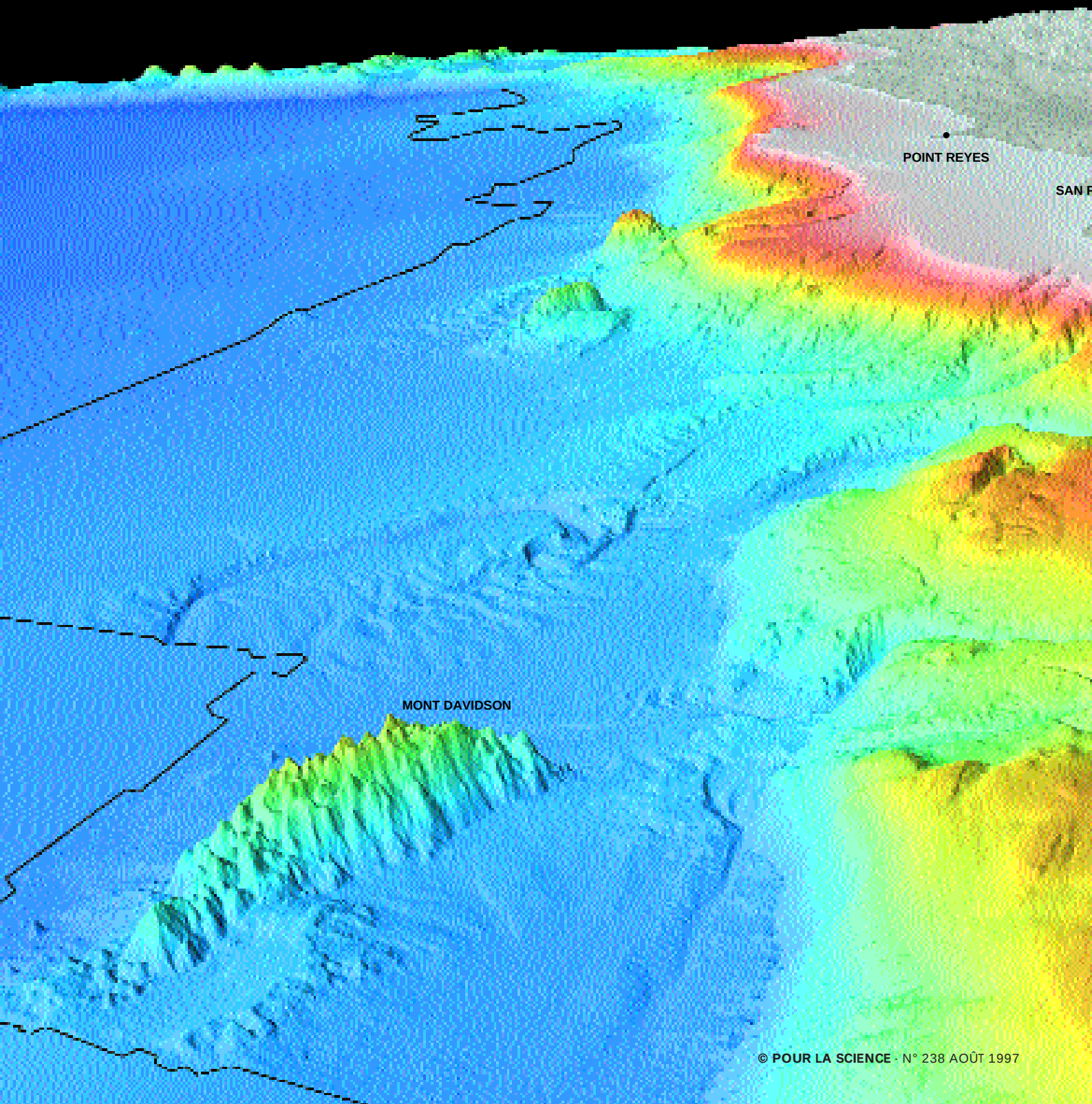
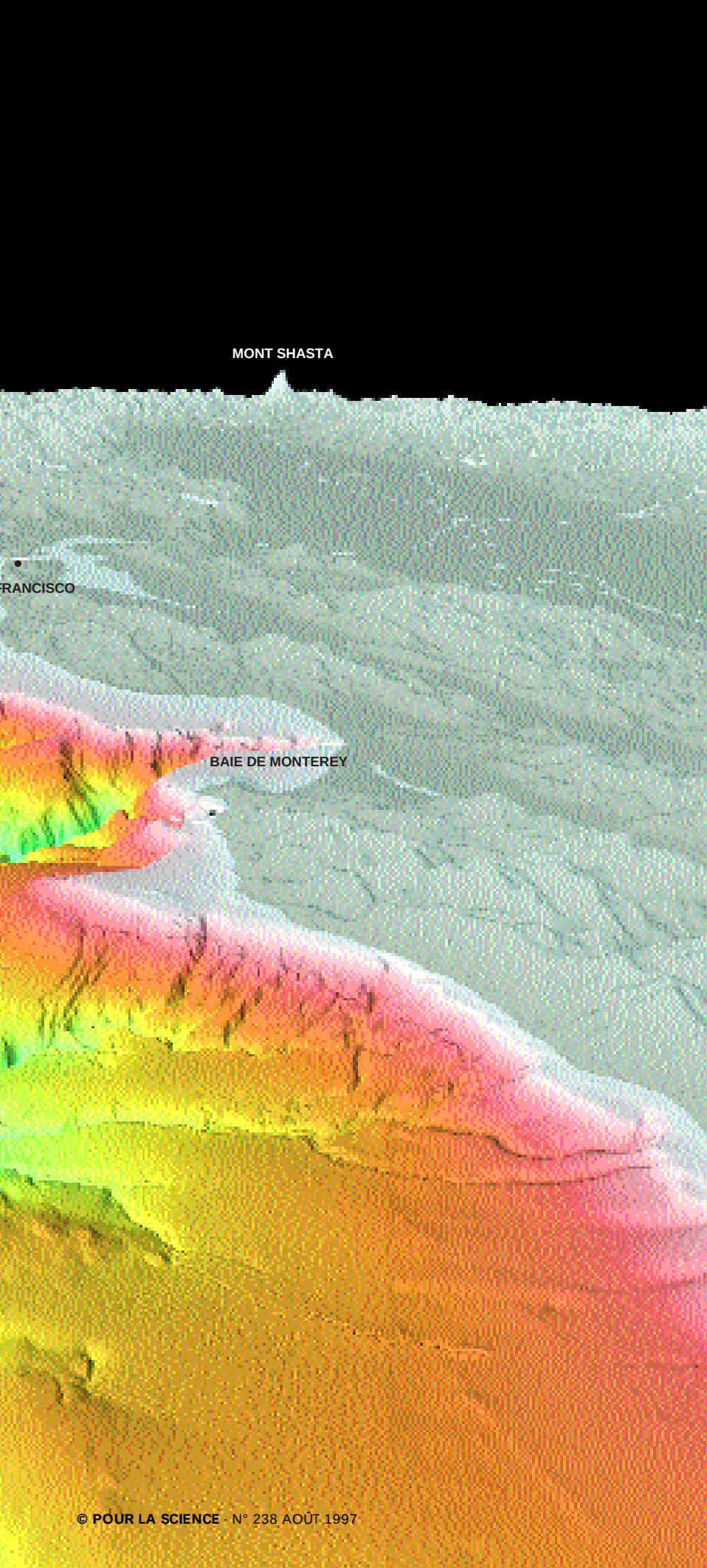


