

## POLLUTION

Par Yves Sciama

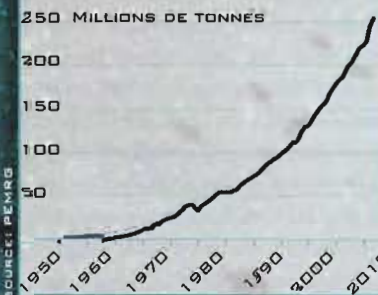
# Les océans malades du plastique

C'est par millions de tonnes que les matières plastiques sont aujourd'hui rejetées dans les océans ! Une plaie pour la pêche et le tourisme... mais surtout, des études révèlent que ces déchets sont loin d'être inoffensifs. Cri d'alarme.



### Production mondiale de plastique

Alors que la production annuelle de plastique avoisine les 260 millions de tonnes, gérer les déchets devient impératif.



SOURCE: BEMRE

P. DAMNA, BIOSPHOTO - A. RIVES



> L'équipe de Charles Moore (à droite), de la fondation Algalita, prélève et analyse des échantillons dans le Pacifique Nord.

▼ Le plastique est partout: de la surface des océans au plus profond des canyons méditerranéens.



▲ Les scientifiques récupèrent dans le Pacifique Nord environ 5 kg de déchets plastique par km<sup>2</sup>, six fois plus que le plancton présent.



consommation. Il s'en produit dans le monde quelque 260 millions de tonnes annuelles, et la croissance en est si rapide qu'au cours de l'actuelle décennie, l'humanité aura fabriqué plus de plastique que durant tout le xx<sup>e</sup> siècle! Or, l'océan reste le point le plus bas de la planète, celui où conduit la gravité, où aboutissent les rivières et les objets légers portés par le vent. "Le milieu marin est l'exutoire final", résume Gilles Boqué. Car il ne faut pas oublier que la collecte des déchets, à l'échelle mondiale, en est encore à ses balbutiements. Aux Etats-Unis, une étude de 2004 précise que 50 % du plastique produit est mis en décharge, 20 % transformé en biens à longue durée de vie, et 5 % est recyclé. Quid des 25 % restants, soit 12,5 millions de tonnes? Eh

FAITS & CHIFFRES

Il existe une vingtaine de plastiques, qui sont tous des polymères, c'est-à-dire de très longues chaînes de molécules carbonées élémentaires. Les principaux sont le polyéthylène (PET), le polypropylène, le chlorure de polyvinyle (PVC) et le polystyrène. En 2007, les 52 millions de tonnes de plastique fabriqué dans l'UE ont été employés dans l'emballage, 37 %; le BTP, 21 %; l'automobile, 8 %; l'électronique, 6 %. Reste 28 % de "divers", du matériel médical au jouet.

bien, ils échappent à la statistique, ce qui signifie qu'une bonne proportion doit terminer sa course dans l'océan. Encore ne s'agit-il là que des statistiques d'un pays développé! La situation est bien différente en Inde et en Chine, où les capacités de collecte de déchets sont très faibles, mais où tournent 65 000 usines fabriquant 50 millions de tonnes de plastique par an – soit autant que l'oncle Sam...

Ce problème du plastique océanique n'est certes pas nouveau. Mais il a longtemps été assimilé à celui des objets visibles, dits macrodéchets (plus de 5 mm de long), essentiellement connus pour poser un problème "esthétique" ayant des conséquences coûteuses pour l'industrie touristique: le Royaume-Uni, par exemple,

dépense environ 15 millions d'euros par an en nettoyage de ses plages. Les impacts sur la pêche et la navigation sont également non négligeables (blocages d'hélices et pannes, tri des déchets dans les filets...): ils atteignent 100 millions d'euros par an pour le Japon. En revanche, au plan écologique, l'idée dominante a longtemps été que le plastique ne posait qu'un problème marginal, du fait de la grande inertie chimique des polymères, de longues chaînes carbonées d'une extrême stabilité – donc a priori non toxiques.

