers d'entre eux: le striga, une plante redoutable qui s'attaque en particulier aux cultures céréalières et occasionne des pertes de rendement si importantes que les paysans en sont souvent réduits à abandonner leur champ, ce qui peut avoir des conséquences désastreuses pour leur survie. Mais comment une mauvaise herbe peut-elle causer tant de dommages? Il faut que ce soit une mauvaise herbe bien particulière... En latin, «striga» signifie... «sorcière»! Les anglophones ont pour leur part baptisé le striga «witchweed», c'est-à-dire «herbe sorcière». Pourquoi? Sans doute en raison du mode de vie original de cette plante. Au-dessus du sol, rien pourtant ne distingue en apparence le striga des autres mauvaises herbes. Mais il suffit de creuser un peu pour observer un phénomène inhabituel: les racines du striga sont connectées à celles des céréales! Le striga est en effet une plante parasite qui se nourrit aux dépens de son hôte en détournant les élé-

ments nutritifs de celui-ci pour son propre profit! Un genre de vampire, en quelque sorte.

## Un parasite multiforme et voyageur

Il existe une quarantaine d'espèces de striga, qui s'attaquent principalement à des céréales comme le mil et le sorgho, des plantes qui sont à la base de l'alimentation des paysans des zones semi-arides d'Afrique. Les espèces *Striga hermonthica* et *Striga asiatica* causent le plus de dommages. Une autre espèce, le *Striga gesnerioides*, est particulièrement virulente sur le niébé, une légumineuse souvent cultivée en rotation avec le mil et le sorgho. C'est dire qu'on n'échappe pas nécessairement au striga en changeant de culture, alors que le choix de plantes supportant un approvisionnement limité en eau est déjà passablement limité...

Le striga ne sévit pas qu'en Afrique, même si c'est là qu'il est le plus dévastateur. On retrouve en effet l'espèce *Striga asiatica* aussi bien en Inde qu'aux États-Unis. La mauvaise herbe aurait été introduite en Amérique du Nord au début des années 1950 à la suite, pense-t-on, de l'importation de laine de mouton d'Afrique du Sud. Les graines du striga sont si minuscules qu'on les distingue à peine à l'œil nu. La mauvaise herbe s'est ensuite vite répandue dans plusieurs champs de maïs de la Caroline du Nord et de la Caroline du Sud. Jusqu'à ce qu'on intervienne de façon musclée – à coups de millions de dollars – en vue de l'éradication du parasite. Le travail de Robert Eplee et de son équipe du US Department of Agriculture semble

porter fruit: on prévoit la suppression totale du striga du territoire américain d'ici quelques années. L'introduction de la mauvaise herbe aux États-Unis aura donc sans doute fait plus de peur que de mal. Mais on avait la chance de s'attaquer à des foyers d'infestation limités et de bénéficier de sommes d'argent considérables. En Afrique, c'est une tout autre histoire...

## Un mode de vie bien particulier

Voyons d'abord un peu comment agit la mauvaise herbe. Chaque plant de striga peut produire des dizaines de milliers de graines. La maturation de celles-ci coïncide avec la fin de la saison des pluies, au moment de la récolte des céréales. Les graines restent dormantes dans le sol durant toute la saison sèche. Puis, quand la température et l'humidité redeviennent favorables, c'est-à-dire au début de la saison des pluies suivante – qui est aussi le moment du semis de la céréale –, les graines de striga deviennent aptes à germer en quelques jours.

Cela ne suffit pourtant pas pour que la germination ait lieu. Il faut en effet que les graines se trouvent en présence de racines de la céréale pour pouvoir germer. Sans plante hôte à proximité, la germination demeure impossible! C'est que la graine de striga ne germe que lorsqu'elle est soumise à l'action d'un stimulant libéré par la racine de la céréale. Elle développe alors une radicule qui aurait la capacité de se diriger vers cette racine. Au moment d'entrer en contact avec celle-ci, l'extrémité

LE STRIGA, UNE JOLIE FLEUR... QUI CAUSE BIEN DES RAVAGES!

de la racine du striga subit des modifications importantes: elle se transforme en un haustorium, une espèce de suçoir qui pénètre la racine de la céréale et établit des connexions avec son système vasculaire, qui est le système responsable du transport de la sève chez les plantes.

Une fois installé, le striga n'a plus qu'à se laisser vivre aux dépens de son hôte, auquel il soutire de l'eau, des minéraux et diverses substances organiques qui servent à sa croissance. Au début, le parasite vit encore sous terre et est complètement dépendant de la céréale pour son alimentation. Ensuite, il émerge du sol et acquiert la propriété d'effectuer la photosynthèse, ce qui allège un peu le fardeau de son hôte... mais pas complètement. Durant toute sa vie, en effet, le striga continuera de détourner les éléments nutritifs de la culture vers ses propres tissus, en plus d'affecter sa photosynthèse et d'être à l'origine d'importants déséquilibres hormonaux. Tous ces facteurs seraient responsables du ralentissement de croissance observé chez les céréales parasitées et, finalement, des pertes de rendement en grains parfois considérables qu'elles subissent.

#### La recherche du remède miracle

Comment lutter contre le striga? Devant l'ampleur des dégâts causés par la mauvaise herbe, c'est la question que se sont posée de nombreux chercheurs à travers le monde. Mais on s'est vite rendu compte que le problème n'était pas simple à résoudre. Dans les années 1970, pourtant, on a cru que des composés chimiques apporteraient la solution. Robert Eplee et ses collègues ont alors élaboré une méthode qui consiste à incorporer de l'éthylène aux sols infestés. Or cette substance a la propriété de stimuler la germination des graines de striga, comme le font les composés libérés par les racines de l'hôte en temps normal. Mais la germination se révèle ici suicidaire pour les graines de striga, puisqu'on utilise l'éthylène en l'absence de céréale et que le striga ne peut survivre s'il ne se fixe pas à son hôte! Combinée à l'utilisation d'herbicides, l'incorporation d'éthylène a donné des résultats très satisfaisants contre le *Striga asiatica* aux États-Unis.

Malheureusement, cette approche s'est révélée inapplicable en Afrique. L'incorporation d'éthylène exige en effet un équipement fort coûteux. D'autres substances qui stimulent la germination du striga – comme le strigol, isolé à partir du coton par l'équipe de C. Cook aux États-Unis – sont hors de prix. Quant aux herbicides, leur efficacité est souvent restreinte. D'une part, l'herbicide est souvent aussi toxique pour la céréale que pour le striga, à cause de l'intimité de la relation entre l'hôte et le parasite; d'autre part, les traitements appliqués après l'émergence du striga surviennent trop tard, puisque le parasite a déjà causé des dommages irréparables à la culture durant sa longue phase de croissance souterraine.

