



4. LE MIMÉTISME DÉPEND DU SEXE : dans certaines espèces, seule la femelle est mimétique, ce qui est suffisant pour garantir la survie des espèces : le mâle s'accouple, dissémine ses gènes. Ensuite sa protection n'est plus nécessaire, tandis que la femelle, plus vulnérable, doit avoir une longévité suffisante pour assurer la maturation et la ponte des œufs. La femelle de l'espèce *Heraclides torquatus*, comestible (en haut, colonne de gauche) imite la femelle de l'espèce *Parides sesostris*, toxique (en haut, colonne de droite). Les mâles (en bas) ne sont pas mimétiques.

portent des espèces mimétiques, lesquelles imitent souvent plusieurs modèles distincts. Ces espèces mimétiques, polymorphes, présentent des formes très variées imitant divers modèles. Ainsi, la capacité d'imitation semble limitée à des espèces et à des genres caractérisés par une grande variabilité génétique. Il n'est pas interdit de penser qu'il existe chez ces papillons des transposons (ou gènes «sauteurs»), analogues à ceux qui ont été mis en évidence chez les bactéries ou chez la drosophile.

Ces gènes ou groupes de gènes ont la capacité de se délocaliser dans le génome, et selon leur position, ils s'expriment ou non, activent ou inhibent l'expression d'autres gènes situés à proximité. Ces gènes sauteurs augmentent notablement la variabilité génétique. De plus, divers types de stress environnementaux, tels des modifications du milieu de culture ou de la température semblent déclencher le mouvement d'éléments transposables dans le génome, augmentant la fréquence de certaines mutations. De surcroît, certains de ces mécanismes dépendent du sexe : chez la drosophile, par exemple, les taux de mutations aug-

mentent notablement au cours de l'accouplement de mâles sauvages ayant des éléments transposons avec des femelles domestiques qui n'en ont pas.

Ces phénomènes, que le généticien américain Christopher Wills qualifie de «processus de facilitation évolutionniste», sont capables d'augmenter le taux de mutations et d'activer des gènes cryptiques qui sont présents dans le génome, mais qui, avant la translocation des transposons ne sont pas exprimés. Ces mécanismes pourraient être responsables de la variabi-

lité génétique observée chez les papillons mimétiques et contribueraient tant à l'activation de gènes cryptiques qu'à la multiplication de formes nouvelles, la sélection éliminant les moins «performantes», celles qui protègent le moins bien l'espèce, c'est-à-dire les moins mimétiques.

Certains papillons mimétiques ne se contentent pas d'avoir le même aspect que l'espèce qu'ils imitent, ils en adoptent aussi les comportements, tels leurs types de vol, leurs habitudes de voler dans des lieux ensoleillés ou ombragés : ainsi, deux formes mimétiques d'*Hypolimnas dubius*, émergent de leur chrysalide au même moment de la journée que leurs deux modèles respectifs, *Amauris niavus*, et *Amauris tartarea*. L'étude génétique de ces lépidoptères suggère qu'il existerait un supergène regroupant les gènes du comportement et les gènes de la couleur : lors de croisements entre ces formes, les facteurs de coloration et de comportements seraient transmis simultanément. Si la simultanéité de l'expression de ces gènes n'était pas respectée, les mimes risqueraient d'éclore avant les modèles : ils seraient alors dévorés par les oiseaux qui, faute d'avoir goûté aux modèles empoisonnés, n'auraient pas fait l'apprentissage qui assure la survie des mimes.

Les papillons sont une excellente illustration de la biodiversité et un modèle de choix pour l'étude du mimétisme. Toutefois, le mimétisme n'est qu'un des éléments de la survie des espèces, soumises aussi aux équilibres démographiques et aux facteurs écologiques locaux. L'étude de la biologie des papillons pourrait donc être un terrain fédérateur idéal pour favoriser l'évolution... des concepts évolutionnistes.

Jean-Louis FISCHER, enseignant à l'Université Paris 8, est chercheur au Centre Alexandre Koyré d'histoire des sciences et des techniques (EHES-CNRS-MNHN). Jean-Georges HENROTTE, physiologiste et généticien, est directeur de recherches honoraire au CNRS.

