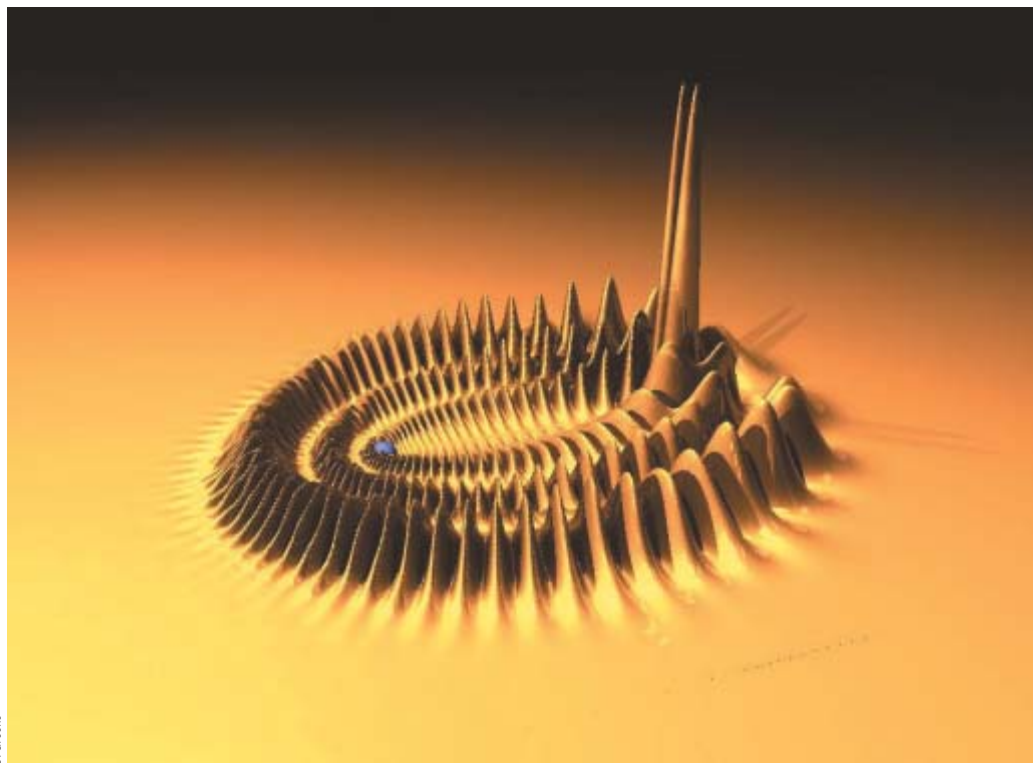


condes environ après que les interactions sont redevenues attractives, les condensats implosent – phénomène que C. Wieman nomme avec humour «Bosenova», faisant référence aux supernovae qui marquent la fin des étoiles massives dont leur cœur s'effondre sur lui-même avant d'exploser. Dans le cas des condensats, ces implosions éjectent du piège environ un tiers des atomes : il ne reste alors qu'un reliquat de condensat entouré d'un nuage d'atomes plus chauds (si tant est que l'on puisse qualifier de «chaude» une température de 100 milliardièmes de kelvins).

Un avenir «lumineux»

Les étranges propriétés des condensats de Bose Einstein en font des objets d'étude fascinants. Manifestations macroscopiques des lois quantiques, ils se comportent comme des «ondes de matière». Leurs propriétés fluides sont mises en évidence par l'étude des vortex, alors que les lasers atomiques révèlent leurs comportements ondulatoires. Dans tous les cas, l'image classique qui assimile les condensats à des nuages de petites billes dures est trop naïve pour expliquer leurs propriétés.