D'autres chercheurs, tel l'Anglais Chris Parker, ont alors pensé que la solution se trouvait peut-être dans l'utilisation de certaines plantes en rotation

avec les céréales. L'approche consiste à cultiver de faux hôtes, c'est-à-dire des plantes qui stimulent la germination du striga sans permettre son attachement, ou des plantes pièges, qui permettent l'attachement du striga, mais qu'on détruit avant que celui-ci n'ait eu le temps de produire ses graines. Cette approche permettrait de diminuer la quantité de graines de striga présentes dans le sol; mais, pour ramener le degré d'infestation à un niveau acceptable, la pratique de rotations de ce type semble nécessiter de nombreuses années. Or la disponibilité de terres arables est souvent insuffisante, de sorte que les paysans ne peuvent se permettre d'effectuer d'importantes rotations avec des plantes qui ne constituent pas la base de leur alimentation.



LE SORGHO, UNE DES PRINCIPALES VICTIMES DU STRIGA

L'utilisation de variétés de céréales (sorgho, mil et maïs) résistantes au striga est sans doute l'approche qui a suscité le plus d'espoirs. Depuis de nombreuses années, plusieurs programmes, en particulier ceux de divers centres de recherche en Afrique de l'Ouest, ont été créés à cette fin. Récemment, des travaux effectués sous la direction de Gilles Leroux, du Département de phytologie de l'Université Laval, et de K. V. Ramaiah, de l'ICRISAT (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics) au Mali, nous ont permis de découvrir une variété de sorgho hautement résistante au *Striga hermonthica*. Grâce à la collaboration de Nicole Benhamou, du Département de phytologie de l'Université Laval, nous avons pu démontrer que cette variété se défend contre le parasite en bloquant son entrée au moyen d'une barrière cellulaire qui serait composée principalement de cellulose. Il reste à déterminer si cette résistance peut être transmise à des variétés adaptées possédant de bonnes caractéristiques agronomiques et alimentaires. Pour l'instant, toutefois,

les meilleures variétés disponibles sont encore, bien souvent, les variétés locales cultivées par les paysans depuis des générations. Sans être résistantes, quelques-unes de ces variétés démontrent en effet un degré de tolérance élevé au parasite, c'est-à-dire qu'elles supportent de grandes quantités de striga sans voir leur rendement affecté de façon trop importante.

Ce n'est que tout récemment que des chercheurs ont commencé à s'intéresser à la lutte biologique, qui consiste à se servir de microorganismes ou d'insectes pour combattre des organismes nuisibles. Des moisissures et quelques insectes qui s'attaquent au striga pourraient ainsi être utilisés pour détruire son feuillage ou sa graine. Mais la recherche dans ce domaine n'en est encore qu'à ses premiers balbutiements. En fait, un des meilleurs recours de l'agriculteur semble être pour l'instant... l'arrachage manuel! Quand on sait tous les dommages que peut causer le striga avant même d'émerger du sol, il n'y a guère de quoi crier au miracle. Un grand travail de sensibilisation reste toutefois à faire pour que l'arrachage manuel de la mauvaise herbe soit effectué malgré tout, afin d'empêcher la contamination du sol par un trop grand nombre de graines de striga.

#### Un bilan décevant?

Tout compte fait, le bilan que nous sommes amenés à considérer n'est guère encourageant à première vue: des récoltes perdues, des terres abandonnées, une subsistance rendue de plus en plus difficile... et peu de moyens concrets de remédier à cette situation. Sans doute la solution passe-t-elle par un effort de recherche accru. Mais il ne faudrait pas pour autant diminuer l'importance des connaissances acquises au cours des dernières années. Car s'il n'existe pas de solution miracle au problème, certaines pratiques peuvent pourtant réduire les dommages causés par le striga. L'utilisation de variétés tolérantes, le recours à des rotations avec de faux hôtes ou des plantes pièges lorsque cela est possible et l'arrachage manuel ont chacun leurs avantages, trop souvent oubliés lorsqu'il s'agit de renseigner l'agriculteur sur les choix qui s'offrent à lui.

Et si la clef du succès passait par une approche intégrée, consistant à utiliser toutes ces techniques à la fois? Peut-être ne manque-t-il plus que l'effort nécessaire pour vulgariser une telle approche... Des milliers de paysans pourraient alors profiter de la connaissance de quelques techniques simples qui apaiseraient sans doute un peu leurs maux... en attendant la découverte miracle qui apportera une véritable solution à leurs problèmes. ••

## P h y s i q u e   t h é o r i q u e

*Qu'est-ce qui fait courir les physiciens?*

STÉPHANE DURAND

Il se pourrait que l'univers ait neuf dimensions. Pourtant, dans

la vie de tous les jours, il semble bien n'y en avoir que trois. Pourquoi alors six

**dimensions supplémentaires?**

Depuis une dizaine d'années, plusieurs centaines de physiciens et de mathématiciens travaillent avec acharnement sur la dernière trouvaille en matière de physique théorique: une théorie de *grande unification*. Pourquoi pareil engouement? Parce que cette théorie cherche à expliquer *tous* les phénomènes physiques à partir d'*une seule* loi fondamentale. Quelle est au juste cette théorie? Pourquoi nécessite-t-elle un espace à neuf dimensions? Et pourquoi pourrait-elle éventuellement expliquer d'où vient le big-bang (cette explosion primordiale de laquelle serait né l'univers il y a 15 milliards d'années)? Autant de questions auxquelles on tentera de répondre.

Mais, tout d'abord, que signifie le terme «unification»? À cet égard, voici quelques questions:

- Pourquoi la Lune tourne-t-elle autour de la Terre?
- Pourquoi les planètes sont-elles rondes, tandis que les astéroïdes ont la forme de «patates»?
- Pourquoi une fourmi peut-elle facilement transporter un objet pesant plusieurs fois son propre poids, alors qu'un humain réussit à peine à en supporter un de son propre poids?
- Pourquoi y a-t-il des marées?
- Pourquoi ne peut-il y avoir de montagne plus haute que le mont Everest sur la Terre?
- Pourquoi n'y a-t-il pas d'atmosphère sur la Lune?
- Pourquoi les petits animaux (insectes, écureuil, chat, etc.) sont-ils la plupart du temps effilés et

agiles, tandis que les gros (éléphant, hippopotame, rhinocéros, etc.) sont toujours massifs?

- Pourquoi la Lune possède-t-elle une face cachée?
- Pourquoi l'univers ne peut-il être qu'en expansion ou en contraction?
- Pourquoi les trous noirs sont-ils invisibles?
- Pourquoi Newton était-il génial?
- Pourquoi lisez-vous ceci?

Questions intéressantes, n'est-ce pas? (Sauf la dernière, bien sûr!) Qui semblent *a priori* indépendantes. Eh bien non! Toutes ces questions possèdent la *même* réponse: à cause de la force de gravité. Surprenant, non? Et qui a découvert la loi de la gravité? Newton. C'est d'ailleurs pourquoi il était génial.

Voilà poindre tout doucement cette idée de l'unification: expliquer le plus de choses possible à partir du moins de lois possible. Ainsi, on vient de considérer toute une panoplie de phénomènes apparemment distincts qui sont pourtant la conséquence d'une seule et même force: la gravité. Néanmoins, il existe aussi d'autres forces dans la nature et il est maintenant temps d'être un peu plus systématique, et d'expliquer plus précisément en quoi consiste une théorie d'unification.