W. WICKLER, *Le mimétisme animal et végétal*, Hachette, 1968.

G. BERNARDI, J. PIERRE, NGUYEN THI YONG, *Le polymorphisme et le mimétisme de Papilio dardanus Brown (Lepidoptera Papilionidæ)*, in *Bull. Soc. Entomol. Fr.*, vol. 90, pp. 1116-1158, 1985.

C. WILLS, *La sagesse des gènes*, Champs Flammarion, 1991.

H. TYLER, K. BROWN, K. WILSON, *Swallowtail Butterflies of the Americas*, éditions Scientific Publishers, 1994.

G. PASTEUR, *Biologie et mimétismes*, éditions Nathan, 1995.

C. CLARKE et al., *Mimicry and other Controversial Topics in East African Lepidoptera*, in *J. East Afric. Nat. Hist.*, vol. 84, pp. 3-19, 1995.

M. BOULARD, *Mimétisme*, in *Dictionnaire du darwinisme et de l'évolution*, sous la direction de P. Tort, PUF, pp. 2961-2986, 1996.

La mission *Pathfinder* sur Mars

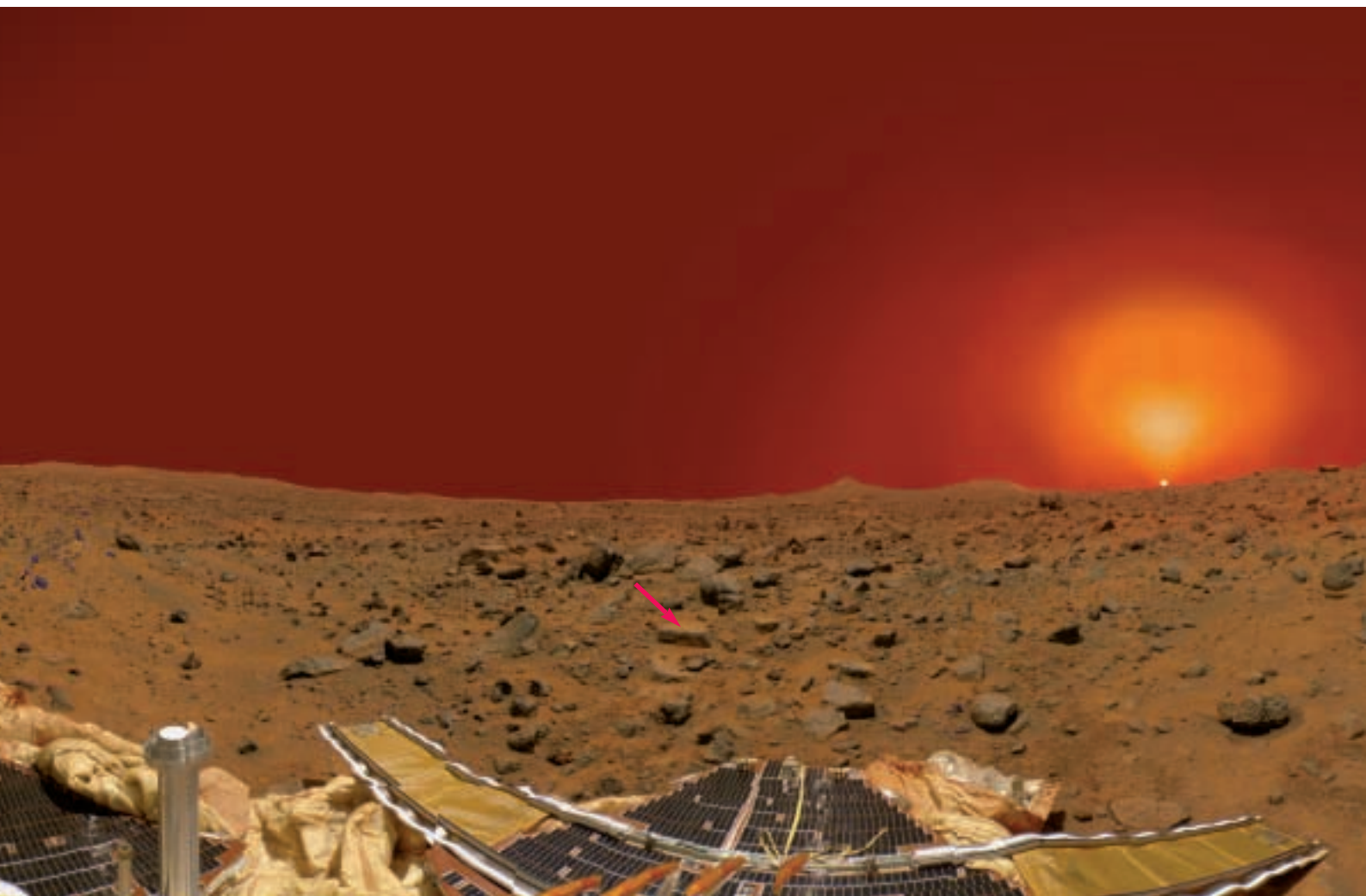
MATTHEW GOLOMBEK

Les informations recueillies sur Mars par un robot automobile confirment que le climat chaud et humide de la planète était propice à la vie.

«**D**es roches, regardez, des roches!» Le 4 juillet 1997, vers 16 heures 30, la sonde *Pathfinder* envoie ses premières images de la surface de Mars et, dans la salle de commande, chacun scrute les écrans de réception. Nous

avons envoyé cette sonde sur Mars pour en étudier les roches, mais nous n'étions pas certains d'en observer : nous avons choisi le site d'atterrissage sur des images dont les plus petits détails ont un kilomètre de long. Le premier contact radio après l'atterrissage

indiquait que la station reposait quasi horizontalement : nous étions inquiets, car la présence de roches aurait dû plutôt l'incliner. Puis les toutes premières images montrèrent la sonde elle-même : elle semblait en bon état. Enfin, après quelques minutes angoissantes, les pre-