PÊCHE, NAVIGATION ET FAUNE SONT TOUCHÉES

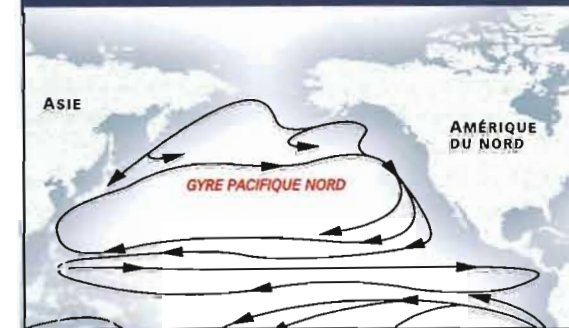
Sauf que non toxique ne veut pas dire inoffensif. Beaucoup d'animaux meurent enchevêtrés dans du matériel de pêche, de navigation ou dans d'autres objets (emballages, films...). Selon la Marine Conservation Society britannique, quelque 100 000 mammifères marins meurent chaque année d'avoir croisé la route de plastiques. De plus, les plastiques flottants servent de véhicules à toutes sortes d'organismes envahissants: hydrozoaires, mollusques, vers polychètes... D'après une étude menée en 2002 par des chercheurs du British Antarctic Survey et publiée dans *Nature*, les plastiques flottants ont doublé le taux d'expansion des espèces exogènes sous les tropiques et l'ont triplé aux hautes latitudes.

Surtout, l'ingestion de plastique affecte un grand nombre d'animaux marins. Environ 85 % des espèces de tortues marines avalent fréquemment des sacs plastiques, qui leur occasionnent des occlusions intestinales souvent mortelles. Il arrive plus rarement que des mammifères succombent à ce piège, mais les oiseaux semblent y être particulièrement vulnérables. Selon l'ornithologue néerlandais Jan Van Franeker, de l'Institut d'études marines de Wageningen (Imares), qui

Il n'y a pas de "continent" de plastique

Les grands océans sont parcourus par des vents réguliers, qui résultent des différences de température de l'air entre l'équateur et les pôles, et de la rotation terrestre. Ces vents transmettent leur mouvement à l'eau des océans, créant les grands courants célèbres tel le Gulf Stream ou le Kuroshio japonais. Ces courants s'organisent en de vastes systèmes circulaires, les gyres, qui convergent vers le centre des océans dans chaque hémisphère. Dans ces zones de haute pression, l'océan est légèrement plus bas – de là la capacité des gyres à piéger les déchets flottants. L'abondance du plastique dans le gyre du Pacifique Nord s'explique ainsi par le flux de matériaux issus à la fois du Japon et de la côte ouest américaine. En dépit d'appellations imagées qui, médiatiquement, font florès, telles que "le continent de plastique", il contient relativement peu de déchets visibles à l'œil. En revanche, l'eau s'y avère être une sorte de "soupe de plastique" où, jusqu'à une profondeur d'environ 30 m, flottent d'innombrables particules de polymères, dont la taille moyenne tourne autour du millimètre.

▼ Formée par les vents et les courants, le gyre du Pacifique Nord est un gigantesque tourbillon qui concentre les déchets provenant des deux côtés de l'océan.