**Pourquoi quatre forces?**

L'univers contient deux types d'entités fondamentales: les *particules élémentaires* et les *forces* qui les font interagir. Les particules élémentaires sont les constituants de base de l'univers, soit les plus

petites particules à partir desquelles toute la matière peut être construite. Elles composent les atomes, qui à leur tour constituent les molécules, et par conséquent toute la matière. En simplifiant, on peut dire qu'il y a trois particules élémentaires: l'électron, le proton et le neutron<sup>1</sup>. En effet, les atomes sont formés de protons et de neutrons au centre (le noyau), et d'électrons qui gravitent autour. En variant l'agencement de ces trois particules, on peut former une centaine d'atomes différents. Ensuite, on peut combiner ces atomes d'innombrables façons pour produire la quasi-infinité de molécules qui composent toute la matière qui nous entoure. Par conséquent, toute la complexité, la diversité et la richesse de la nature se ramènent au jeu de trois particules de base!

Ces particules élémentaires interagissent entre elles sous l'effet de quatre forces fondamentales: la force de gravité, responsable de l'attraction universelle (déjà mentionnée); la force électromagnétique, décrivant les phénomènes électriques et magnétiques (par exemple, l'attraction entre les électrons et le noyau de l'atome, ainsi que la propagation de la lumière); la force nucléaire, dont résulte l'attraction des particules se trouvant à l'intérieur du noyau (protons et neutrons); et la force faible, responsable de la radio-activité. Chacune de ces forces englobe une quantité très vaste de phénomènes; on l'a vu pour la gravité, mais le même genre de situation existe aussi pour les autres forces. Donc, en résumé, tous les phéno-

mènes connus de l'univers se ramènent au jeu de quatre forces agissant sur trois types de particules élémentaires. Mais pourquoi *quatre* forces et *trois* particules?

Depuis qu'ils ont découvert que les forces électrique et magnétique – apparemment très différentes l'une de l'autre – ne sont que deux manifestations particulières d'une seule et même force plus générale (la force électromagnétique), les physiciens sont à la recherche d'une force universelle qui engloberait les quatre interactions fondamentales. Autrement dit, ils cherchent *une* superforce dont la gravité, l'électromagnétisme, la force nucléaire et la force faible ne seraient que quatre manifestations différentes (c.-à-d. quatre cas particuliers). C'est ce qu'on appelle *l'unification des forces*.

De plus, dans cette théorie d'unification, les différentes particules élémentaires apparaissent comme diverses facettes d'une *unique* superparticule. Bref, une telle théorie permettrait d'expliquer tous les phénomènes physiques à partir d'une seule loi fondamentale: une superforce agissant sur une superparticule. C'est ce qui fascine tant les physiciens. Bien sûr, il n'est pas question ici d'expliquer cette théorie hautement mathématique, mais plutôt de faire saisir (à l'aide d'une analogie) pourquoi elle nécessite des dimensions supplémentaires.

### Un monde plat

Transposons donc tout cela dans le cadre de notre analogie. Imaginons un « monde » à deux dimensions (la surface d'une feuille de papier, par exemple) sur lequel vivent des « êtres » plats. Supposons que ce monde contienne seulement deux sortes de particules élémentaires, représentées par deux types de figures géométriques: des disques et des carrés (voir la figure 1). Les « atomes » de ce monde sont alors représentés par des figures plus complexes formées par différents agencements des figures de base. À leur tour, les « molécules » sont des agencements d'atomes, et ainsi de suite. Toute la matière de ce monde est donc constituée de divers agencements de disques et de carrés. Il y a aussi différentes forces qui font interagir ces particules, mais, pour simplifier, on ne les considérera pas et on se posera seulement une question: pourquoi y a-t-il deux types de particules élémentaires? Ou, autrement dit: y a-t-il un lien entre un disque et un carré? À première vue: non. Il semble n'y avoir absolument aucun lien entre ces deux figures. Pourtant, à bien y penser, il en existe un: c'est le cylindre. Vu de face, il apparaît comme un disque; vu de côté, c'est un carré ou un rectangle! (Voir la figure 2.) Donc disque et carré ne sont pas fondamentaux, mais seulement deux facettes d'un même objet plus fondamental: une superparticule cylindrique.

Notez la nécessité *absolue* d'introduire une dimension supplémentaire pour établir ce lien. Dans l'espace ordinaire à deux dimensions de ce monde plat, ce lien est *totalem*ent impossible à discerner: les êtres plats ne perçoivent que des sections

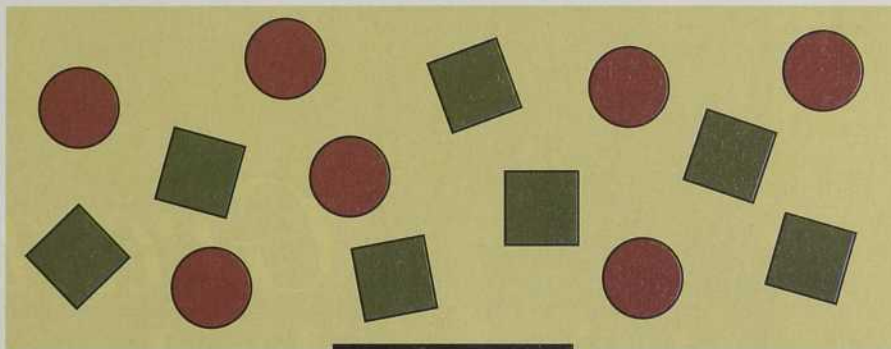


Figure 1

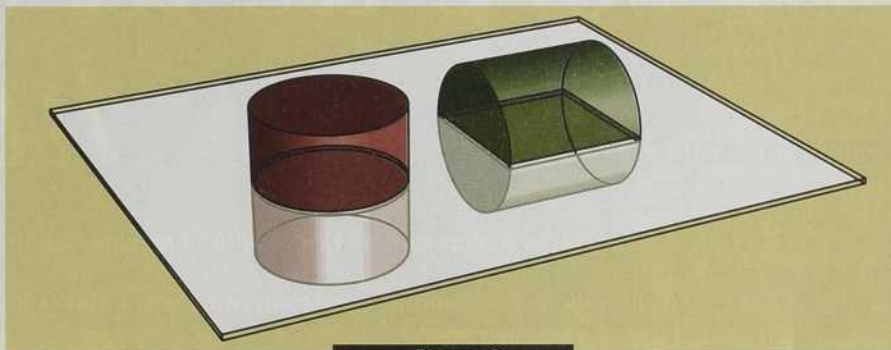


Figure 2

de cylindre, comme l'indique la figure 2. Il faut bien se rendre compte qu'il est impossible, pour des êtres à deux dimensions, de visualiser cette troisième dimension, tout comme il est impossible, pour nous, d'en imaginer une quatrième. Pour eux, cette superparticule est donc extrêmement abstraite, comme le serait pour nous une théorie nécessitant un espace à plus de trois dimensions.

### Neuf dimensions

De façon analogue, les *vraies* théories d'unification nécessitent des dimensions supplémentaires pour permettre d'établir le lien entre les trois particules élémentaires (proton, neutron et électron) et les quatre forces fondamentales (gravitationnelle, électromagnétique, nucléaire et faible). Dans le cadre de notre analogie, il suffisait d'une dimension supplémentaire; dans la réalité, il en faut six de plus... Pour un total de neuf (dix, si l'on inclut le temps<sup>2</sup>).