mières images de la surface révèlent une plaine parsemée de roches, exactement comme nous l'avions prévu.

L'exploration de Mars est motivée par une question fondamentale : sommes-nous seuls dans l'Univers ? L'un des principaux éléments qui a permis l'émergence de la vie sur Terre est la présence d'eau liquide. Aujourd'hui, à la surface de Mars, l'eau liquide est instable : la température et la pression sont si basses que la glace se sublime en vapeur. Pourtant, les photographies de la mission *Viking*, en 1976, montrent des traces d'écoulement et d'anciens lacs sur les hauts plateaux : la plupart des planétologues supposent que le climat fut autrefois plus chaud et plus humide qu'aujourd'hui,

mais on ne peut exclure totalement que ces structures se soient formées par effondrement, le sous-sol ayant fondu en raison d'un réchauffement géothermique. La mission *Pathfinder* devait également apporter de nouveaux arguments dans ce débat.

Les dépressions qui auraient autrefois abrité des lacs sont dans des terrains qui, d'après la densité de cratères de météorites, ont le même âge que les plus vieilles roches terrestres (on extrapole à Mars des calculs de fréquence de chutes de météorites réalisés pour la Lune, dont on a daté des roches). Or les anciennes roches terrestres montrent clairement que la vie existait déjà il y a 3,6 à 3,9 milliards d'années. Si la vie s'est déve-

loppée sur Terre à cette époque, pourquoi pas sur Mars aussi, si les conditions étaient semblables ?

En 1976, la mission *Viking*, qui comportait deux sondes constituées chacune d'un orbiteur et d'un module d'atterrissage, avait déjà rapporté plus de 57 000 images (que les planétologues étudient encore). Les deux modules d'atterrissage avaient cherché des organismes vivants sur deux sites, mais ils n'en avaient pas trouvé.