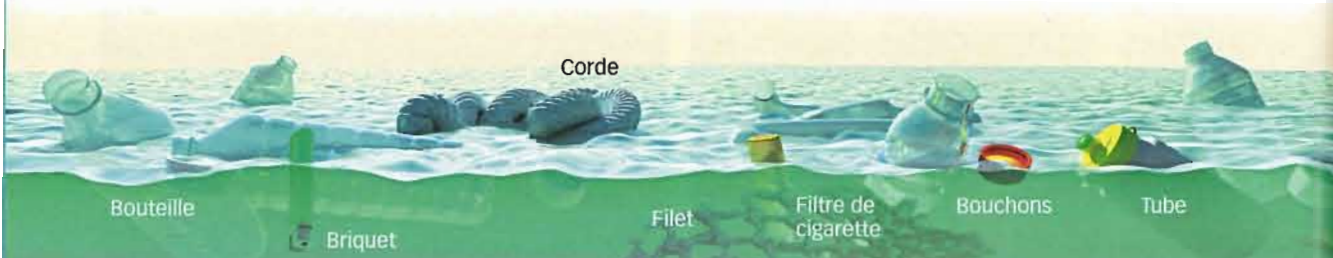


suit la question depuis plus de vingt ans, la situation est alarmante: "Je coordonne une étude internationale qui consiste à ramasser sur les plages de la mer du Nord les cadavres des fulmars, des oiseaux relativement communs que l'on retrouve souvent morts sur le littoral. Nous constatons désormais que ces oiseaux ont en moyenne, sur les côtes françaises, de l'ordre de 0,6 g de plastique dans leur estomac. Ce qui, pour un homme adulte, représente l'équivalent de 600 g! Et quelque 80 autres espèces sont touchées, depuis les albatros jusqu'aux pétrels." La décomposition des cadavres d'albatros sur des îlots inhabités du Pacifique révèle ainsi des capsules de bouteilles, des briquets, des éclats de plastique, des billes de polystyrène...

Au total, plusieurs centaines d'espèces marines ont été recensées qui présentent chroniquement du plastique →



# Comment les plastiques contaminent les océans



## 1 Les plastiques représentent plus de 80 % des déchets océaniques

Bouteilles, briquets, stylos, emballages, granulés industriels, filtres de cigarettes et d'innombrables autres objets flottent et dérivent pendant des années.

## 2 Le plastique s'alourdit...

Toutes sortes d'organismes (mollusques, crustacés, polypes...) colonisent progressivement le plastique. Les morceaux ainsi alourdis s'enfoncent. Certains rejoignent les profondeurs et s'accumulent dans le sédiment.

→ dans l'estomac. Mais quantifier la gravité du problème reste complexe. "C'est la difficulté avec les effets subtils", résume Jan Van Franeker. *Un animal qui a l'estomac chargé en plastique peut survivre, mais avec une capacité diminuée à accumuler des réserves de graisse, donc à traverser l'hiver. Il peut développer des plaies intestinales qui lui feront perdre du sang. Surtout, sa capacité à se reproduire est probablement altérée: les oiseaux, par exemple, régurgitent pour nourrir leurs poussins. Un parent fatigué, amaigri, qui régurgite en partie du plastique, réduit à l'évidence le pronostic vital de sa nichée. Reste que mesurer précisément tout cela est affreusement compliqué...*

Déjà bien rempli, le dossier noir des plastiques en milieu marin n'est pas bouclé pour autant car la science s'intéresse désormais à l'impact écologique, tout aussi compliqué, des microplastiques, les débris de moins de 5 mm. De quoi s'agit-il? "Sous l'effet du rayonnement ultraviolet et du ressac, les gros objets se fragmentent en débris de taille décroissante", indique Richard Thomson, de l'université britannique de Plymouth, un des spécialistes mondiaux de cette question. A quelle vitesse, en passant par quelles étapes? On l'ignore, d'autant que cela dépend de nombreux facteurs (nature du

polymère, durée du séjour à la surface, température de l'eau, courants, etc.). Ce qui est certain, c'est qu'une part de ce plastique finit par devenir invisible: dans les échantillons de sédiment marin analysés par le chercheur, il a été retrouvé des fragments de 20 micromètres ( $\mu\text{m}$ ) – un cinquantième de millimètre. "Passé 20  $\mu\text{m}$ , avertit Richard Thomson, nous ne voyons plus les morceaux avec nos techniques actuelles. En fait, nous ne savons pas jusqu'où cette fragmentation se poursuit."

