

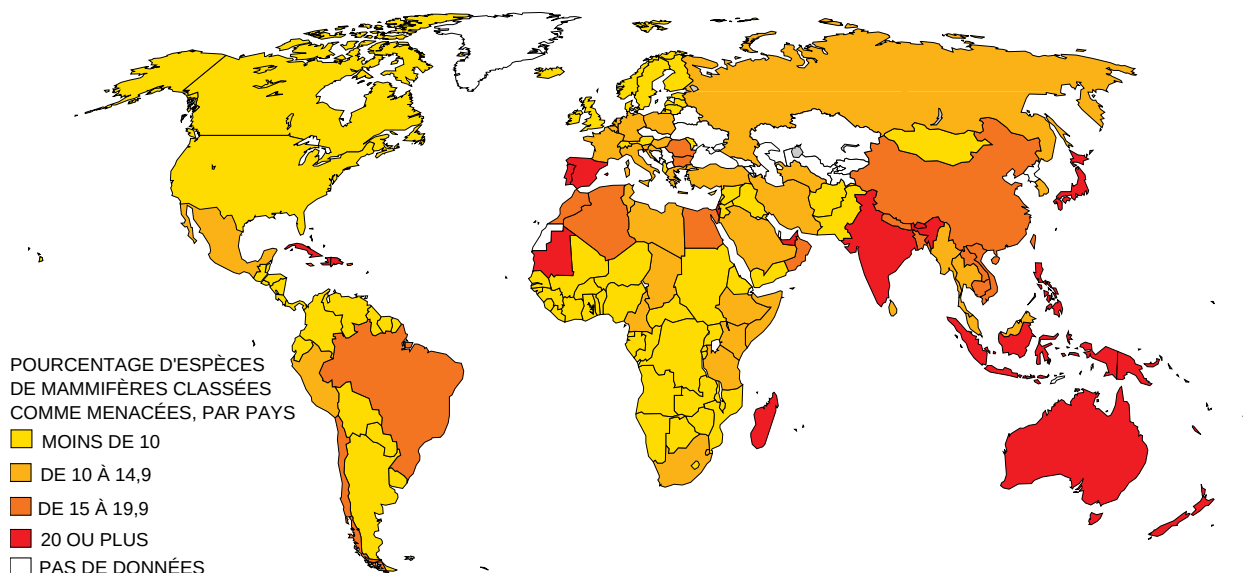
brune. Cependant, il pourrait aussi s'agir d'une planète initialement sur une orbite circulaire et dont l'orbite aurait été rendue excentrique par la perturbation d'une étoile proche. De surcroît, l'évolution dynamique d'un objet de masse initiale proche de la limite supérieure théorique (dix fois la masse de Jupiter) lui confère une orbite de plus en plus excentrique. Sur ces orbites, les planètes brassent plus de matière

du disque protoplanétaire que sur une orbite circulaire, elles peuvent ainsi croître par accrétion de poussières jusqu'à des masses supérieures à dix masses de Jupiter.

Grâce à ces découvertes, il n'existe plus de «trou» dans l'intervalle compris entre 10 et 40 fois la masse de Jupiter. La différence entre planète et naine brune s'estompe : aujourd'hui, la masse des objets détectés varie de manière

continue entre une fois et 80 fois celle de Jupiter et les excentricités varient également. La masse et l'excentricité ne sont donc plus les critères déterminants pour connaître la nature des objets. Avant d'aller voir sur place, seule la comparaison entre les modèles théoriques et les données issues de nouvelles découvertes permettra de trancher sur le mode de formation de ces objets et donc, sur leur nature.

Mammifères en danger



Les paléontologues ont répertorié cinq extinctions massives de la faune terrestre depuis 500 000 ans. Sommes-nous à la veille d'un sixième événement analogue? Oui, si l'on en croit une récente étude de l'Union internationale de conservation de la nature. Un comptage plus précis des espèces animales montre que plusieurs classes d'animaux sont plus menacées qu'on ne le pensait : environ 25 pour cent des espèces de mammifères risquent de disparaître. Les amphibiens, les poissons et les reptiles sont menacés dans des proportions proches, tandis que les oiseaux le sont moitié moins.

