



6. LE LANGAGE DES SIGNES est fondé sur un ensemble de gestes des mains. L'auteur et ses collègues ont mis au point un programme qui reconnaît nombre de ces gestes. Sur cette photographie, la caméra enregistre le mouvement des mains qui, en langage des signes, signifie «bicyclette». Le système informatique modélise son mouvement et le compare avec des modèles de signes connus. Lorsque la correspondance est trouvée, la machine prononce le mot «bicyclette».

tèmes de reconnaissance vocale d'aujourd'hui.

Les conducteurs d'automobile pourraient également bénéficier des pièces intelligentes. Chaque année, 10 000 Français sont tués dans des accidents de la route dus en majorité à des erreurs de conduite. En collaboration avec le centre de recherche de la Société Nissan, nous avons construit un véhicule qui enregistre les actions des conducteurs et qui fournit des indications utiles, des instructions et même des avertissements.

Afin de répertorier un ensemble de modèles de conduite caractérisés par les gestes que font les conducteurs lors-

qu'ils dépassent, suivent un véhicule, tournent, s'arrêtent, accélèrent ou changent de file, nous avons enregistré les mouvements des mains et des jambes d'un grand nombre de conducteurs installés dans un simulateur (voir la figure 5). Puis nous avons utilisé les modèles résultants afin de classer les actions de chaque conducteur testé aussi vite que possible. De manière assez surprenante, le système parvient à déterminer ce que font les conducteurs presque au moment où l'action commence. Il identifie les actions avec 86 pour cent de succès, une demi seconde après le début de l'action. Quand on lui laisse deux

secondes pour identifier l'action, il la détermine correctement dans 97 pour cent des cas.

Ainsi, dans des situations simples, des systèmes informatiques modestes peuvent repérer les mouvements des personnes, les identifier et reconnaître leurs expressions en temps réel. En combinant plusieurs petits systèmes, on obtient des pièces intelligentes où, sans l'aide de claviers ni de souris, les occupants commandent l'affichage à l'écran, jouent avec des créatures virtuelles et communiquent en langage des signes. À l'aide de nos systèmes, nous étudions des applications variées. Par exemple, nous construisons des prototypes de lunettes qui identifient le visage d'une personne et murmurent son nom à l'oreille. Nous réalisons aussi des écrans de télévision qui savent si un téléspectateur les regardent et nous envisageons même des cartes de crédit qui reconnaîtront leur propriétaire et sauront si elles ont été volées.

D'autres équipes de notre laboratoire tentent de doter nos pièces intelligentes de la capacité de percevoir l'attention et les émotions, pour essayer de mieux comprendre les actions et les motivations humaines. Rosalind Picard espère mettre au point un système capable de déterminer si les conducteurs ou les étudiants sont distraits. Aaron Bobick écrit un programme qui interpréterait les mouvements des sportifs : il envisage de créer une caméra de télévision qui, au rugby par exemple, distinguerait une feinte d'une attaque décisive et suivrait automatiquement l'action. Progressivement, grâce au perfectionnement des pièces intelligentes, les ordinateurs deviendront des assistants attentifs. Sommes-nous sur la voie d'un monde où la distinction entre les objets animés et inanimés s'estompera?

Alex PENTLAND dirige le Groupe Ordinateurs et perception au Laboratoire des médias de l'Institut de technologie du Massachusetts.

P. MAES, T. DARRELL, B. BLUMBURG et A. PENTLAND, *The ALIVE System : Full-Body Interaction with Autonomous Agents*, in *Proceedings of Computer Animation '95*, 1995.

I.A. ESSA et A.P. PENTLAND, *Facial Expression Recognition Using a Dynamic Model and Motion Energy*, in *Proceedings of the Fifth International Conference on Computer Vision*, IEEE Computer Society Press, 1995.

T. STARNER et A. PENTLAND, *Real-Time American Sign Language from Video Using Hidden Markov Models*, in *International*

Symposium on Computer Vision, 1995, IEEE Computer Society Press, 1995.

A. PENTLAND et A. LIU, *Toward Augmented Control Systems*, in *Proceedings of the Intelligent Vehicles '95 Symposium*, IEEE Industrial Electronics Society, septembre 1995.

C. Wren, A. AZARBAYEJANI, T. DARRELL et A. PENTLAND, *Pfinder : Real-Time Tracking of the Human Body*, in *Integration Issues in Large Commercial Media Delivery System*, sous la direction de A.G. Tescher et V.M. Bove, SPIE, vol. 2616, 1996.