### DES MILLIARDS DE TONNES DE DÉCHETS

On pourrait à première vue se réjouir: n'est-ce pas une façon pour la nature d'éradiquer ces milliards de tonnes de déchets générés par l'homme? Le problème, c'est que cette fragmentation ne constitue pas un changement de nature du plastique: il reste composé de polymères qu'aucun processus biologique n'est capable de détruire et aucun organisme capable d'assimiler. Alors que le pétrole d'une marée noire, par exemple, est éliminé en quelques décennies par les nombreux micro-organismes aptes à le décomposer, "le plastique produit par l'homme au cours du dernier siècle, à l'exception de la fraction qui a été incinérée, est toujours là, quelque part sur la planète", indique Charles Moore, de la fondation californienne Algalita, lui aussi spécialiste de ce problème.

Il y a donc, désormais, des morceaux de plastique en suspension dans toutes les eaux salées de la planète, quoiqu'en quantités variables. Un cas les plus médiatiques, que Charles Moore étudie depuis des années, est le gyre Pacifique (voir encadré p. 73), qui concentre les déchets. Dans cet espace grand comme la moitié de la France, les mesures des densités de plastique donnent le chiffre d'environ 300 000 fragments de taille supérieure à 0,33 mm – pour un poids de 5 kg, →

**"La science n'a que 60 ans de données sur les relations entre plastique et écosystèmes"**

RICHARD THOMPSON, UNIVERSITÉ DE PLYMOUTH



DR - WWW.ILLUSTRER.FR

**Oiseaux marins:** ils ingurgitent des bouchons ou encore des briquets qu'ils prennent pour de petits poissons.

**Hommes:** ils consomment 80 millions de tonnes annuelles de poissons, crustacés, mollusques... L'état de l'écosystème marin a donc une importance directe pour l'humanité.

**Phoques:** ils sont très souvent victimes d'enchevêtrements dans les déchets plastiques et surtout dans les fils et filets de pêche.

## 3 Certains morceaux se fragmentent

Une bonne partie du plastique subit une dégradation progressive avant de sombrer. Elle est due à l'action mécanique de l'eau et au rayonnement solaire, et peut durer dix ans et plus. Les gros objets se fragmentent ainsi en morceaux de plus en plus petits.

**Méduses:** certaines méduses retiennent dans leur organisme de nombreux fragments de polymères.

## 4 D'autres rejoignent les profondeurs

Des déchets entiers sombrent parfois directement dans les grands fonds où ils ne seront plus dégradés.

**Moules et huîtres:** ils filtrent d'énormes quantités d'eau, retenant les particules plastiques en suspension, dont certains composés passent dans leur organisme.

## 5 Le plastique intègre la chaîne alimentaire

L'ensemble de la faune marine ingère des morceaux de plastique qui se transmettent au fil de la chaîne alimentaire. Les composés chimiques qu'ils contiennent pourraient ainsi contaminer l'homme.

**Poissons:** les prédateurs du plancton consomment de grandes quantités de fragments de plastique... avant d'être eux-mêmes mangés par des poissons plus grands.

**Ver polychète**

**Vers polychètes:** ils avalent du sédiment contaminé et sont ensuite consommés par des poissons.



## Les ambiguïtés des "bioplastiques"

C'est avec circonspection qu'il faut considérer le terme flou de "bioplastique" ou "plastique vert", de plus en plus en vogue. Il est par exemple contestable de l'appliquer à des plastiques d'origine végétale qui, comme certains polyamides, ont toutes les propriétés de leurs homologues synthétiques – notamment la durée de vie très longue. On trouve également sur le marché des mélanges plastique-matière végétale cellulosique (amidon de maïs, par exemple). Le plus souvent, ces mélanges sont "biofragmentables", c'est-à-dire que la partie végétale se décompose rapidement... Oui, mais les polymères (jusqu'à 50 % de la masse) restent, eux, dans l'environnement, sous forme de fragments plus ou moins visibles. Quant aux plastiques officiellement dits biodégradables, ils sont définis par la norme européenne EN 13432, qui stipule que le matériau doit être transformé à 90 % en humus en six mois... lorsqu'il est placé dans des conditions optimales de compostage. Autrement dit, dans un composteur industriel (température supérieure à 60 °C, entre autres)! Jeté dans un composteur domestique, ou dans la nature, et *a fortiori* dans la mer, un emballage biodégradable... ne se dégrade donc pas! Le développement de tels plastiques (pour l'instant trois fois plus chers à produire que leurs homologues ordinaires) n'a donc de sens que s'il s'accompagne du développement d'une collecte sélective et de stations de compostage.