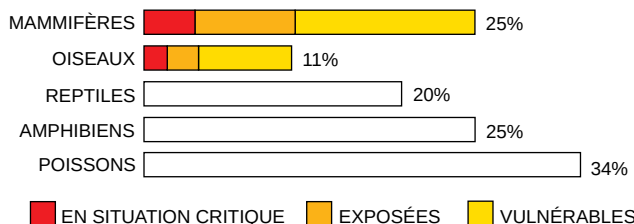
Sur les 4 327 espèces connues de mammifères, 1 096 risquent l'extinction à plus ou moins long terme. On distingue trois niveaux de gravité dans la menace : l'extinction des 169 espèces de mammifères en «situation critique» est imminente ; les espèces «exposées» s'éteindront probablement dans un futur proche ; les espèces «vulnérables», enfin, courent un grand risque d'extinction à moyen terme. Sur les 26 ordres de mammifères, 24 sont menacés. Les plus atteints sont les éléphants, les primates et les périssodactyles (tels les rhinocéros et les tapirs).

Ces données sous-estiment probablement le nombre d'espèces en voie d'extinction dans certaines régions. Elles indiquent toutefois que la modification et la destruction des habitats naturels par l'homme sont parmi les plus importants facteurs de risque. C'est particulièrement le cas pour les espèces endémiques, spécifiques à des zones géographiques isolées. Aux Philippines et à Madagascar, par exemple, respectivement 32 et 44 pour cent des espèces de mammifères sont menacées de disparition.

Dans ces deux pays, plus de la moitié des espèces sont endémiques et la destruction des habitats est étendue. À l'opposé, au Canada et aux États-Unis, respectivement quatre et huit pour cent des espèces de mammifères sont menacées : moins d'un quart des espèces des États-Unis et seulement quatre pour cent de celles du Canada sont endémiques ; les habitats sont relativement bien préservés aux États-Unis et encore mieux au Canada.

L'Indonésie, avec 128 espèces de mammifères menacées, est le pays à plus fort risque. La Chine et l'Inde viennent ensuite, *ex aequo*, avec 75 espèces menacées. Ces trois pays sont parmi les plus densément peuplés de la planète et rassemblent 43 pour cent de la population mondiale.

POURCENTAGES D'ESPÈCES MENACÉES



Les données pour les reptiles, les amphibiens et les oiseaux sont insuffisantes pour déterminer les différents niveaux de risques.

Sources : Liste rouge des animaux menacés, UICN, 1996 et Biodiversity Data Sourcebook, World Conservation Monitoring Center, 1994.

Les bâtisseurs de pyramides

Sans doute moins nombreux que l'écrivait Hérodote.

Combien les pharaons employaient-ils d'ouvriers quand ils bâtissaient les pyramides ? Hérodote, dont la fiabilité n'est pas assurée, signalait que 100 000 personnes avaient contribué à la construction de la Grande Pyramide, mais cet auteur vivait 2 000 ans après la construction. L'archéologue Stuart Kirkland Wier, de Cambridge, évalue plus précisément le nombre des ouvriers bâtisseurs démontrant, encore, s'il en était besoin, l'intérêt des calculs d'ordre de grandeur en sciences.

S. Wier s'est intéressé à la pyramide de Khéops, à Giza, construite 26 siècles avant notre ère. Le monument mesurait initialement 146,7 mètres de hauteur, avec une base carrée de 230,4 mètres de côté : son volume était égal à 2,59 millions de mètres cubes, et sa masse à sept millions de tonnes. Si l'on suppose que la pyramide fut construite au cours de la vie d'un seul pharaon (ce qui est court, comparé au temps de construction des cathédrales), les ouvriers ont travaillé environ 8 400 jours.

Les pierres étaient taillées et traînées jusqu'au site de la pyramide sur des traîneaux en bois ; elles étaient tirées à l'aide de cordage fixés très bas, de sorte que la traction des ouvriers assurait également un léger dégagement de l'avant recourbé des traîneaux. Des ouvriers étaient chargés de chercher de l'eau, qui, versée à l'avant du traîneau, favorisait le glissement. Le Français Henri Chevrier a démontré l'efficacité de cette méthode pharaonique, qui, à l'aide de boue, permettait de déplacer

les plus lourdes charges. On ignore comment les pierres furent levées, mais on peut calculer la quantité d'énergie qui fut nécessaire pour les monter : en divisant le volume par le temps, on trouve que les constructeurs ont dû installer 309 mètres cubes de roche par jour, en moyenne. Or la quantité d'énergie qu'un ouvrier dépense quotidiennement est d'environ 240 000 joules, et l'énergie potentielle de la pyramide érigée est de 2 500 milliards de joules. Aussi, pour lever les pierres, il aurait fallu environ 1 250 ouvriers travaillant pendant les 8 400 jours préalablement calculés.