Des articles et des rapports techniques sont disponibles sur le site Web : <http://www-white.media.mit.edu/vismod>

Prisonniers dans l'ambre

DAVID GRIMALDI

*Des insectes préservés dans l'ambre
nous livrent des secrets de l'évolution.*





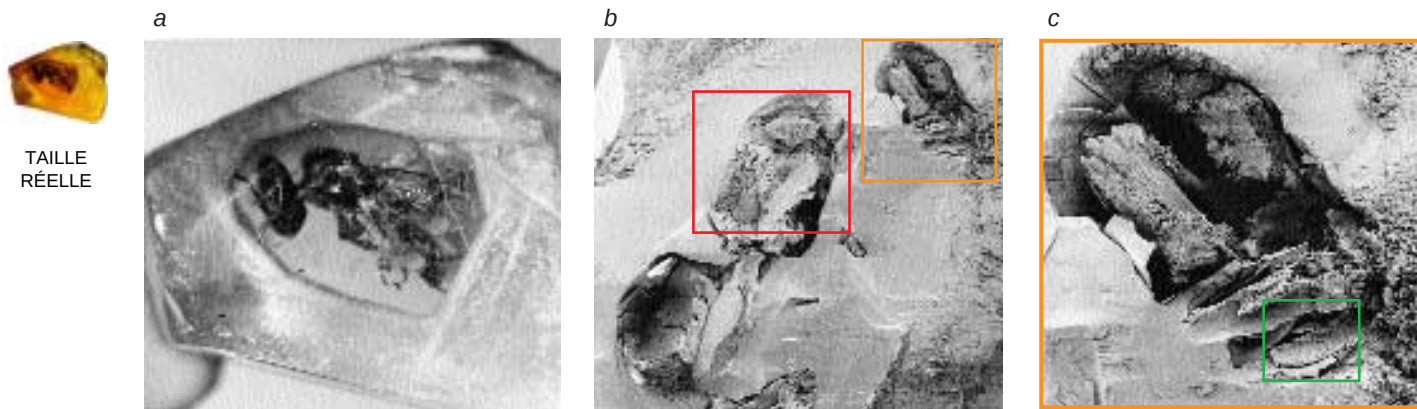
1. CETTE MANTE RELIGIEUSE a été piégée dans la résine il y a 25 millions d'années, probablement alors qu'elle poursuivait une proie le long d'un tronc.

TAILLE RÉELLE



Sur une côte d'Amérique centrale, un ouragan avait dévasté la forêt d'*Hymenaea* géants. Des coulées jaunes de résine suintaient des branches mutilées et des troncs entaillés. Un termite frôla la résine, y resta collé, puis fut noyé dans la coulée.

Des terpènes et d'autres composés volatils de la résine imprégnèrent alors, lentement, les tissus du termite, remplaçant l'eau et tuant les bactéries. À l'air, la lumière et la chaleur du soleil activèrent des réactions chimiques : les atomes de carbone des longues molécules de la résine se lièrent et la résine polymérisa. Le morceau de sève durcie tomba au sol, parmi des milliers d'autres. L'année suivante, ou plus tard encore, une grande marée balaya les morceaux de résine et les troncs pourris dans le lagon, où des sédiments les recouvrirent. Enfouie pendant 25 millions d'années, la résine a poursuivi sa polymérisation : elle est devenue solide et chimiquement inerte. Les mouvements