▲ La décomposition des oiseaux marins révèle bouillons, balles de golf et autres éclats de plastique.

< Ces 600 g représentent l'équivalent pour l'homme de la quantité retrouvée dans les estomacs des fulmars de mer du Nord (0,6 g en moyenne).

> Le plastique représente aussi 10 % des laisses de mer, ces lignes de dépôt sur les plages.

→ par km<sup>2</sup> (la taille moyenne est d'environ 1 mm...). Soit six fois plus que la masse du plancton présente!

Le fond marin aussi est envahi par ces particules, bien que cette invasion soit très difficile à quantifier car, explique Richard Thomson, "il n'existe aucun protocole permettant facilement de mesurer le plastique global. Il nous faut donc examiner à la loupe binoculaire chaque particule des échantillons de sable ou de vase que nous analysons!" Ce qui est certain, c'est que tous les échantillons que son équipe a analysés contenaient des microplastiques. Selon Charles Moore, qui s'est livré au même exercice, dans les 20 premiers centimètres du fond de certains estuaires californiens, le plastique constituerait 1 % du sédiment! D'après Richard Thomson, il forme couramment 10 % des laisses de mer, ces lignes de dépôt que la mer abandonne sur les plages, habituellement constituées d'algues, de bois flottés et d'organismes marins morts.

Bien sûr, on pourrait penser qu'écologiquement, un grain de plastique et un grain de sable, étant tous deux chimiquement inertes, sont équivalents, et qu'il est donc sans importance que le plastique envahisse les fonds marins. Une idée dont Richard Thomson estime qu'elle reste à prouver: "Le problème est que sur les relations entre le sable et les écosystèmes, la science a des millions d'années de données, alors que le plastique n'est là que depuis soixante ans!" Son équipe a démontré en laboratoire que, mis en présence de particules de 2 mm dans le sédiment, un grand nombre d'organismes marins (crustacés,



mollusques, vers...) les ingéraient de façon indifférenciée. Charles Moore, de son côté, a constaté qu'un tiers des petits poissons planctonophages de la région du Pacifique qu'il étudiaient avaient du plastique dans leur estomac. Le problème est que les plastiques sont toujours un mélange de polymères et d'additifs, qui leur confèrent certaines propriétés.

### LA CHAÎNE ALIMENTAIRE EST CONTAMINÉE

Si le plastique est inerte, ces additifs – qui peuvent constituer jusqu'à 50 % de la masse des objets – sont souvent très actifs chimiquement: on y dénombre des substances toxiques (phtalates, ignifugeants, bisphénol A...), soupçonnées de perturber le système hormonal et de nuire à la croissance, à la reproduction, au système immunitaire, etc. Placées dans un tube digestif, où coexistent des enzymes et des acides, ces molécules sont susceptibles d'être libérées par les plastiques et donc d'entrer dans la chaîne alimentaire, ce que Thomson et ses collègues ont démontré en conditions de laboratoire.

Les plastiques pourraient aussi introduire des toxiques dans la chaîne alimentaire par un autre mécanisme. Le



▲ Beaucoup d'animaux marins, tel ce goéland, enchevêtrés dans des éléments plastiques, finissent par en mourir.

Japonais Hideshige Takada, professeur de chimie organique à l'université de Tokyo, a en effet prouvé qu'un grand nombre de polluants organiques persistants (POP), notamment les polychlorobiphényles (PCB), présents en très faibles quantités dans l'eau de mer, étaient concentrés par le plastique, du fait de leurs caractéristiques hydrophobes. La surface des micro-déchets peut ainsi présenter des concentrations en toxiques un million de fois plus élevées que l'eau environnante! Cette capacité à jouer le rôle de "concentrateurs" de polluants hydrophobes pourrait être la clé de la contamination observée chez de nombreuses espèces marines. Charles Moore note ainsi une corrélation entre la quantité de plastique contenue dans certains oiseaux marins et leur charge en PCB... On sait aussi que les poissons situés au sommet de la chaîne alimentaire – espadons, thons, etc. – présentent souvent des concentrations en POP très élevées. Et Charles Moore de souligner amèrement "qu'aucun poisson sauvage ne peut plus être qualifié de 'bio', tellement les polluants sont omniprésents".