On pourrait être tenté de croire que tout cela n'est qu'un jeu et que ces dimensions supplémentaires ne sont que le fruit de l'imagination des physiciens. Il n'en est rien. De fait, les quatre forces fondamentales se séparent en deux grandes catégories: d'une part, il y a la gravité (c.-à-d. une force macroscopique); et, d'autre part, il y a les forces électromagnétique, nucléaire et faible (c.-à-d. trois forces microscopiques) qu'on réunit sous le vocable de forces quantiques, la théorie quantique étant une théorie du très petit. On a donc deux théories complémentaires: la gravité et la théorie quantique. Mais, *conceptuellement*, ces deux théories sont incompatibles. En général, cela importe peu car elles gouvernent deux catégories

de phénomènes qui ne se chevauchent pas du tout: phénomènes microscopiques et phénomènes macroscopiques.

En réalité, ce n'est pas tout à fait exact: la théorie de la gravité est en fait une théorie des phénomènes *massifs*. Bien sûr, en général, les objets massifs sont gros, donc la gravité est bien une théorie du macroscopique, et tout est parfait... Sauf dans (au moins) un cas: au moment du big-bang. Car, à ce moment, tout l'univers était concentré dans un volume infiniment petit. À cet instant, l'univers était *à la fois* massif et petit! Par conséquent, pour discuter rigoureusement du début de l'univers, il faudrait concilier – c.-à-d. unifier – la théorie de la gravité et la théorie quantique. Ce qui n'est pas encore fait, mais le sera par une théorie de grande unification (car elle unifie tout!). Ainsi, une telle théorie pourra (peut-être) répondre à la question: mais d'où vient le big-bang?

Voilà ce qui fait courir les physiciens... ••

### Notes

1. Il n'y a pas seulement trois types de particules élémentaires. Le proton et le neutron, contrairement à l'électron, ne sont pas des particules élémentaires, car ils sont eux-mêmes constitués de particules encore plus petites tels les quarks.
2. Depuis Einstein, on considère le temps comme une dimension. Ainsi, l'univers accessible à nos sens est à quatre dimensions (trois dimensions d'espace et une dimension de temps) tandis que les théories d'unification seraient à dix dimensions (neuf d'espace et une de temps). On les appelle « théories de supercordes ».

A n t h r o p o l o g i e   p h y s i q u e

# Grandeur et misère de la couleur humaine

PIERRE THIFFAULT

De tous les caractères témoignant de la variabilité humaine, les différences de pigmentation de la peau auront sans contredit servi à élever les

plus grandes barrières entre les peuples. Et pourtant, le lien entre la couleur

de la peau et le climat est un fait intuitivement connu depuis longtemps.

Déjà, en 1749, le brillant naturaliste français Georges Louis de Buffon (qui, avant Lamarck et Darwin, eut plusieurs intuitions évolutionnistes) écrivait :

Le climat le plus tempéré est depuis le 40<sup>e</sup> degré jusqu'au 50<sup>e</sup>, c'est aussi sous cette zone que se trouvent les hommes les plus beaux et les mieux faits, c'est sous ce climat qu'on doit prendre l'idée de la vraie couleur naturelle de l'homme, c'est là où l'on doit prendre le modèle ou l'unité à laquelle il faut rapporter toutes les autres nuances de couleur et de beauté<sup>1</sup>.

Comme par hasard, c'était bien là aussi la latitude de la France !

Buffon croyait, en fait, que la nature de l'Homme avait subi des altérations en passant d'un climat à un autre. De sorte qu'en s'éloignant du berceau blanc, l'Homme s'était assombri et enlaidi. Évidemment, personne (en Occident) ne doutait un seul instant de la supériorité physique et intellectuelle des Blancs. Un an avant lui, d'ailleurs, le Suédois Carl von Linné, père de la classification moderne des organismes vivants, avait proposé une division de l'humanité selon quatre races, qui confirmait cette certitude hiérarchique. L'Européen y était classé comme un être « ingénieux, inventif, blanc, sanguin [...] gouverné par des lois ». À cet être aux qualités exceptionnelles s'opposaient chétivement : l'Amérindien « content de son sort (!), aimant la liberté, basané, irascible [...] gouverné par les usages » ; l'Asiatique « orgueilleux, avare, jaunâtre, mélancolique [...] gouverné par l'opinion » ; l'Africain « paresseux, négligent, noir,

flegmatique [...] gouverné par la volonté arbitraire de ses maîtres<sup>2</sup> ». En prime, l'Homme africain était dit « indolent » et « enduit de graisse », tandis que sa femme était jugée « sans pudeur » et équipée de « seins produisant du lait à profusion »...

C'était, malgré tout, plus gentil que ce qu'écrivait, en 1812, Georges Cuvier, le scientifique le plus renommé de son temps, pour qui les indigènes africains constituaient « la plus dégradée des races humaines, dont les formes s'approchent le plus de la brute et dont l'intelligence ne s'est élevée nulle part au point d'arriver à un gouvernement régulier ». Son farouche adversaire Charles Lyell était néanmoins du même avis que lui sur cette question (qui ne l'était pas ?), écrivant : « Le cerveau du Bochimane mène à celui des [singes]. Cela implique une liaison entre le défaut d'intelligence et l'assimilation structurelle. Chaque race d'Homme a sa place, comme les animaux inférieurs<sup>3</sup>. »

Même les esprits les plus libéraux adhéraient à ce courant. Thomas Jefferson écrivait : « Je suis donc amené à penser, mais ce n'est là qu'un sentiment, que les Noirs, qu'ils forment une race distincte ou qu'ils aient subi une séparation due au temps et aux circonstances, sont inférieurs aux Blancs quant au corps et à l'esprit. » Dans *Observations sur l'accroissement de l'humanité*, Benjamin Franklin vantait, en 1751, les mérites du déboisement de l'Amérique, qui permettait « à ce côté de notre globe de refléter une lumière plus vive aux yeux des habitants de Mars ou de Vénus ». Mais il déplorait « l'assombrissement » de son peuple par le trop grand nombre de fils d'Afrique, inférieurs culturellement. Au XIX<sup>e</sup> siècle, Abraham Lincoln, qui abolira pourtant l'esclavage aux États-Unis,

estimait que les Blancs et les Noirs différaient physiquement au point de rendre leur égalité impossible. « Comme n'importe qui d'autre, écrivait-il en 1858, je suis partisan d'attribuer [la] position supérieure à la race blanche. » Dans une note de 1859, il poursuivait de plus belle, inspiré : « L'égalité des Noirs ! Balivernes ! Pendant combien de temps encore, sous le gouvernement d'un Dieu assez grand pour créer et diriger l'univers, y aurait-il des fripons pour colporter, et des imbéciles pour reprendre, des propos d'une démagogie aussi basse<sup>4</sup> ? »

## Les races au rancart !

Heureusement pour ces pauvres dégradés que constituaient les gens de couleur, Buffon estimait que le retour en arrière jusqu'à l'état initial (lire blanc) était parfaitement possible. Partisan convaincu de l'amélioration des « races inférieures » par leur déplacement vers un environnement plus convenable, il proposa même, à titre expérimental, de transplanter des Africains au Danemark de manière à mesurer combien de temps il leur faudrait pour « redevenir » blancs... Mis à part son eurocentrisme répugnant, l'idée n'était pourtant pas complètement farfelue !