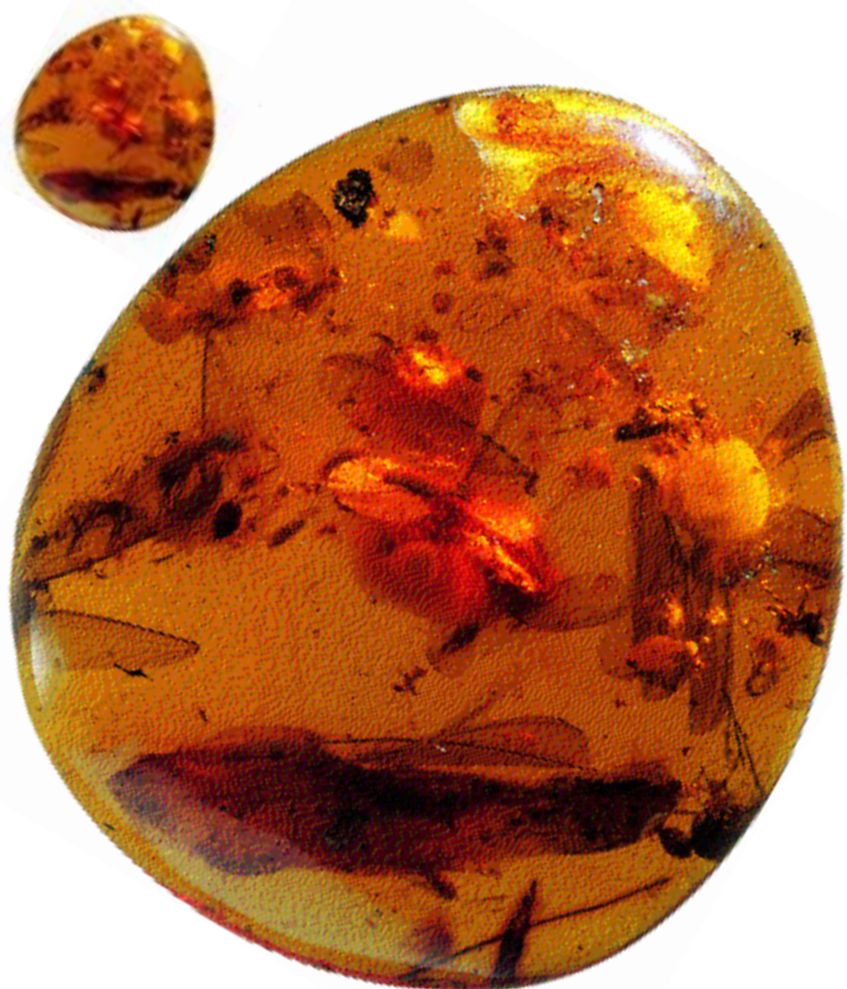
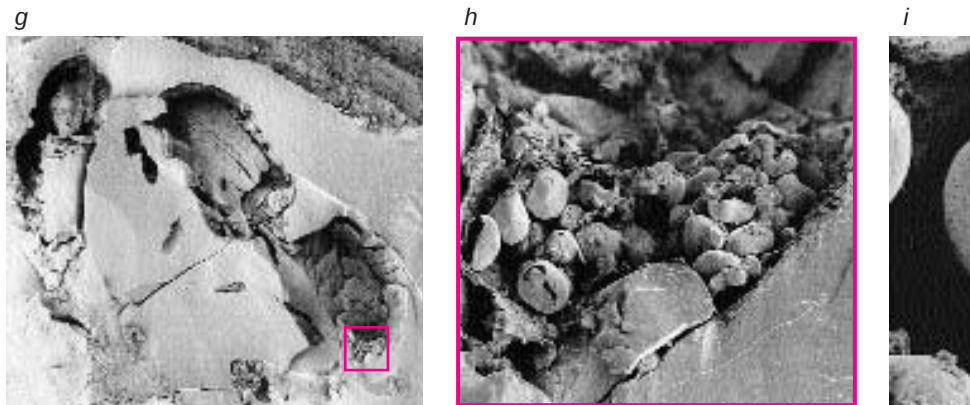
tectoniques ont ensuite soulevé la côte en montagnes escarpées, à 1 000 mètres d'altitude, formant l'île d'Hispaniola.

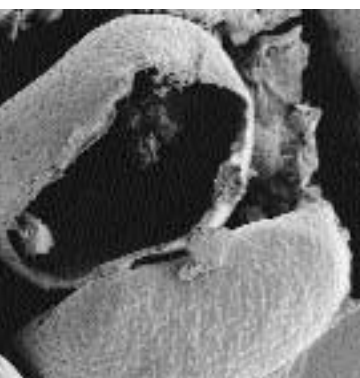
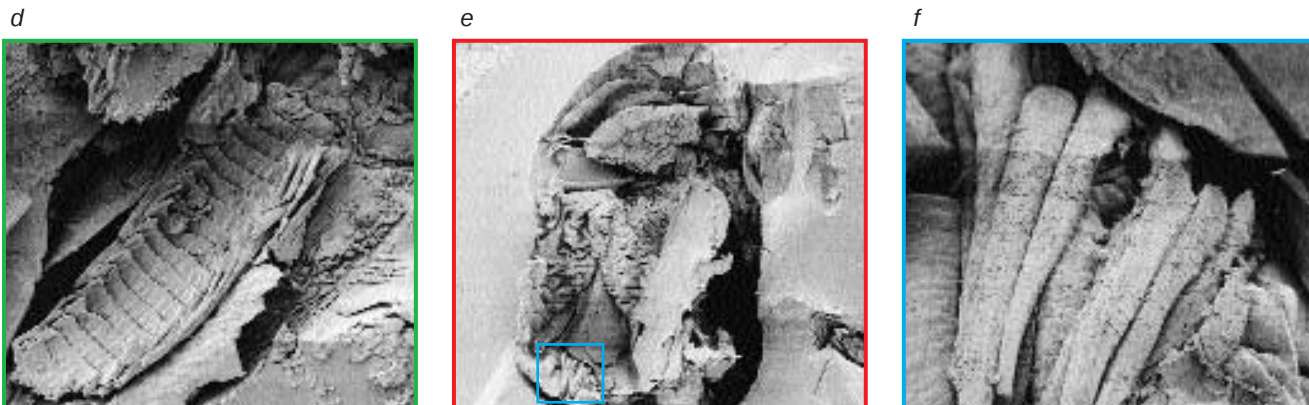
En se promenant dans ces montagnes, il y a quelques années, un mineur a découvert, dans un petit glissement de terrain, une veine de charbon. Il l'a creusée pendant plusieurs heures et il a déterré un tas de pépites. D'un coup de machette, il a fait sauter un éclat de l'une des pierres et a découvert le reflet de l'ambre. Dans ce morceau d'ambre se trouvait le grand termite, les ailes légèrement écartées et les pattes désaxées.