On le voit, au plan de la toxicité, les inquiétudes sont multiples... et les certitudes bien rares. Hélas, les preuves seront longues à venir: même en matière de santé humaine, un domaine autrement mieux financé que l'écologie marine, il reste bien des zones d'ombre concernant les effets des plastiques. Des plastiques qui ont par ailleurs une vertu écologique de taille, à savoir la faible consommation énergétique que génère leur production, par rapport aux matériaux tels que le verre, le papier ou les métaux. Le problème n'est donc pas tant le plastique lui-même que le Niagara de déchets que génère l'humanité, qu'il s'agit de mieux gérer et de réduire. Ce qui suppose de réorienter notre production industrielle vers des objets simples et résistants, à durée de vie longue. Fussent-ils en plastique! Reste à convaincre les industriels d'en produire et les consommateurs d'en acheter...



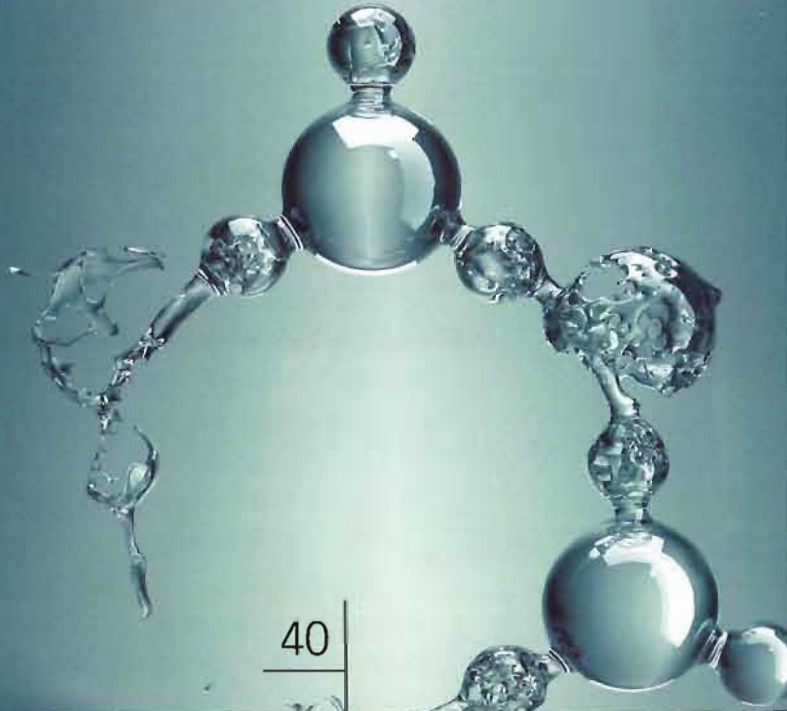


37

Des hélicoptères vont voler au diesel

20

Ils rejouent en direct le prélude de la vie sur Terre



40



78

Virus A(H1N1): 8 mots pour l'expliquer

98

Vision nocturne. Le tour de passe-passe de l'ADN



123

Un équipement de rando pour alléger la marche

## Actualités

9 **FORUM**  
Réactions, critiques, remarques... nos lecteurs prennent la plume

10 **ILS L'ONT FAIT**  
Retour en images sur les derniers événements scientifiques

14 **EN DIRECT DES LABOS**  
Le rire existe depuis plus de 10 millions d'années; Les chauves-souris se reconnaissent à la voix, etc.

20 **L'EXPLOIT**  
Ils rejouent en direct le prélude de la vie sur Terre. Des chimistes ont réussi à obtenir des nucléotides, unités de base de l'ARN, révélant ainsi l'un des mystères de l'apparition de la vie.