Évidemment, et n'en déplaise encore à certains tenants des tests Q.I. (quotient intellectuel), nous savons aujourd'hui qu'il n'y a aucun lien biologique entre la couleur de la peau d'un individu et l'intelligence de celui-ci. En réalité, malgré son caractère spectaculaire, la variabilité de la pigmentation de la peau reste un phénomène relativement superficiel qui raconte, selon les mots du généticien Luigi Luca Cavalli-Sforza, « l'histoire des climats et non celle des peuples<sup>5</sup> ». Ainsi, des populations étroitement apparentées sur le plan génétique sont parfois de couleurs fort diffé-

rentes. Les Noirs du Sri Lanka (pourtant des Indo-Européens) ou ceux de la Mélanésie (pourtant des Orientaux aux yeux bridés) comptent parmi les exemples les plus éloquents à cet égard et font d'ailleurs voler en éclats le concept erroné de races humaines. En somme, comme le dit encore Cavalli-Sforza, «là où le soleil tape fort, on trouve des populations noires, c'est aussi simple que cela».

### Mais pourquoi en est-il ainsi ?

Le phénomène du bronzage, provoqué par une accélération de la synthèse de la mélanine dans la peau, nous est bien familier. La pigmentation naturelle (celle, par exemple, des parties non exposées au soleil) dépend elle aussi de la concentration de mélanine dans l'épiderme, mais, au contraire du bronzage, elle demeure relativement constante du vivant d'un individu. Dans l'ensemble de la population mondiale, elle compose un gradient allant de clair à foncé, où les peaux dites «jaunes» ou «rouges» ne sont en réalité que des intermédiaires entre ce qui est communément désigné «peaux blanches» et «peaux noires».

Bien que la question ne soit pas pleinement élucidée encore, il semble que la pigmentation naturelle de la peau soit une réponse adaptative à certaines pressions du milieu. Par exemple, on sait que la radiation solaire contribue à la synthèse de la vitamine D dans l'organisme, laquelle, en retour, protège du rachitisme. Or plusieurs cas de rachitisme se sont manifestés dans le passé lorsque des individus à la peau foncée se sont vus transplantés en zone tempérée froide: leur peau, adaptée à la forte radiation solaire des zones tropicales, filtrait alors trop la radiation solaire, privant leur organisme de la quantité requise de vitamine D (aujourd'hui, on prévient cette carence par un enrichissement du régime alimentaire). Il semble également que ce filtrage excessif des rayons solaires rende les individus à la peau foncée plus sujets aux gelures. À l'inverse, une peau claire en milieu de forte radiation solaire ne filtre pas assez, engendrant une surproduction de vitamine D (hypervitaminose D), mais aussi des brûlures et, à plus long terme, des cancers de la peau et des mélanomes. La peau claire semble donc essentiellement une adaptation particulière au milieu tempéré froid, où la radiation solaire est considérablement moins intense. De nombreuses études montrent d'ailleurs que les diverses formes de cancer de la peau et de mélanome attaquent beaucoup plus les individus à la peau claire que ceux à la peau foncée.

### La couleur en évolution

Lorsque Darwin publia en 1859 *L'origine des espèces par voie de sélection naturelle*, l'idée scandaleuse que l'Homme n'avait pas été créé «tout fait», qu'il avait évolué à partir d'une vulgaire forme animale, devait soudainement être envisagée. Qu'à cela ne tienne! Un simple réajustement s'opéra, et l'Homme de couleur – déjà inférieur – s'en trouva simplement relégué à un stade évolutif primitif, à mi-chemin en quelque sorte entre le

singe et l'Homme blanc. Darwin lui-même considérait les chimpanzés et les Africains hottentots comme des intermédiaires en danger d'extinction, et estimait que quelques chaînons intermédiaires manquaient déjà entre le Nègre ou l'Australien et le gorille.

Aujourd'hui encore, la séquence évolutive *singe* → *Homme noir* → *Homme blanc* continue à s'imposer plus ou moins consciemment à notre esprit. Pourtant, les parties «molles» du corps ne se préservent généralement pas à l'état fossile, ce qui fait que personne ne sait au juste quand les humains ont perdu la pilosité typique des singes. Notons cependant que la peau des singes, sous le pelage, n'est pas foncée mais claire. Cela fait techniquement de la peau claire la condition la plus primitive des deux! Douche froide pour les théoriciens racistes...

Quoi qu'il en soit, les anthropologues ont quelques idées en rapport avec l'évolution de la peau. Il est plausible, par exemple, qu'un ancêtre tropical ait perdu effectivement il y a longtemps, sans que l'on sache trop pourquoi, sa pilosité simiesque. La sélection naturelle se serait alors mise à favoriser



SAVIEZ-VOUS QU'IL Y A PLUS DE DIFFÉRENCES ENTRE UNE FEMME BLANCHE ET UN HOMME BLANC, QU'ENTRE UN HOMME NOIR ET UN HOMME BLANC ?

les individus foncés, mieux protégés contre le soleil, et à défavoriser (par la voie de cancers, de mélanomes, etc.) les individus trop pâles. De leur côté, les populations migrant vers les zones plus froides, aux variations saisonnières plus marquées, auraient plutôt vu leurs individus pâles être avantagés: l'hiver, une peau claire aurait optimisé les effets bénéfiques du rayonnement solaire; l'été, le bronzage aurait procuré une protection temporaire mais suffisante contre les chauds rayons du soleil estival. Dans les milieux fortement pluvieux (comme l'Irlande, où l'on trouve les peaux les plus claires), le caractère génétique permettant de bronzer efficacement n'aurait même pas eu à se préserver, ce qui expliquerait la propension de ces gens aujourd'hui à littéralement «cuire» au moindre rayon de soleil<sup>6</sup>. Pour être crédible, un tel scénario doit cependant pouvoir montrer que la sélection naturelle a pu agir sur les individus au cours de leur vie reproductrice, de manière à réduire globalement leur succès reproducteur (c.-à-d. à faire en sorte que les individus désavantagés laissent moins de des-

cendants que les individus avantagés). Cela semble être le cas du moins en ce qui a trait aux mélanomes et aux cancers de la peau, qui – en Australie, par exemple – causent respectivement 669 et 8 décès par tranche de 100 000 citoyens blancs âgés de 10 à 49 ans (c.-à-d. en âge de se reproduire). Par ailleurs, en considérant que le taux de réussite des traitements médicaux modernes se situe autour de 50 p. cent dans les cas de mélanomes, et de 90 p. cent pour les autres formes de cancer de la peau, il est possible d'estimer que le taux de mortalité sans traitement médical oscillerait autour de 1427 décès par 100 000. L'intérêt de ce calcul réside dans le fait qu'il doit aussi refléter, assume-t-on, le contexte de la préhistoire. Une simulation par ordinateur a permis d'évaluer qu'à ce taux, une population aurait changé de couleur en l'espace de 800 à 1500 générations, soit en 24000 à 45000 années<sup>7</sup>. Comparativement aux quatre millions d'années au moins d'existence du lignage humain, c'est un éclair!