Ce morceau d'ambre, et le *Mastotermes electrodominicus* qui y était embaumé, ont abouti dans les tiroirs encombrés du Muséum américain d'histoire naturelle. Les mastotermes, insectes primitifs qui partagent des caractéristiques anatomiques avec les blattes, et dont on croyait qu'ils reliaient ces dernières aux termites modernes, intriguaient depuis longtemps les entomologistes. Des espèces proches, éteintes depuis 130 à 30 millions d'années, sont fossilisées dans des roches et dans de l'ambre sur toute la planète. Une espèce, *Mastotermes darwiniensis*, vit encore, en Australie.

En 1992, avec mes collègues, nous avons sectionné le morceau d'ambre afin d'extraire les tissus du termite. L'échantillon contenait des cellules admirablement conservées. Dans beaucoup, les mitochondries, les organites de la respiration cellulaire, qui contiennent aussi de l'ADN, étaient intactes. Les tissus étaient déshydratés, mais ils n'étaient pas racornis, malgré l'élimination de l'eau.

Normalement, après la mort d'un organisme, l'ADN se dégrade en présence d'eau. Ici la dessiccation avait permis à de grands tronçons d'ADN de rester intacts. À partir des organites cel-





2. LES TISSUS FOSSILISÉS DANS L'AMBRE sont très bien conservés. Au microscope électronique à balayage, on a observé ceux d'une abeille sans aiguillon, *Proplebeia dominicana*. L'échantillon poli (a) a été scié presque jusqu'à l'insecte, puis il a été nettoyé et ouvert délicatement. La moitié gauche (b) contient des parties de la tête (en haut), du thorax (au milieu) et de l'abdomen (en bas). À l'intérieur de la tête (c) se trouvent le cerveau (au milieu, en haut), les longs muscles utilisés pour aspirer (à gauche) et la petite langue de l'abeille (en bas). Les écailles de la langue (d) mesurent environ 10 micromètres de long. Le thorax (e) contient des sacs à air repliés et, parmi d'autres structures, un petit groupe de muscles (f) dont chaque fibre a environ 15 micromètres d'épaisseur. La partie droite de l'échantillon (g) contient l'autre moitié de l'abdomen (à droite), ainsi que des grains de pollen (h) que l'insecte avait ingérés. Le diamètre d'un grain (i) est d'environ 30 micromètres. L'ambre découvert en République dominicaine contient beaucoup de ces abeilles, piégées alors qu'elles récoltaient de la résine pour construire leur nid.



3. CETTE MÉNAGERIE de 62 insectes ou morceaux d'insectes est contenue dans un morceau d'ambre de 2,8 centimètres de diamètre (à gauche). La carte de l'échantillon (à droite) montre des insectes de 5 ordres et de 14 familles : plusieurs cécidomyies, des fourmis, des coléoptères adultes et sous forme larvaire, et des guêpes parasites, dont l'une venait de pondre (en haut, à gauche). Des ailes de termites et des antennes ont été séparées des animaux auxquels elles ont appartenu. Des morceaux de trois termites sortent de moisissures (en haut, à droite) : ces insectes n'ont probablement été que partiellement piégés au début ; les parties exposées se sont décomposées, ont commencé à moisir et ont ensuite été recouvertes par une autre couche de résine.

lulaires nommés ribosomes, nous avons isolé de petits fragments des gènes 16s et 18s. Nous avons déterminé la séquence des bases de l'ADN d'un morceau (les bases sont les unités élémentaires qui codent l'information génétique) ; puis nous avons comparé cette séquence à celles des segments correspondants de gènes de termites, de blattes et de mantes actuels, qui constituent le groupe des Dictyoptères.

Grâce à ces comparaisons, nous avons reconstruit l'arbre phylogénétique du groupe. Les ressemblances morphologiques entre les mastotermes et les blattes ne correspondaient pas à une parenté proche. *Mastotermes darwiniensis*, l'espèce actuelle, et *Mastotermes electrodominicus*, l'espèce fossile, sont très proches : sur un segment d'ADN de 100 bases de longueur, les deux espèces ne diffèrent que par neuf paires de bases. En outre, ce sont de vrais termites.

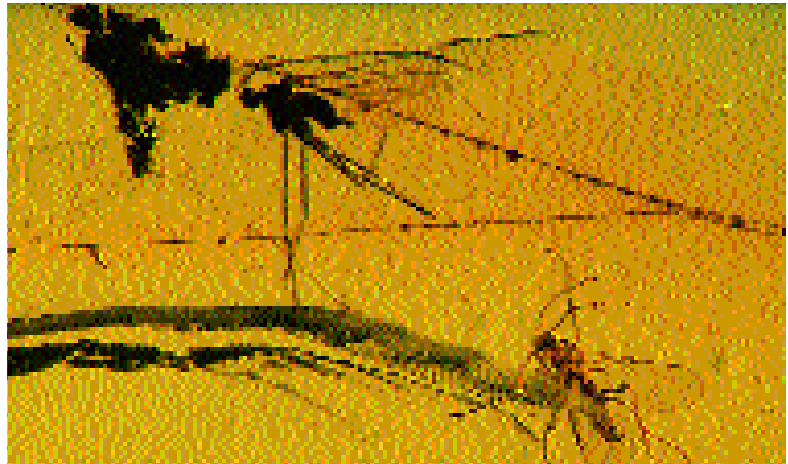
Depuis 1992, d'autres ADN d'insectes anciens ont été séquencés : on a analysé une drosophile, une abeille sans aiguillon, des moucheron Sciarides et Mycétophilides et des coléoptères Chrysomélidés, tous conservés dans de l'ambre. Puis, en 1993, on a séquencé le plus ancien ADN connu : celui d'un charançon de 125 millions d'années, conservé dans de l'ambre du Liban.