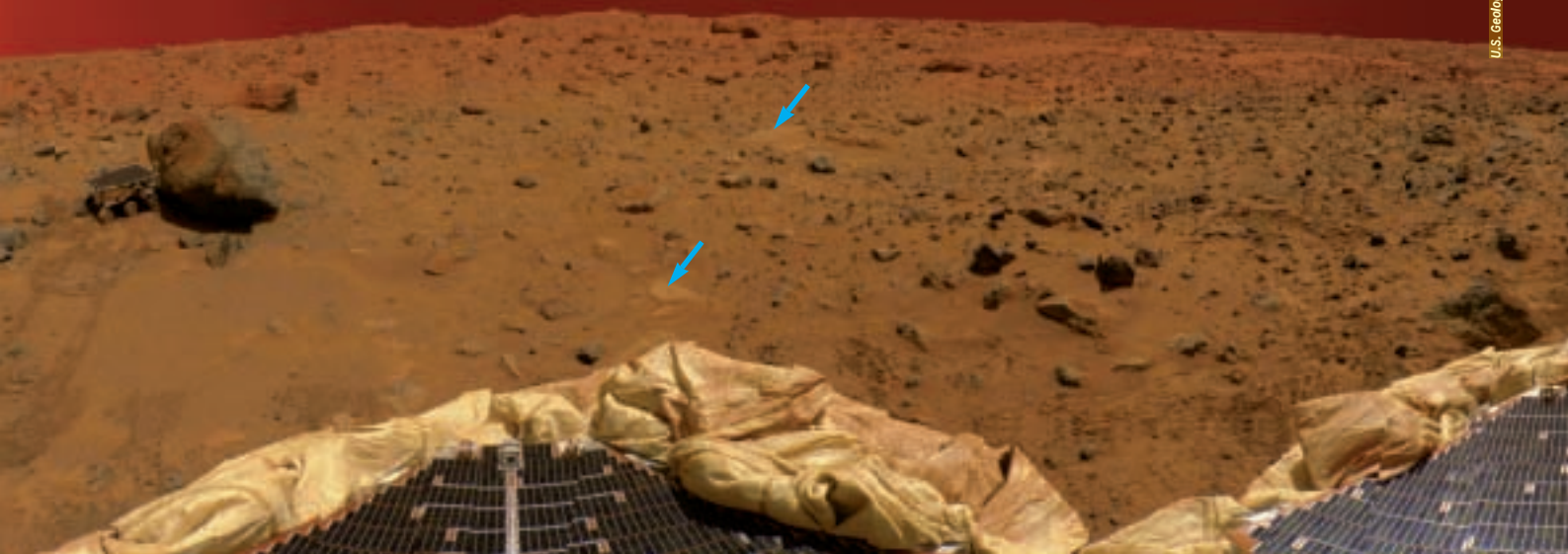
Avec la mission *Pathfinder*, nous avons recherché des traces de vie de façon moins directe : la sonde est posée à l'embouchure d'un vaste chenal où nous espérons que des roches provenant des hauts plateaux anciens, brisées par des impacts météoritiques, ont

1. LE CRÉPUSCULE SUR ARES VALLIS, site d'atterrissage de *Pathfinder*, en vue panoramique sur 360 degrés, a été reconstruit à partir d'un coucher de Soleil réel (en bas à droite) et de plusieurs images (des parties du ciel et du terrain ont été complétées par ordinateur ; lors d'un vrai coucher de Soleil, les ombres seraient plus allongées et le sol plus sombre). Le robot automobile analyse le rocher nommé Yogi, à droite de la rampe arrière de la sta-

tion. Plus à droite apparaissent des taches rose blanchâtre (flèches bleues), nommées Scooby Doo (plus près de la station) et Banc de Baker. Le robot n'a pas réussi à creuser la surface de Scooby Doo : le sol y est bien compact. Le Jardin des Roches est à gauche de la partie centrale. Le rocher plat (flèche rouge) devant le Jardin des Roches, est couvert de poussière, mais les faces inclinées d'autres grandes roches en sont dépourvues.



Laurie Grace



été déposées par de violents torrents. Le robot mobile de *Pathfinder* transporte un analyseur chimique, qui identifie les éléments chimiques dans les roches et détermine leur composition. La station principale, fixe, est équipée d'une caméra multispectrale, qui montre la forme, la texture et la couleur des roches. L'ensemble de ces informations indiquera quels minéraux composent les roches, donc comment et dans quelles conditions celles-ci se sont formées. On obtiendra ainsi des informations sur le climat primitif de Mars et sur la possibilité, pour la vie, de s'y être développée.