Les reliefs sous-marins

LINCOLN PRATSON • WILLIAM HAXBY

Des techniques modernes de sonar fournissent des cartes des fonds sous-marins aux abords des continents et en révèlent la diversité.





Vers -85, le Grec Posidonius prit la mer pour une curieuse mission. Il ne transportait pas de marchandises, pas de passagers, et il n'était pas envoyé pour une mission guerrière. Il cherchait simplement à découvrir la profondeur de l'océan. Après avoir stoppé son navire au milieu de la Méditerranée, il fit descendre une grosse pierre et mesura qu'il fallait près de deux kilomètres de corde avant que la pierre ne touche le fond. Posidonius et ses hommes devaient jubiler, du moins jusqu'au moment où il leur fallut remonter les 2 000 mètres de corde.

Pendant 2 000 ans, les géomètres marins et les océanographes continuèrent à utiliser cette méthode de sondage pour déterminer les profondeurs de l'océan : ne nous étonnons pas que leurs progrès aient été lents. Puis, durant les années 1920, les océanographes ont mis au point les premiers sonars : ils émettent des ondes sonores qui sont réfléchies par le fond océanique et analysent la durée de leur propagation pour déterminer la profondeur de l'océan. Grâce aux innombrables mesures fournies par ces instruments, les océanographes ont commencé à se représenter le relief des fonds sous-marins.