À la fin du Crétacé, il y a environ 65 millions d'années, le paysage s'est considérablement transformé. Les plantes à fleurs, aujourd'hui la forme de vie dominante sur terre, sont apparues. Simultanément plusieurs groupes d'insectes actuels ont évolué : les fourmis, les termites, les abeilles, les papillons diurnes et nocturnes, les coléoptères et d'autres, associés aux plantes à fleurs. Les fossiles contenus dans l'ambre du Crétacé sont donc particulièrement intéressants pour connaître l'histoire de l'évolution.

L'un des gisements de cet ambre, formé il y a 90 à 94 millions d'années, a été découvert dans le centre du New Jersey, il y a environ cinq ans. Il a livré des fossiles extraordinaires, dont une plume d'oiseau, la plus ancienne trace d'oiseau connue sur le continent Nord-américain, les plus anciennes abeilles et fourmis, et l'unique fleur incluse dans l'ambre du Crétacé, une petite inflorescence d'une forme primitive de chêne. L'exploration génétique de ces vestiges devrait éclairer l'Évolution sur la Terre.

Pris en flagrant délit

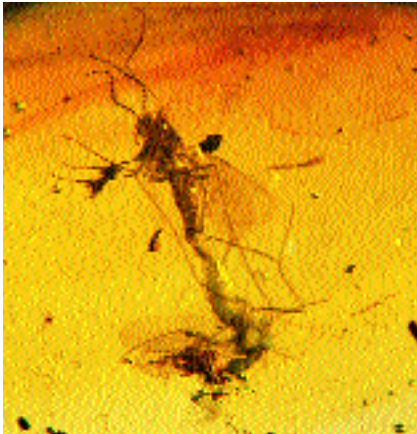
Le piégeage des insectes dans l'ambre montre que des comportements familiers ont au moins 25 millions d'années.



LA TOILE D'UNE ARAIGNÉE emprisonne l'un de ces deux moucheron, de la famille des *Cecidomyiidae*.



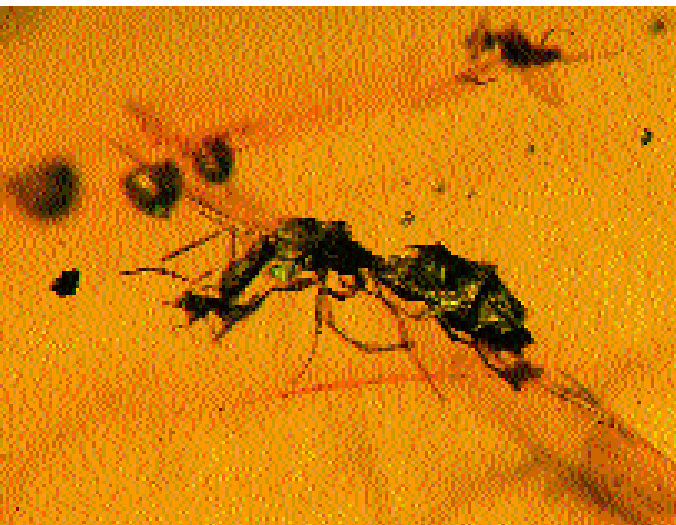
TROIS FOURMIS ATTAQUENT une larve de mante religieuse, preuve de la coopération des fourmis pour chasser ou se défendre.



L'AMOUR ET LA MORT unissent deux cécidomyies accouplées. La femelle aurait pondu environ 100 œufs, dont les larves se nourrissent de champignons.



PONDRE EN MOURANT est un réflexe observé chez de nombreux insectes. Les larves de ce papillon (probablement un tinéidé) se nourrissaient peut-être de champignons durs et ligneux qui poussaient sur les arbres *Hymenaea*.