24 **PLANÈTE TERRE**  
*Environnement*  
Chez les Incas, le mercure polluait déjà; Les typhons initieraient des séismes, etc.

30 *Santé*  
Le Di-Antalvic va être retiré de la vente; Trop de cola trouble la contraction musculaire, etc.

36 *Technos*  
Le premier "spatioport" privé sera livré en 2011, etc.

## À la Une

40 **LA SCIENCE AUX PORTES DE L'IMPOSSIBLE**  
De la téléportation à l'invisibilité, de l'éternelle jeunesse à l'androïde parfait... les labos sont actuellement en train de mettre certains des rêves les plus fous de l'homme à portée de main. La preuve par huit dans ce dossier. Sachant que d'autres rêves restent inaccessibles.

## Sciences & Vie d'aujourd'hui

64 **CRASH AÉRIEN**  
L'accident du vol Rio-Paris l'a encore montré: récupérer les boîtes noires est un enjeu crucial pour améliorer la sécurité en vol. Explication.

70 **OCÉANS POLLUÉS**  
Des milliers de tonnes de déchets plastiques envahissent les océans. Et voici qu'ils contaminent la chaîne alimentaire. Enquête.

78 **GRIPPE A(H1N1)**  
Virulence, pandémie, taux d'attaque... Tout ce qu'il faut savoir sur le nouveau virus.

82 **IMAGERIE SCIENTIFIQUE**  
L'illustrateur Ron Miller est passé maître dans l'art d'interpréter les données astronomiques pour dessiner les mondes cosmiques. Portfolio de ses "7 merveilles".

## Fondamental

92 **Pré-Incas. C'est le climat qui a détruit la civilisation Caral.** La cité précolombienne de Caral, qui serait la plus ancienne ville des Amériques, n'aurait pas été supplantée par d'autres cultures, mais dévastée par des phénomènes climatiques extrêmes doublés de tremblements de terre.

98 **Vision nocturne. Le tour de passe-passe de l'ADN.** Des biologistes allemands viennent de découvrir que les mammifères nocturnes utilisent l'ADN de leurs cellules rétinienne pour voir dans l'obscurité.

104 **Voie lactée. Son recensement est enfin terminé.** Un quart de siècle a été nécessaire à une équipe d'astronomes français pour établir une estimation précise de la population stellaire de notre galaxie.

## En pratique

110 **Q & R**  
Comment se forme une barrière de corail? Pourquoi le maïs est-il la seule céréale capable de donner du pop-corn?, etc.

116 **LE POINT SUR...**  
**La mesure de la pollution de l'air**

122 **TECHNOFOLIES**  
Un chargeur de batteries hybride utilisable partout; L'ordinateur portable le plus fin du monde; L'instrument qui magnifie les musiciens, etc.

128 **À LIRE / À VOIR / .NET**  
Tout sur les livres, expositions, films, sites web, etc., de l'actualité des sciences. Et toujours "le Ciel du mois".

136 **NOS 3 QUESTIONS À...**  
Tous les mois, un chercheur répond à nos questions. Dans ce numéro, **Nicholas Ayache**.

## SCIENCE & VIE

1 rue du Colonel-Pierre-Avia  
75503 Paris Cedex 15  
Tél.: 01 46 48 48 48 — Fax: 01 46 48 48 67  
E-mail: svmens@mondadori.fr  
Recevez *Science & Vie* chez vous. Votre bulletin d'abonnement se trouve p. 39.  
Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 47 08, ou par Internet sur www.kiosquemag.com.

Un encart abonnement est jeté sur les exemplaires de la vente au numéro: diffusion France métropolitaine, Suisse et Belgique. Un encart "CRT Picardie" est jeté sur une partie de la diffusion abonnée France métropolitaine. Un encart "Diapason" est jeté sur une partie de la diffusion abonnée France métropolitaine. Un encart "Réponses Photos" est jeté sur une partie de la diffusion abonnée France métropolitaine.