On peut affiner le calcul en tenant compte des documents qui décrivent le travail : on sait où les roches furent taillées, de sorte que l'on peut calculer la quantité de main d'œuvre nécessaire au transport des pierres. D'autre part, une image qui figure sur la tombe du pharaon Djehutihotep montre une statue de pierre de cinq mètres de hauteur poussée sur un traîneau par 172 personnes. Une telle statue devait peser 58 tonnes, de sorte que les ouvriers devaient exercer une poussée de 330 kilogrammes chacun. Avec un coefficient de frottement égal à 0,034, la force exercée aurait été réduite à 11,5 kilogrammes.

Au total, S. Wier estime le nombre d'ouvriers entre 9 500 et 12 500, pour le début de la construction, 2 000 et 2 600 quand la hauteur atteinte était de 100 mètres, et 35 à 41 pour l'achèvement.

On peut aussi supposer que ce n'est pas le nombre d'ouvrier qui a changé, mais la vitesse d'exécution. Régnant sur une population supérieure à un million de personnes, le pharaon avait largement assez de main-d'œuvre à sa disposition pour construire sa pyramide ; ce qui est remarquable, dans l'entreprise, c'est surtout l'organisation du chantier : réunir 10 000 personnes pendant plus de 20 ans n'est pas chose aisée.

Contre le paludisme

Une molécule extraite de l'armoise tue le parasite de cette maladie endémique.

Plusieurs espèces d'armoise sont des plantes médicinales : l'armoise commune ou herbe de la Saint-Jean est abortive et l'armoise maritime est un vermifuge. L'estragon, la citronnelle, le génépi sont des armoises ; l'absinthe était élaborée à partir d'une variété d'armoise. L'armoise n'a pas encore révélé toutes ses vertus : un nouveau médicament efficace contre le paludisme en est extrait.

Chaque année, le paludisme tue environ 2,7 millions de personnes dans le monde et, en Afrique, un enfant de moins de cinq ans toutes les 30 secondes. Pour lutter contre ce fléau, on dispose de la quinine, mais le parasite a développé des stratégies de résistance à cet antipaludique. L'artémether, un nouvel antipaludique, est utilisé avec précaution pour éviter que le parasite ne devienne – aussi – résistant à ce médicament, aujourd'hui efficace.

Le parasite est véhiculé par des moustiques, les anophèles, eux-mêmes toujours plus résistants aux insecticides classiques. Le parasite échappe au système immunitaire humain en changeant plusieurs fois d'apparence au cours de son cycle de vie. Il est injecté dans le sang de l'hôte par l'insecte vecteur, sous forme de sporozoïtes.

Ces derniers migrent vers le foie qui libère le parasite sous la forme de mérozoïtes dans l'organisme. Les mérozoïtes, qui se transforment notamment en schizontes, envahissent les globules rouges et déclenchent les

Sommité fleurie d'*Artemisia vulgaris* qui appartient à la famille des armoises, comme la plante dont est extrait l'artémether, un nouvel antipaludique.



Gravure des carrières de Tourah, au Sud du Caire, montrant le transport d'une colossale statue par des ouvriers égyptiens. Les cordages étaient fixés le plus bas possible, afin de favoriser le glissement. Un ouvrier arrose le sol, devant la charge, afin de favoriser le glissement du traîneau.



signes cliniques de la maladie. Les globules rouges infectés risquent d'obstruer les vaisseaux sanguins et de déclencher des embolies responsables de coma et de décès.

Quelques-uns des mérozoïtes se transforment en gamétocytes, lesquels infecteront les moustiques sains qui piqueront le patient. Ce dernier ressent une forte fièvre, des frissons et des tremblements. Il présente des épisodes de rémission qui correspondent aux premières phases du développement d'une nouvelle génération de parasites.