Les condensats pourraient trouver des applications en optique non linéaire, l'étude des phénomènes au cours desquels la lumière interagit avec elle-même. Dans ce domaine de recherche aux applications importantes, par exemple pour la construction de processeurs d'information entièrement optiques, les chercheurs sont souvent gênés par les intensités importantes nécessaires à l'obtention d'effets notables. Comme les atomes interagissent beaucoup plus facilement que les photons, des effets analogues peuvent être obtenus avec de faibles intensités lorsque l'on remplace les faisceaux lumineux par des lasers atomiques : les condensats de Bose-Einstein pourraient devenir des outils intéressants pour l'étude des phénomènes non linéaires. Par ailleurs, ils ont déjà permis à plusieurs équipes d'obtenir des impulsions lumineuses ralenties (à quelque 17 mètres par seconde). Plus étonnant encore, selon Wayne Hui et ses collègues de l'Université Princeton, la physique des condensats aidera peut-être les cosmologistes à comprendre l'origine de la «matière sombre» qui



4. LA «MOLÉCULE TRILOBITE», constituée de deux atomes de rubidium, illustre la quête des physiciens : découvrir les plus gros objets susceptibles de subir une condensation de Bose-Einstein. Elle est 1 000 plus grosse qu'une molécule diatomique normale (les pics dorés indiquent la densité du nuage électronique formé par les deux électrons de liaison ; la bille violette représente l'un des atomes, l'autre est masqué par les deux «tours jumelles»). Les physiciens pensent que, sous l'action d'une excitation laser appropriée, elle est susceptible de se former à l'intérieur d'un condensat. Dans certains condensats, des techniques lasers similaires ont permis d'obtenir des molécules ultrafroides ordinaires. L'objectif est de découvrir si l'on peut réaliser un condensat formé de molécules plutôt que d'atomes.

constitue près de 90 pour cent de la masse de l'Univers. Selon W. Hui, ses propriétés pourraient s'expliquer s'il s'agissait d'un gigantesque condensat de Bose-Einstein, omniprésent dans l'Univers et constitué de particules de très faible masse.

Enfin, les chercheurs s'intéressent aujourd'hui aux fermions eux-mêmes. Les fermions ne sont pas susceptibles de se condenser, mais, dans certains cas, ils peuvent s'associer, à basse température, en paires de spin entier. Ces paires sont des bosons capables de condensation. Jusqu'ici, la réalisation de condensats à partir de gaz de fermions s'est

révélée ardue. L'instinct «individualiste» de ces particules les empêche d'interagir notablement et les échanges thermiques qui permettent d'obtenir les très basses températures nécessaires ne peuvent avoir lieu. Toutefois, Christophe Salomon, de l'École normale supérieure, à Paris, pense que la condensation de paires de fermions sera possible si l'on plonge les particules dans un «bain» de bosons froids capable d'abaisser leur température. Lorsque les physiciens y parviendront, ils auront la possibilité de fabriquer des fonctions d'onde macroscopiques avec les deux familles de particules de l'Univers.

Graham COLLINS est journaliste à *Scientific American*.

E. Cornell et C. Wieman, *La condensation de Bose-Einstein*, in *Pour la Science*, n° 247, mai 1998.

Daniel KLEPPNER, *The Yin and Yang of Hydrogen*, in *Physics Today*, vol. 52, n° 4, avril 1999.

K. HELMERSON, W. PHILLIPS, K. BURNETT et D. HUTCHINSON, *Atom lasers*,

in *Physics World*, vol. 12, n° 8, août 1999.

Y. CASTIN, R. DUM et A. SINATRA, *Bose condensates make quantum leaps and bounds*, in *Physics World*, vol. 12, n° 8, août 1999.

W. KETTERLE, *Experimental studies of Bose-Einstein condensation*, in *Physics Today*, vol. 52, n° 12, décembre 1999.

Lene V. HAU, *La lumière ralentie*, in *Pour la Science*, n° 287, septembre 2001.

Le commerce des poissons d'aquarium



SARAH SIMPSON

La pêche au cyanure utilisée pour attraper des poissons exotiques menace la plupart des récifs coralliens de l'Asie du Sud-Est. Une meilleure gestion du commerce international de ces poissons devrait préserver un écosystème fragile.