Rien n'empêcherait donc, théoriquement, une population migrante depuis des dizaines de millénaires d'avoir pu changer de couleur à quelques reprises, au hasard des climats rencontrés... Pure spéculation? Peut-être. Mais les anthropologues disposent d'un exemple particulièrement éclairant sur lequel s'appuyer: le peuplement des Amériques. L'archéologie suggère en effet que la majorité des Amérindiens sont issus d'un petit groupe de chasseurs-cueilleurs asiatiques ayant traversé le détroit de Behring et colonisé les deux Amériques il y a quelque 20000 ou 40000 ans. Or on observe aujourd'hui que les populations amérindiennes des zones tropicales sont déjà naturellement plus foncées que les populations des zones tempérées froides du nord et du sud des Amériques. D'une certaine manière, après avoir dû «pâlir» pour coloniser le Nord asiatique, les voici qui «refoncent» sous les Tropiques! Cela semble à nouveau confirmer, comme l'écrit le généticien André Langaney, «que la couleur de la peau d'une population n'est un indicateur que de ses origines récentes (20000 à 40000 ans, au plus) et non de ses origines plus lointaines<sup>8</sup>».

C'est Buffon qui aurait été content d'apprendre ça! ••

### Notes

1. Cité par Stephen Jay GOULD dans *La mal-mesure de l'homme*, Paris, Éditions Ramsay, 1983, p. 38.
2. Cité par Sylvestre HUET dans «Au-delà des apparences», *Science et Avenir*, février 1992.
3. Cité par S. J. GOULD, *op. cit.*, p. 34.
4. Cité par S. J. GOULD, *op. cit.*, p. 30-31.
5. Cité par Michel de PRACONTAL dans «La science et les races», *Le Nouvel Observateur*, n° 1420, janvier 1992, p. 6.
6. C. J. JOLLY et F. FLOG. *Physical Anthropology and Archeology*, New York, Knopf, 1987, p. 463.
7. A. Roberto FRISANCHO. *Human Adaptation: A Functional Interpretation*, Ann Arbor, The University of Michigan Press, 1991, p. 94.
8. André LANGANEY. *Les Hommes. Passé, présent, conditionnel*, Paris, Armand Colin, 1988, p. 79.

# Quand la navigation de plaisance se fait toxique

RICHARD ST-LOUIS

**Le soleil se couche magnifiquement au-delà de la rive nord du Saint-Laurent et les occupants d'un voilier à l'ancre dans une anse du parc provincial du Bic**

se sentent en parfaite harmonie avec la nature maritime qui les entoure. Ils dégustent un muscadet, heureux, béats et ignorants de la catastrophe écologique, à l'échelle du millimètre, qui se déroule sans interruption à la surface immergée de la coque de leur navire...

Des centaines de larves de mollusques et autres invertébrés ainsi qu'une multitude de spores d'algues cherchent à s'incruster à la coque de certains bateaux, afin de croître après une longue dérive. Mais quelque chose ne tourne pas rond; le métabolisme de ces organismes se détraque progressivement. Les plus robustes s'éloignent et poursuivent leur quête au gré des courants, alors que les autres mourront intoxiqués, en toute légalité, au tri-n-butylétain (TBT). Pendant 20 ans, cette hécatombe silencieuse s'est déroulée sur la coque de tous les bateaux traités au moyen d'une peinture contenant ce composé d'étain; puis, les preuves s'étant accumulées, le TBT est devenu le nouveau paria synthétique des milieux aquatiques.

Très toxique, cette molécule organométallique (qui se compose d'un métal, l'étain, entouré de trois chaînes de quatre carbones) est l'arme ultime de l'arsenal chimique mis au point par l'Homme pour empêcher la colonisation indésirable, par des organismes aquatiques, des surfaces immergées: les coques de bateaux, les pontons, les équipements d'aquaculture, l'intérieur des conduites d'eau et même le plancher des usines de transfor-

mation du poisson. Ce combat de l'espèce humaine contre la nature avait déjà lieu dans l'Antiquité; en effet, les Phéniciens fixaient des clous de cuivre sur leurs navires en bois pour empêcher la croissance des algues, des balanes et des vers. Pourquoi cet acharnement? Parce que la présence d'organismes sur une coque de bateau, même s'il ne s'agit que d'un film « biologique » de quelques millimètres, diminue l'hydrodynamicité de cette dernière. Il en résulte une perte de vitesse pour les voiliers et une augmentation de la consommation de carburant pour les navires à moteur, sans compter le pourrissement accéléré des structures de bois. Pour résoudre ce problème, on a d'abord eu recours à des traitements à base de mercure et d'arsenic, qui ont ensuite été remplacés par des peintures à base de cuivre; puis l'utilisation du tri-n-butylétain comme biocide, plus efficace que le cuivre et moins toxique à long terme que le mercure, s'est imposée comme LA solution. Le TBT est soit mélangé physiquement à la peinture, soit lié chimiquement au polymère. Ce dernier type de peinture est très efficace: le TBT est libéré par hydrolyse molécule par molécule; sa présence est alors maintenue à la surface de la coque en une mince couche mortelle.

Le gouvernement canadien a approuvé l'utilisation de cette peinture; dans un rapport technique daté de 1967 et provenant du Bureau de recherche sur les pêches, on peut lire: « Le traitement au TBT des structures immergées en bois est nettement plus efficace que le goudron pour empêcher le ver *teredo sp.* de s'y incruster, et est donc recommandé. » Cependant, l'auteur ajoute: « Par contre, le TBT ne devrait pas être utilisé sur les ins-

tallations d'aquaculture. Des malformations ont été notées chez les mollusques en contact avec le bois traité au TBT. » Force est de constater que cette mise en garde importante est complètement oubliée dans toute la documentation sur le sujet. Au milieu des années soixante, la commercialisation des peintures anti-salissures à base de TBT a donc fait le bonheur, à travers le monde, de centaines de milliers de propriétaires de bateaux de plaisance, d'armateurs de navires marchands et de gestionnaires de flottes militaires. Le problème semblait réglé dans le meilleur des mondes aquatiques quand un cri d'alarme surgit de la baie d'Arcachon, en France.

## Sauve qui peut... les huîtres!

Cette région de la côte atlantique est renommée depuis le XVIII<sup>e</sup> siècle pour la qualité de sa production ostréicole. Mais, à partir de 1977, cette réputation fut menacée: en quatre ans, la production annuelle passa de 12 000 tonnes à moins de 3 000 tonnes. De plus, le recrutement des larves, qui assure le renouvellement de la population d'huîtres, s'effondra. Les larves survivaient à peine quelques jours dans la baie, alors qu'elles pouvaient croître normalement lorsqu'elles étaient transférées dans une eau propre. Enfin, des malformations fréquentes des coquilles des huîtres fournirent autant de preuves qu'un intrus toxique troublait les eaux marines.