Ce sont les Chinois qui ont découvert les propriétés d'*Artemisia annua* L., ou *Qinghao* : les infusions des sommités fleuries de cette variété d'armoise soulagent les fièvres. Ils ont ensuite découvert que la plante est efficace contre le paludisme. En 1972, ils en ont extrait le principe actif, qinghaosu ou artémisinine.

Ensuite, ils ont fait l'hémisynthèse de plusieurs dérivés actifs, dont l'artéméther. Ce dernier est commercialisé en Chine depuis 1987. L'artémisinine est le chef d'une toute nouvelle famille chimique. Cette molécule tue la forme schizonte du parasite.

Depuis 1990, les Laboratoires *Rhône-Poulenc Rorer* ont obtenu les autorisations de mise sur le marché de cette molécule dans plus de 35 pays d'endémie palustre. Elle est commercialisée dans 25 pays d'Asie, d'Afrique et d'Amérique du Sud. La plupart des cas de paludisme infantile surviennent en Afrique, mais les parasites y sont encore généralement sensibles à la quinine.

L'artéméther, classé parmi les médicaments essentiels par l'Organisation mondiale de la santé, est aussi efficace que la quinine (selon certaines études, il serait même plus actif). Il fait baisser la

fièvre et élimine les parasites plus rapidement que les antipaludiques usuels.

En outre, il est administré par voie intramusculaire pendant trois ou cinq jours, tandis que l'administration de quinine se fait par voie intraveineuse pendant une dizaine de jours. Le traitement par la quinine exige un suivi hospitalier rigoureux, car plusieurs complications, notamment une hypoglycémie grave, risquent de survenir.

Pour que les parasites ne deviennent pas résistants à l'artéméther comme ils le sont à la quinine – auquel cas on serait totalement démuni devant cette maladie –, les experts ont décidé de réserver cette molécule aux cas graves ou résistants aux autres médicaments antipaludiques. C'est notamment le cas des personnes atteintes de neuropaludisme, une atteinte cérébrale fatale dans plus de 20 pour cent des cas.

Les insectes judiciaires

Les insectes sont de précieux témoins judiciaires.

Lorsque l'on découvre un corps en forêt, les gendarmes cherchent à dater la mort grâce aux mouches qui colonisent le cadavre. Leur cycle de ponte n'était connu que sur des morceaux de viande en laboratoire. La décomposition d'un porcelet dans une forêt de la région parisienne a permis d'étudier *in situ* la faune nécrophage.

Un corps sans vie intéresse les insectes nécrophages, à la recherche d'un organisme capable d'assurer la subsistance de leurs larves. Ces travailleurs de la mort, attirés par l'odeur de la matière animale morte, se succèdent au rythme des modifications du substrat nourricier et en fonction des conditions exté-

rieures. Avec les bactéries spécialisées, diverses escouades d'insectes accélèrent la dégradation de la matière organique et assainissent l'environnement.

Au laboratoire d'entomologie de la gendarmerie nationale, Jean-Marc Vian et Bernard Chauvet ont observé le cycle de ponte des mouches et l'évolution de la faune nécrophage sur un cadavre de porcelet. Ce cadavre de 25 kilogrammes, tué d'un coup sur la tête pour éviter les plaies, a été placé dans une forêt d'Île-de-France début août 1996. Il était dans une cage afin d'éviter que les mammifères n'interfèrent avec l'expérience en mangeant le porcelet. Chaque jour, les entomologistes ont observé le développement des pontes et l'état de décomposition du porcelet.

Dès les premiers jours, les mouches à viande, les *Lucilia Caesar*, arrivent (voir la figure 1). Ces grosses mouches bleues pondent des paquets d'une certaine



1. Dix-sept heures après la mort, les *Lucilia Caesar* apparaissent. Sur la gauche, près des plis de la peau, des paquets d'œufs blancs ont été pondus (flèches vertes). Près de la bouche, on observe les premières larves.

d'œufs dans les plis et les orifices naturels humides du corps. À leur naissance, les asticots s'enfoncent en tous sens sous la peau et aspirent les liquides résultants de la transformation des tissus organiques. Après dix jours (voir la figure 2), le cadavre paraît recouvert de larves. Il



2. Dix jours après la mort, les larves remplissent le cadavre. Elles vont sortir du substrat et s'enterrer.



3. Onze jours après la mort, toutes les larves ont quitté le cadavre du porcelet : il ne reste que le squelette et des lambeaux de peau.

en est aussi rempli et le lendemain, ces larves ont quitté le cadavre et se sont enfouies dans le sol. Il ne reste que le squelette et des lambeaux de peau qui disparaîtront en quelques mois.