Le cyanure est un poison rapide : dès qu'il est absorbé, il bloque la respiration des cellules dans l'organisme, de sorte que les tissus sont rapidement asphyxiés. À des doses élevées, il ralentit le cœur et arrête l'activité électrique du cerveau. Le cyanure est mortel, mais il est pourtant utilisé pour capturer des poissons vivants dans les récifs coralliens. Cette pratique est courante en Indonésie et aux Philippines, où la collecte fournit environ 85 pour cent des poissons tropicaux qui peuplent les aquariums marins du monde entier.

Les plongeurs immobilisent les poissons avec du cyanure pour les attraper facilement, mais les conséquences sont graves. Lorsqu'ils lâchent du cyanure sur un récif corallien, la moitié des poissons empoisonnés meurt, et 40 pour cent de ceux qui survivent meurent avant d'atteindre un aquarium. Ce taux de mortalité ne tient pas compte des ravages produits sur les coraux, ni sur les invertébrés ni sur les autres poissons tou-

chés par le poison.

La pêche au cyanure n'est pas la seule activité humaine qui détruit les récifs coralliens, mais dans les eaux d'Asie du Sud-Est, elle représente l'un des principaux fléaux. Cette région abrite presque 30 pour cent des coraux de la planète, et la diversité de la vie marine y est la plus élevée dans le monde. Seuls un peu plus de quatre pour cent des récifs des Philippines et à peine sept pour cent de ceux d'Indonésie sont encore en «bonne santé» : ils sont aussi devenus la cible privilégiée des pêcheurs.

Depuis près de 20 ans, les pays exportateurs font des efforts pour réglementer le commerce dévastateur des poissons d'aquarium, mais sans grand succès. Une nouvelle stratégie se met actuellement en place et vise davantage les pays importateurs, les détaillants et les acheteurs. Une organisation non gouvernementale (*Marine Aquarium Council*) participe à la sauvegarde de quelques-uns des derniers récifs. Elle cherche à

garantir que les poissons marins vendus chez les détaillants ont été pêchés dans le respect des règles écologiques. Les premiers poissons certifiés «pêchés écologiquement» seront bientôt sur le marché. Cette organisation met aussi en place un étiquetage spécifique et cherche à faire en sorte que l'on connaisse l'origine des poissons d'aquarium. Les espèces de poissons qui peuvent être élevées en captivité sont rares, de sorte que l'avenir des aquariums amateurs dépend de la préservation des récifs coralliens. Les aquariophiles le savent bien et achèteront de préférence des poissons «certifiés». Aujourd'hui, les détaillants n'ont aucun moyen de connaître l'origine exacte des poissons qu'ils achètent aux importateurs. En outre, des informations contradictoires circulent et l'on ignore l'étendue de l'utilisation de la pêche au cyanure.

Un commerce récent

L'utilisation du cyanure de sodium pour la capture des poissons d'aquarium a commencé en 1957, aux Philippines. En 40 ans, les pêcheurs ont jeté plus d'un millier de tonnes de cyanure sur les récifs des Philippines, selon une estimation de l'Alliance internationale pour la vie marine, une organisation non gouvernementale fondée en 1985 pour lutter contre l'extension des pratiques de pêche destructrices dans la région. La pêche au cyanure a été interdite dans la majeure partie du Sud-Est asiatique, et, en 1975, un décret présidentiel philippin a déclaré illégal le fait de pêcher au cyanure, d'en avoir en sa possession sur un bateau et de vendre du poisson capturé par ce moyen. Les Philippines qui pêchent au cyanure encourrent une peine de plusieurs mois de prison. L'Indonésie a pris des mesures similaires. Pourtant, il reste quelques usages autorisés du cyanure, par exemple pour l'extraction de l'or, de sorte que l'importation de ce poison n'est pas strictement réglementée. Force est de constater que

la pêche au cyanure se poursuit.