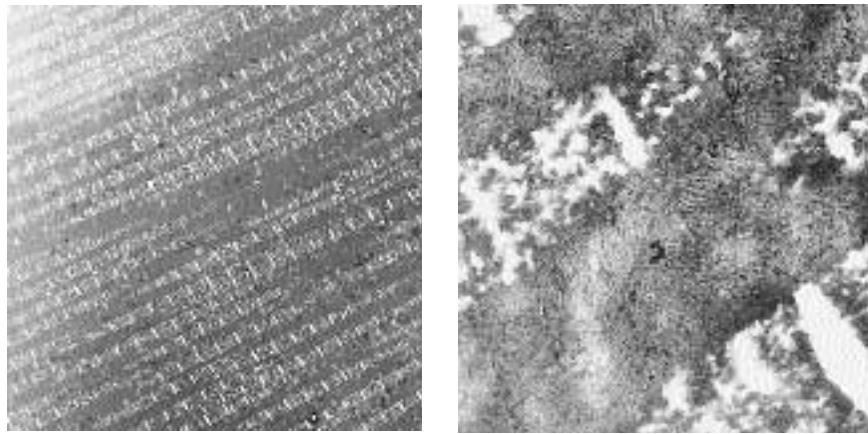
CETTE REINE DES FOURMIS du genre *Acropyga* porte une cochenille dans ses mandibules. Aujourd'hui certaines fourmis élèvent des colonies de ces insectes, dont elles récoltent une sécrétion sucrée, le miellat. Lorsque la reine disperse son ancienne colonie, elle emporte l'un de ces insectes lors de son vol nuptial pour commencer son nouveau nid.



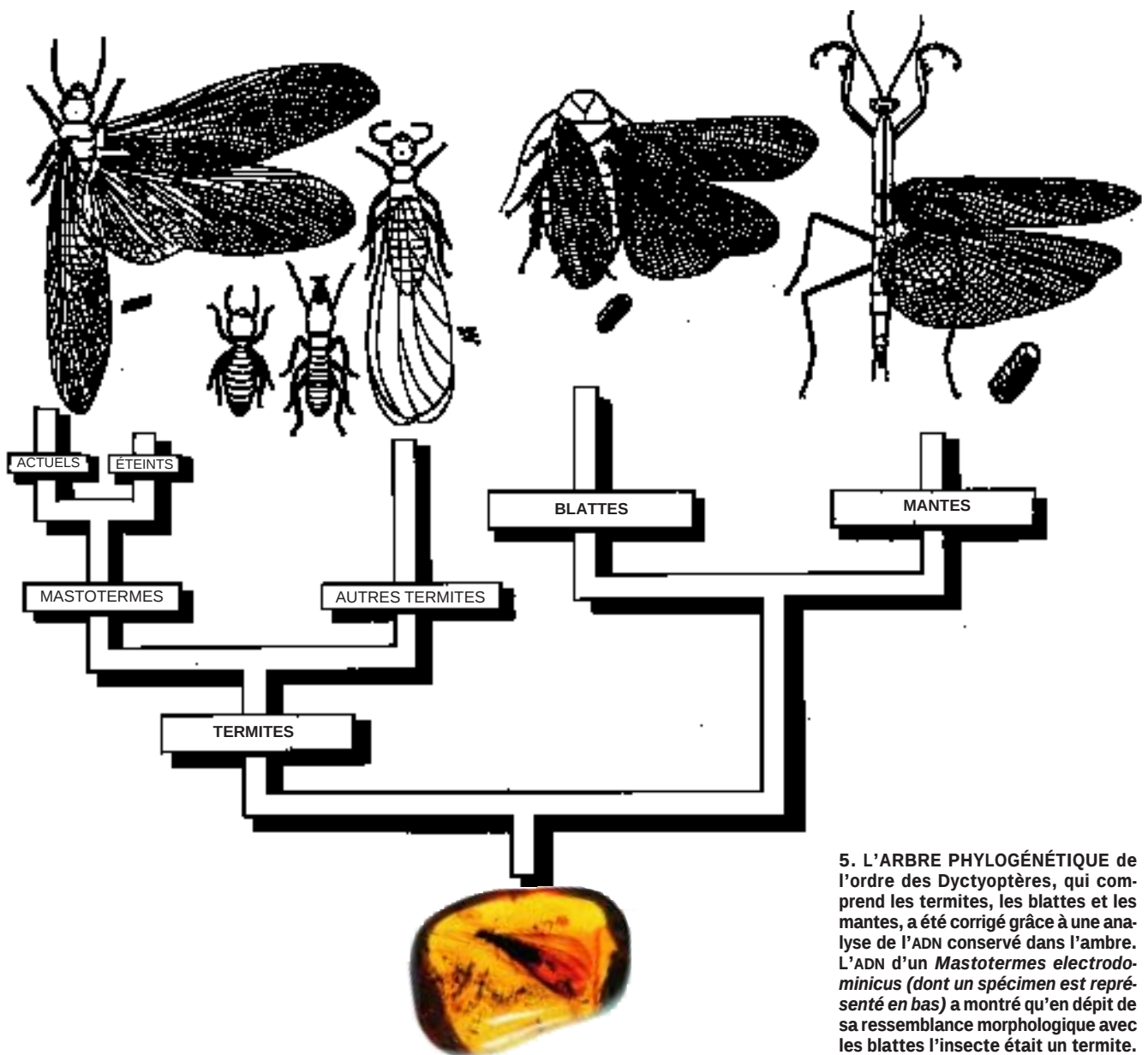
UN ACARIEN EST ACCROCHÉ à l'abdomen d'un moucheron chironomidé. Ces moucheron vivent dans l'eau ou dans le sol très humide pendant leur vie larvaire, récupérant ainsi ces acariens.