C'est en 1981 que l'équipe de Claude Alzieu, du laboratoire IRFEMER de Nantes, identifia le coupable: le tri-n-butylétain. Bien que cette molécule se dégrade en quelques jours dans l'eau, sa libération constante à partir de la peinture appli-

quée sur une coque en maintient la présence dans l'environnement aquatique immédiat où mouille le bateau. L'impact d'un seul bateau est négligeable mais, comme la baie d'Arcachon et ses environs comptent plusieurs marinas regroupant entre 10 000 et 15 000 voiliers, yachts et autres navires, l'apport continu de TBT dans l'eau provoqua des désordres métaboliques chez des organismes marins non ciblés par l'utilisation du biocide. L'étude du laboratoire nantais montra également que le TBT induisait ces désordres à des concentrations très faibles, à peine quelques nanogrammes par litre d'eau, soit une dizaine de parties par milliard! Ce qui fit dire à un chercheur, Goldberg, que le TBT était le produit le plus toxique jamais introduit délibérément dans les milieux aquatiques par l'Homme. Des équipes spécialisées en écotoxicologie aquatique entreprirent alors la chasse au TBT à travers le monde entier.

On en trouva partout: de la baie de Chesapeake à la mer du Nord, en passant par les baies de San Francisco et de San Diego, les côtes de la Nouvelle-Zélande, les îles Fidji, la baie de Tokyo, la côte de Bahrein, la mer Adriatique, les ports luxueux de la Côte d'Azur et de la Costa del Sol, le lac Lucerne, la mer Baltique, la côte portugaise et, pour terminer ce tour du monde, les Grands Lacs. De tous les lieux étudiés jusqu'en 1989, c'est au Canada qu'on a trouvé les taux de contamination les plus élevés: 10,8 microgrammes de TBT par gramme de sédiment dans le port de Vancouver et un peu plus de 2 microgrammes de TBT par litre d'eau à Port Hope (Ontario). Ce triste double record a été mesuré entre 1980 et 1985 par l'équipe de R. J. Maguire, du Centre des eaux intérieures à Burlington. Et cette concentration aqueuse est 2 000 fois plus élevée que la norme fixée par la suite par les gouvernements des pays concernés.

### Le TBT devant la loi

L'imposition de restrictions quant à l'utilisation des peintures à base de TBT et l'instauration d'une concentration limite acceptable pour le milieu aquatique s'imposaient de toute urgence. Encore une fois, la France ouvrit le bal. Devant l'accumulation des rapports faisant état des effets catastrophiques du TBT sur les organismes aquatiques (malformations des larves de poissons, inhibition de la croissance du phytoplancton et changements de sexe chez certains gastéropodes marins) et la perte de 150 millions de dollars américains essuyée par l'industrie ostréicole, le gouvernement comprit la nécessité de provoquer un débat avec les fabricants de peinture et les utilisateurs. Les représentants des marines marchandes et militaires défendirent l'utilisation des peintures à base de TBT en invoquant des arguments à caractère économique: un paquebot comme le *Queen Elisabeth* voit sa consommation de pétrole augmenter de 1 p. cent lorsque la coque n'est pas traitée au TBT; de même, la flotte de la US Navy épargne 100 millions de dollars en carburant grâce à l'utilisation du TBT; de plus, les cargos et les navires militaires sont la plupart du temps en



PARMI LES ESPÈCES TOUCHÉES PAR LA POLLUTION DU TBT, ON NOTE EN PARTICULIER LES HÛÎTRES.

mouvement alors que les bateaux de plaisance sont souvent amarrés.

En janvier 1982, la France adopta donc la réglementation suivante: les peintures anti-salissures à base de TBT étaient désormais interdites sur les bateaux de moins de 25 mètres, sauf ceux à coques d'aluminium (les peintures contenant du cuivre provoquant leur corrosion). Et les peintures utilisées devaient contenir moins de 3 p. cent d'organoétain. Les Britanniques adoptèrent sensiblement la même législation en 1985, tout en fixant la norme de 0,02 microgramme de TBT par litre d'eau comme concentration limite acceptable pour l'environnement marin (le TBT était responsable d'une diminution dramatique de la population de buccins-chiens des côtes anglaises). Révisée en 1987, cette norme passa à 0,002 microgramme par litre. De l'autre côté de l'Atlantique, certains États des États-Unis emboîtèrent le pas. La Virginie fixa en plus, pour le relargage de TBT à partir d'une surface traitée, un taux maximal de 4 microgrammes par centimètre carré par jour. Le Congrès américain adopta finalement une loi nationale en 1988. Au Canada, l'utilisation des peintures au TBT fut assujettie, en 1989, au Règlement sur les produits antiparasitaires, qui reprenait l'essentiel des lois françaises; cependant, la concentration limite de TBT acceptable pour l'environnement marin était abaissée à 0,001 microgramme par litre, et à 0,008 microgramme par litre pour les milieux d'eau douce. Les scientifiques de ces pays mirent alors sous observation les écosystèmes aquatiques malades d'une surdose de TBT.

### Des résultats mitigés

En quelques années, les signes d'une guérison apparente se manifestèrent presque partout où des restrictions avaient été imposées: aux États-Unis, en Angleterre et sur la côte atlantique française, la concentration de TBT dans l'eau fut ramenée à des niveaux proches des limites de détection des méthodes analytiques. Dans la baie d'Arcachon, la production d'huîtres augmenta sensiblement dès la première année de l'adoption de la loi; en 1984, elle atteignit de nouveau 12 000 tonnes. Par contre, la diminution de la contamination des sédiments fut plus lente que prévu; comme pour beaucoup d'autres polluants, le sédiment semble conserver le TBT. Celui-ci peut alors être remobilisé dans la colonne d'eau et y maintenir sa présence, surtout à proximité d'une cale sèche où les