La connaissance du cycle de ponte dans un habitat naturel permet d'adapter les cycles théoriques : aujourd'hui on date la mort avec une précision de deux jours, si la mort remonte à moins de six mois, et de une semaine, si la mort est antérieure. Outre son apport technique, cette expérience enseigne aux enquêteurs à rechercher des asticots autour du cadavre alors même que celui-ci en est exempt : ces précieux indices pour l'enquêteur ont pu en effet s'enfoncer dans le sol à l'entour.

Le prix immérité

Le problème à n -corps est résolu, mais trop tard.

En 1885 trois géants des mathématiques, Karl Weierstrass, Charles Hermite et Gösta Mittag-Leffler établirent une liste des problèmes mathématiques qui leur semblaient importants. Celui qui en résoudrait un seul recevrait 2 500 couronnes d'or à l'occasion du soixantième anni-

versaire du Roi de Suède, en 1889. Parmi ces problèmes, figurait le problème à n -corps : étant donné les positions et les vitesses initiales de n objets qui s'attirent selon la loi de la gravitation, par exemple les planètes du Système solaire, il fallait prédire leurs positions et leurs vitesses après un temps quelconque.

Après plus d'un siècle de recherches, le problème formulé par Weierstrass a été résolu par Wang Qiu-Dong en 1991. Personne ne s'en aperçut avant que Florin Diacu de l'Université de Colombie Britannique ne proclame sa pertinence dans le *Mathematical Intelligencer*.

Weierstrass était convaincu qu'il n'existait pas de solution analytique. Une solution analytique est une formule ne contenant qu'un nombre fini de termes, comme l'équation de l'ellipse, la solution du problème à deux corps (le mouvement de la Terre autour du Soleil). Weierstrass demandait aux concurrents non pas une telle formule, mais un série unique comportant un nombre infini de termes, et dont la somme donnerait la réponse avec autant de précision qu'on le désirait. Il fallait que la série solution converge pour toutes les valeurs du temps. Ainsi, la série $1 - a^2 + a^4 - a^6 + \dots$ converge si et seulement si a est compris entre -1 et $+1$.

Les collisions étaient une difficulté majeure. Si deux particules entrent en collision, alors les trajectoires indépen-

dantes n'existent plus et ces événements singuliers faisaient obstacle à la convergence des séries. Wang introduisit une dilatation temporelle, qui fait que le temps s'écoule plus vite à mesure que deux objets se rapprochent, et ainsi les collisions ne se produisent qu'après un temps infini. Ayant repoussé le problème jusque dans l'éternité, la série de Wang converge toujours.

Malheureusement la solution est de peu d'intérêt pratique car il faut additionner un nombre énorme de termes pour avoir une solution très approximative. Et Wang ne gagnera pas le prix : il a été décerné à Henri Poincaré qui avait montré qu'il ne pouvait exister de solutions pour des temps infinis.

L'article de Poincaré était brillant et allait mettre «sur orbite» ce que l'on désigne aujourd'hui par la théorie du chaos. Toutefois Poincaré n'était pas tatillon, et son article était truffé d'erreurs. À tel point qu'il dut être retiré de la vente par Mittag-Leffler et réimprimé, aux frais de Poincaré...

Il n'empêche : pour ce fait d'armes, Poincaré obtint injustement un prix qu'il méritait certainement mille fois pour sa vision de l'imprévisibilité du problème à n corps. Car outre le problème posé par les collisions, il subsiste la sensibilité aux conditions initiales découverte par Poincaré, sensibilité qui impose une précision initiale infinie si l'on veut prédire les mouvements des planètes à l'infini.

Christoph PÖPPE



Laure Graudon/Art Resource

Les mouvements des planètes, représentés ici sur une peinture de tapisserie du XVIII^e siècle, est le plus fameux exemple du problème à n -corps.



Collection Viollet

Henri Poincaré (1854-1912) a gagné le prix du roi de Suède en 1889 sur la base de son mémoire sur le problème à n corps. Une de ses affirmations n'a été infirmée qu'après un siècle.