Outre le spectromètre à rayons X, à particules alpha (des noyaux d'hélium, composés de deux photons et de deux neutrons) et à protons, pour l'analyse chimique, et la caméra multispectrale, la sonde *Pathfinder* a emporté sur Mars un ensemble d'appareils d'analyse atmosphérique et météorologique. Le robot mobile devait aussi réaliser dix expériences sur le comportement de l'équipement vis-à-vis des contraintes environnementales,

telles l'abrasion de films métalliques sur une roue ou l'adhérence de poussières sur un panneau solaire.

Une entrée remarquable

La partie la plus périlleuse de la mission *Pathfinder* a duré cinq minutes : après un vol interplanétaire tranquille, la sonde est entrée dans l'atmosphère de la planète, puis s'est posée à la surface. Environ 30 minutes avant l'entrée dans l'atmosphère, l'étage de croisière s'est séparé du module d'atterrissage. À 130 kilomètres au-dessus de la surface, la sonde est entrée dans l'atmosphère, abritée par un bouclier thermique qui la ralentissait. Puis, 134 secondes avant l'atterrissage, un parachute s'est déployé et le bouclier a été largué. Pendant la descente, la station était suspendue à une corde, à 20 mètres sous son bouclier arrière.

À l'approche de la surface, l'altimètre radar de *Pathfinder* a déclenché l'allumage de trois petites fusées qui ont encore ralenti la descente du véhicule. Des sacs gonflables géants se sont

alors déployés autour de la sonde, le lien avec le parachute a été coupé et l'engin a touché la surface de Mars à une vitesse de 50 kilomètres-heure. Il a alors rebondi une quinzaine de fois, sans que la pression diminue dans les sacs. Après l'immobilisation, les sacs se sont dégonflés et le module s'est ouvert. Les opérations d'exploration ont commencé.

Si le succès de cette nouvelle technique d'atterrissage était très attendu, le reste de la mission dépassa nos espérances : la station a fonctionné trois fois plus longtemps que prévu, et le robot mobile 12 fois plus longtemps. Le module a envoyé 2,3 milliards de bits d'informations, dont plus de 16 500 images prises de la station, 550 du robot, et environ 8,5 millions de mesures de la température, de la pression et du vent. Le robot, obéissant à 230 commandes, a parcouru un total de 100 mètres, explorant ainsi plus de 200 mètres carrés de surface. Il a rapporté 16 analyses chimiques des roches et des sols, et il a réalisé des expériences de mécanique des sols, ainsi que les essais techniques sur le matériel.

Nous l'avons indiqué, les premières images que nous avons reçues de *Pathfinder* ont confirmé nos prévisions, établies d'après les images des satellites *Viking*. Celles-ci montrent un paysage semblable aux plaines parcourues de vallées et de chenaux, dans l'Est et au centre de l'État de Washington, aux États-Unis, et qui se sont formées par l'écoulement rapide des centaines de kilomètres cube d'eau contenus dans les Grands Lacs : le site d'atterrissage, en aval de l'embouchure d'Ares Vallis, dans la région nommée Chryse Planitia, est une plaine qui semble avoir été parcourue par des crues catastrophiques. La densité des cratères de météorites sur le sol indique que celui-ci s'est formé il y a 1,8 à 3,5 milliards d'années.

Des cailloux, des galets et des blocs de pierre polis ressemblent à ceux qui sont déposés par les crues sur la Terre. Dans le champ de pierres que nous avons nommé le Jardin des Roches, au Sud-Ouest de la station, les rochers appelés Requin, Demi-Coupole et Moe sont penchés et entassés, comme s'ils avaient été déposés par un rapide courant d'eau. Les roches de plus de 50 centimètres de diamètre ont un sommet plat et sont souvent surélevées, comme le sont les roches déposées lors d'une crue. Les Pics Jumeaux, à l'horizon Sud-Ouest, semblent avoir été sculptés par un courant. Selon les images prises par *Viking*, la sta-



NASA/Jet Propulsion Laboratory

2. CE ROCHER DÉCAPÉ PAR LE SABLE, nommé Moe, ressemble à des «rochers éolisés» que l'on trouve sur Terre et qui sont altérés par des particules de la taille de grains de sable, transportées par le vent. Sur la Terre, de telles particules sont généralement formées quand l'eau fait éclater les pierres. Les rainures de Moe pointent toutes vers le Sud-Ouest, à peu près la même orientation que celle des stries éoliennes observées ailleurs sur le site.