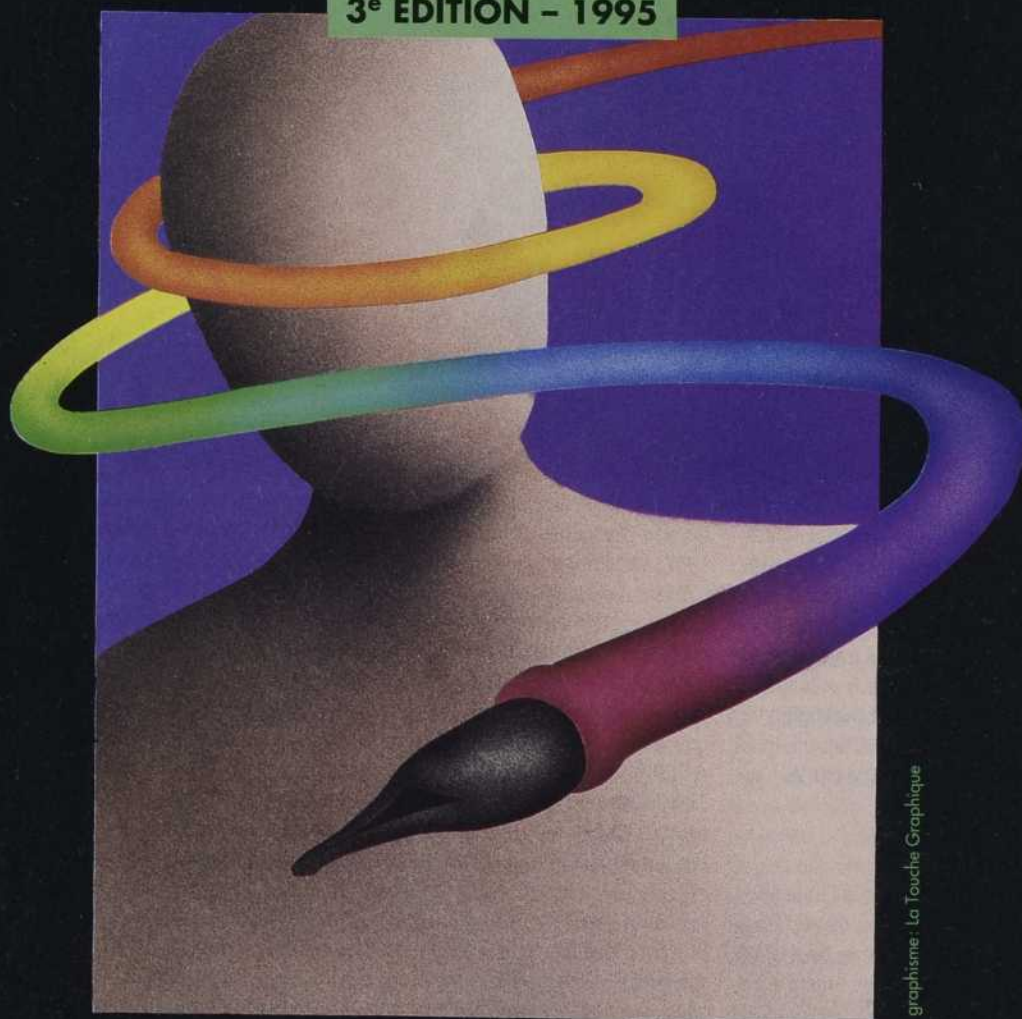
copeaux de vieilles peintures ont été rejetés à l'eau et se sont déposés sur le fond. Bien entendu, on observa, en des lieux bien définis, une récupération plus lente de l'écosystème en raison d'une utilisation illégale des peintures au TBT (surtout dans l'année qui suivit l'adoption de la loi, et sans doute pour écouler les stocks vendus). Mais le bémol *presque partout* prend toute sa signification dramatique sur la côte méditerranéenne française. L'équipe de Claude Alzieu rapporte qu'en 1991, la contamination par le TBT y était semblable, et quelquefois supérieure, à ce qu'elle était avant l'adoption de la loi de 1982. La raison en est simple: de tous les pays ceinturant la Méditerranée, seule la France restreint l'utilisation des peintures aux organoétains. Bien que la diffusion dans l'eau soit responsable en partie de la contamination de la côte française, le problème est surtout attribuable au fait que les nombreux navires mouillant dans les marinas de la Côte d'Azur sont enregistrés, donc peints, dans les pays sans législation sur le TBT. Au Canada, l'équipe de R. J. Maguire, de Burlington, publiera d'ici deux ans un rapport sur l'efficacité des mesures canadiennes adoptées en 1989. Mais on sait déjà que cette loi devra être assouplie; la Colombie-Britannique fait face au même problème que la France en Méditerranée. Les propriétaires de la région de Vancouver vont faire traiter leurs bateaux chez leurs voisins américains, où l'utilisation du TBT est moins restreinte. Si les polluants sont sans patrie, les propriétaires de bateaux, eux, sont parfois sans scrupules.

Tout l'avenir des écosystèmes aquatiques, marin en particulier, face au TBT (et autres biocides anti-salissures) tient dans la question suivante: peut-on imposer une loi internationale de la mer sur le traitement de la coque des navires? Depuis le rapport français de 1982, la liste des lieux contaminés au TBT ne cesse de s'allonger; les records canadiens ont été battus. En 1991, dans le port de Suva (îles Fidji), on a mesuré quatre fois plus de TBT dans les sédiments qu'à Vancouver; en 1989, à Grevelingen (Pays-Bas), on a rapporté une concentration aqueuse de TBT trois fois supérieure à celle mesurée à Port Hope. Au Québec, ni Pêches et Océans Canada ni le ministère de l'Environnement du Québec ne possèdent de données concernant l'estuaire maritime et le golfe du Saint-Laurent. Cependant, à l'été 1993, une étude préliminaire effectuée par l'équipe d'Émilien Pelletier, de l'INRS-Océanologie à Rimouski, a révélé la présence de TBT dans la marina de Rimouski-Est. Mais l'ajout du Québec maritime à la liste mondiale est à confirmer.

Les scientifiques et les chefs politiques ont leur part de responsabilités, bien sûr, mais les couchers de soleil camoufleront encore longtemps le poison transporté par les voiliers si l'insouciance, ou du moins l'ignorance, de leurs passages n'évolue pas en prise de conscience. Le mot miracle pour ce mal écologique est « concertation ». Un mot qui, malheureusement, à force d'être utilisé, devient parfois aussi vide qu'une coquille d'huître morte. ••

# Concours de Vulgarisation Scientifique de l'Acfas

3<sup>e</sup> ÉDITION - 1995



graphisme: La Touche Graphique

Le Concours de vulgarisation scientifique de l'Acfas est l'occasion de rendre accessibles au grand public tous les domaines dans lesquels travaillent nos chercheuses et chercheurs, qu'il s'agisse d'histoire, d'astronomie, de génie médical, de linguistique, de muséologie, etc.

#### Pour qui?

- Les professeures et professeurs des cégeps et universités (y compris les chargées et chargés de cours, ainsi que toute autre personne ayant un statut non permanent);
  - Les chercheuses et chercheurs des centres publics et privés de recherche;
  - Les étudiantes et étudiants universitaires de 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> cycles.
- De plus, le concours est ouvert aux francophones résidant à l'extérieur du Québec et aux étudiants et travailleurs étrangers en séjour au Québec.

#### Prix:

- Six prix de 2000 \$ répartis dans les trois catégories de participantes et participants, ainsi que la publication des textes primés.

#### Comment participer?

- Soumettre un article composé d'un maximum de cinq feuillets à interligne double, accompagné d'un bref curriculum vitae.
- La qualité de la rédaction, la rigueur scientifique, le souci de vulgarisation et l'originalité du traitement seront les critères de base retenus par le jury pour la sélection des gagnantes et gagnants.

Un guide de vulgarisation scientifique est disponible sur demande.

Pour recevoir le formulaire d'inscription au concours et le guide de vulgarisation, s'adresser à:



Acfas

Association canadienne-française  
pour l'avancement des sciences

425, rue De La Gauchetière Est  
Montréal (Québec)  
H2L 2M7

Tél. : (514) 849-0045  
Télec. : (514) 849-5558

Date de clôture du concours: 1<sup>er</sup> février 1995