Pendant ces 15 dernières années, l'organisation a consacré plus de six millions de



1. ENVIRON 35 MILLIONS DE POISSONS destinés aux aquariums sont prélevés chaque année sur les récifs coralliens et exportés.

Comment le cyanure tue

Les pêcheurs de poissons d'aquarium qui utilisent le cyanure cherchent simplement à étourdir les animaux, mais la méthode détruit tout l'écosystème corallien. Les plongeurs écrasent une ou deux tablettes blanches de cyanure de sodium dans une bouteille en matière plastique. Ils projettent la solution de cyanure dissous sur les coraux où se cachent les poissons. Les animaux situés dans le flux absorbent les ions cyanure principalement par l'épithélium des branchies. Dès que le toxique pénètre dans les poissons, il est véhiculé par le sang, se répartit dans tout l'organisme et pénètre dans les cellules. Il atteint les mitochondries, où il inhibe les réactions biochimiques de la chaîne de la «respiration» cellulaire qui, en consommant l'oxygène, produit l'énergie des cellules, l'ATP (adénosine triphosphate).

Certaines enzymes de la chaîne respiratoire, telle la cytochrome-c-oxydase, sont particulièrement touchées. Toute la machinerie cellulaire s'étouffe par manque d'énergie. La quantité d'oxygène dans le sang ne diminue pas, mais l'oxygène ne peut plus remplir son rôle dans la chaîne de la respiration cellulaire. Les poissons n'ont plus d'énergie pour nager, ils ont des spasmes et deviennent des proies faciles à attraper au filet, ou même à la main. Bon nombre d'entre eux décèdent aussitôt. La survie des autres est menacée à plus ou moins long terme. En effet, le poison s'accumule dans le foie et crée des lésions, en particulier dans le cœur et dans le cerveau, des organes qui consomment beaucoup d'oxygène pour faire face à leurs importants besoins énergétiques. Il opère ainsi des ravages, avant

d'être métabolisé, puis évacué : les ions cyanure se transforment en ions thiocyanate, moins toxiques. Puis les ions thiocyanate sont rejetés par voie urinaire.

Le cyanure endommage aussi les coraux, de façon directe et indirecte. James Cervino, de l'Université de Caroline du Sud, a exposé dix variétés de coraux à des concentrations de cyanure négligeables par rapport à celles qu'utilisent les pêcheurs. Huit de ces espèces sont mortes aussitôt, et les deux autres, trois mois après l'expérience. La variété *Acropora* et d'autres coraux branchus, les «bâtisseurs» des récifs, sont les plus vulnérables. Ils sont très exposés au cyanure, car les petits poissons destinés aux aquariums s'y cachent volontiers. Par ailleurs, le cyanure agit sur les coraux de manière indirecte. Il rompt la relation symbiotique entre les coraux et les algues unicellulaires qu'ils hébergent, les zooxanthelles.

Ces dernières alimentent les coraux, à partir de leur activité photosynthétique (la fabrication de composés organiques à partir d'eau et de dioxyde de carbone sous l'action de la lumière). Les zooxanthelles contiennent des pigments responsables de la photosynthèse, et qui donnent leur couleur aux coraux. Même avec de faibles doses de cyanure (seulement 50 milligrammes par litre), les zooxanthelles disparaissent, et les coraux meurent par manque de ressources trophiques. Enfin, bien que les coraux non branchus résistent mieux au poison, leurs tissus externes sont gravement touchés et les récifs s'altèrent : tous les récifs sont en danger.



Les pêcheurs de poissons d'aquarium plongent à une profondeur de plus de 20 mètres. La pêche écologique (à gauche) consiste à faire sortir les poissons des coraux en utilisant l'air qui s'échappe d'un tuyau relié à un compresseur situé à bord d'un bateau. Ce tuyau leur sert aussi à respirer. Les pêcheurs qui utilisent le cyanure le projettent en solution directement sur les coraux (reconstitution ci-dessus).