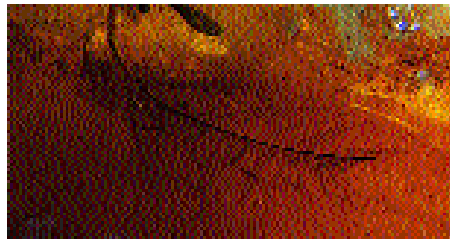
UN MOUCHERON PIQUEUR (de la famille des *Ceratopogonidae*) gorgé de sang. On a prétendu qu'il s'agissait de sang de dinosaures, mais ce moucheron a vécu 40 millions d'années après leur disparition.



4. LES MUSCLES ALAIRES d'une abeille sans aiguillon, fossilisée dans l'ambre, ont été grossis pour montrer les fibres musculaires striées (à gauche). Chaque fibre mesure jusqu'à un micromètre de large. Entre ces filaments sont entassées les membranes repliées des mitochondries, qui, en coupe, ressemblent à des empreintes digitales (à droite). C'est de ce type de cellules d'un termite que l'auteur et ses collègues ont extrait de l'ADN.



5. L'ARBRE PHYLOGÉNÉTIQUE de l'ordre des Dictyoptères, qui comprend les termites, les blattes et les mantis, a été corrigé grâce à une analyse de l'ADN conservé dans l'ambre. L'ADN d'un *Mastotermes electrodominicus* (dont un spécimen est représenté en bas) a montré qu'en dépit de sa ressemblance morphologique avec les blattes l'insecte était un termite.

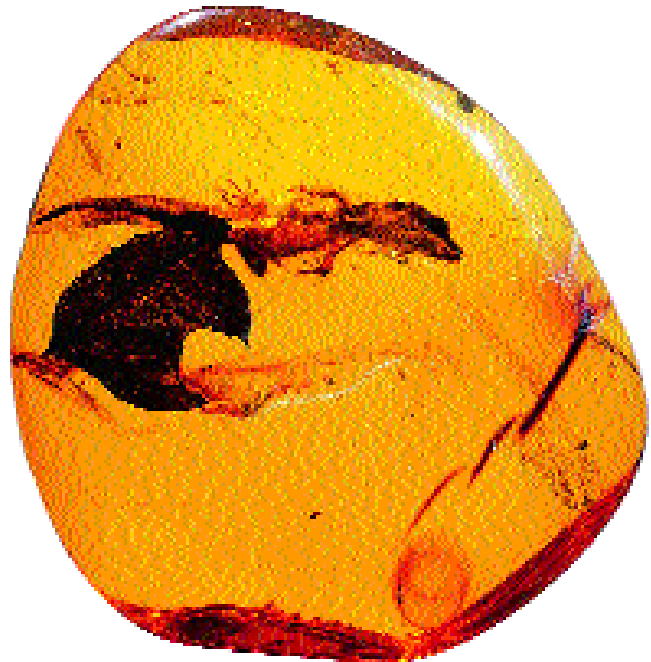


6. LES PLUS ANCIENNES FLEURS conservées dans l'ambre sont les chatons d'un chêne primitif (à gauche). Une plume (au milieu, en haut) est le plus ancien vestige d'un oiseau en Amérique du Nord. L'ambre du New Jersey contient aussi les plus anciens spécimens

de plusieurs insectes, tel ce diptère (au milieu, en bas). Près de l'ambre, de l'argile a préservé plusieurs fleurs, telle celle de *Detrusandra* (à droite), apparentée au magnolia, de deux millimètres de large, transformée en charbon par des feux de forêt.



7. UNE GRENOUILLE *ELEUTHRODACTYLUS* (à gauche) et un gecko *Sphaerodactylus* (à droite) sont piégés dans des morceaux d'ambre de 5,8 et 4,3 centimètres de diamètre, respectivement. Au-dessus de la grenouille, la carcasse décomposée d'une autre gre-



nouille est entourée de larves de mouches. La colonne vertébrale du gecko est brisée, probablement parce qu'il s'est débattu pour échapper à la résine. La feuille, à côté de lui, a été vraisemblablement découpée par une abeille mégachilide.

David GRIMALDI dirige le département d'entomologie du Muséum national américain d'histoire naturelle, à New York.

Svante PÄÄBO, *L'ADN des fossiles*, in *Pour la Science*, décembre 1993.

R. MACPHEE et David GRIMALDI, *Mammal Bones in Dominican Amber*, in *Nature*, vol. 380, pp. 489-490, 11 avril 1996.

David GRIMALDI, *Amber : Window to the Past*, Harry N. Abrams, 1996.

Le suicide des cellules

JEAN-CLAUDE AMEISEN

Les cellules sont perpétuellement en instance de mort ; elles ne restent en vie qu'à condition de recevoir des signaux de survie émis par leur environnement. Des anomalies de ces mécanismes seraient responsables de diverses pathologies, tels le cancer, le SIDA et les maladies neurodégénératives.

Pourquoi l'homme tombe-t-il malade, vieillit-il, meurt-il ? Toutes ces interrogations commencent à être élucidées par l'étude des mécanismes qui déterminent la survie et la mort des milliards de cellules qui le constituent.

Pendant longtemps, on a pensé que la mort des cellules, qu'elle soit massive ou limitée, intermittente ou quotidienne, ne pouvait résulter que d'agressions, de l'action du temps, de maladies ou du vieillissement. Puis l'étude de la toute première étape de la vie a progressivement balayé ce dogme : le développement de l'embryon est caractérisé par des phénomènes spectaculaires et incessants de multiplication, de différenciation et de migration des cellules, qui aboutissent à la transformation de l'œuf originel, formé d'une seule cellule, en un être pluricellulaire complexe. Paradoxalement, durant cette période, surviennent, en l'absence de toute maladie et de tout vieillissement, des épisodes massifs de mort cellulaire.

Observés pour la première fois à la fin du XIX^e siècle, ces phénomènes de mort cellulaire ont d'abord été négligés, et considérés comme la conséquence d'erreurs inévitables dues à l'énorme production de cellules qui caractérise la période embryonnaire. Or, ces phénomènes de mort cellulaire surviennent dans toutes les espèces d'organismes pluricellulaires étudiées, dans de très nombreux organes, aux mêmes endroits et aux mêmes moments dans tous les embryons d'une même espèce. Il y a une cinquantaine d'années, cette constatation a conduit les biologistes à supposer que la mort cellulaire fait partie intégrante du programme normal de déve-

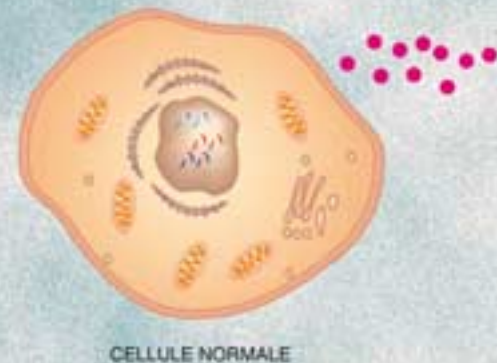
loppement de l'embryon. Cette hypothèse souleva de nombreuses questions quant au rôle possible de ce phénomène, à ses mécanismes et à son contrôle génétique.

On établit d'abord que la mort cellulaire, tel un sculpteur, modèle la forme de l'embryon par élimination de tissus. Ainsi, elle fait disparaître les tissus ancestraux qui n'ont plus de fonction dans l'espèce : la queue de l'embryon humain, par exemple, ou les branchies et la queue du têtard, utiles au cours du développement, mais qui disparaissent lors de la métamorphose en grenouille. Chez les mammifères et les oiseaux, la mort cellulaire sculpte les pattes, élimine les tissus qui joignent les doigts, individualisant ainsi les doigts (l'atténuation de ce phénomène aboutit à la formation des pattes palmées, chez les oiseaux aquatiques).

La mort cellulaire participe aussi à l'ouverture des orifices du tube digestif, à la formation des reins, au remodelage des os et des cartilages, et à la différenciation sexuelle. La mort programmée peut être commandée par des signaux émis par l'organisme : les biologistes l'ont compris quand ils ont découvert le rôle essentiel de certaines hormones dans le déclenchement de cette mort au cours de la métamorphose des insectes et des batraciens. Pourtant, c'est l'étude de la formation du système immunitaire et du cerveau – les deux organes de régulation les plus élaborés des oiseaux et des mammifères – qui a révélé la complexité des mécanismes de mort cellulaire. Dans ces organes, la mort cellulaire n'est pas destinée à sculpter une forme, mais à permettre l'émergence d'une fonction.

Mort cellulaire, système immunitaire et cerveau

L'efficacité remarquable de nos défenses contre la multitude des agents infectieux environnants est due à l'extraordinaire diversité des mécanismes de reconnaissance du système immunitaire. Chacun des quelques centaines de millions de lymphocytes qui le composent porte un récepteur qui lui est propre, et qui lui permet de reconnaître un agent infectieux capté par les cellules de l'organisme. Pour créer cette diversité, l'organisme utilise la formi-



1. UNE CELLULE est sans cesse entre la vie et la mort. Quand elle ne reçoit pas, de son environnement, les signaux qui la maintiennent en vie, elle se suicide : son noyau se condense et se fragmente, sa membrane bourgeonne et son cytoplasme se divise en petits ballonnets (les corps apoptotiques) ; une telle cellule bourgeonnante a été photographiée au microscope électronique à balayage (en bas à l'extrême droite). Une cellule apoptotique exprime à sa surface des molécules qui permettent aux cellules voisines de les identifier et d'absorber les corps apoptotiques. Les cellules en apoptose disparaissent sans laisser de traces.