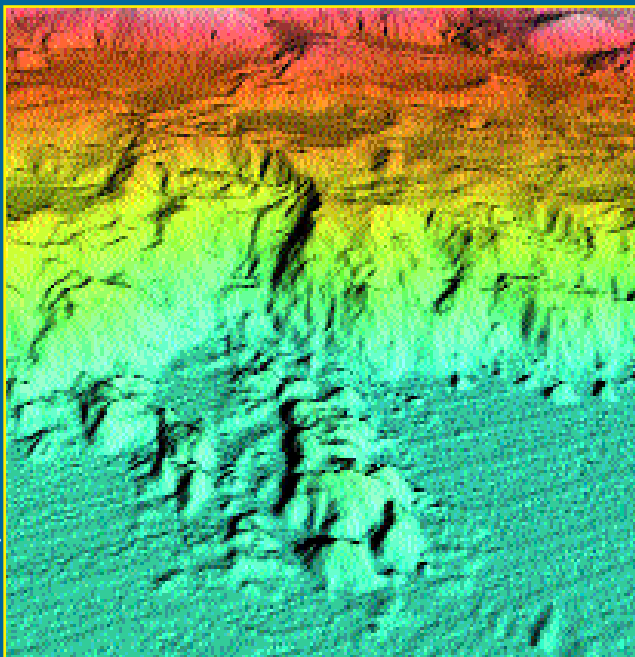
Au cours des dernières décennies, des ingénieurs ont conçu des dispositifs acoustiques encore plus perfectionnés, accélérant ainsi la cartographie des fonds. Les programmes de cartographie du relief sous-marin furent d'abord subventionnés par l'armée, mais, aujourd'hui, les considérations économiques ont pris le relais.

En 1981, les pays ouverts sur la mer ont déclaré que les eaux et les fonds marins qui bordent leurs côtes sur une largeur de 370 kilomètres sont des «zones économiques d'exclusivité». Pour estimer la valeur des vastes étendues sous-marines revendiquées par les États-Unis, les Américains ont exploré, entre 1983 et 1993, plusieurs des régions annexées. Ils ont ainsi compilé des cartes de plus de 200 000 kilomètres carrés de fonds marins au large des côtes atlantiques et pacifiques, et au large du golfe du Mexique.

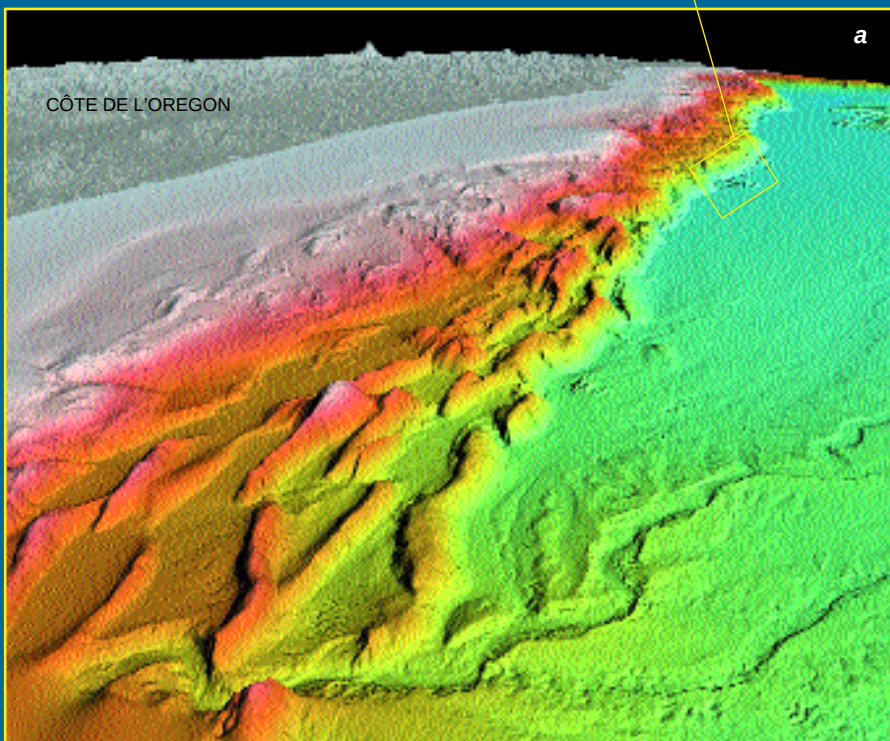
1. DES IMAGES DU RELIEF SOUS-MARIN ont été élaborées par ordinateur, à partir des données enregistrées par des sonars (pour les zones situées à droite de la ligne noire). On observe ainsi les formations géologiques sous-marines, ici à l'Ouest de la côte pacifique des États-Unis.

L. Pradon et W. Haby

2. EFFONDREMENT du fond sous-marin sur le talus continental au large de l'Oregon. La traînée de débris, au centre de la «baie» en forme de «V», marque la trajectoire des matériaux. Cette excavation est large de six kilomètres, à l'«embouchure». Certains des blocs effondrés sont aussi hauts que des gratte-ciel. L'effondrement aurait été déclenché par un séisme. De tels éboulements de la marge continentale engendrent de violents tsunamis qui inondent le littoral ou traversent le Pacifique et ravagent les côtes lointaines.



L. Pratson et W. Haxby



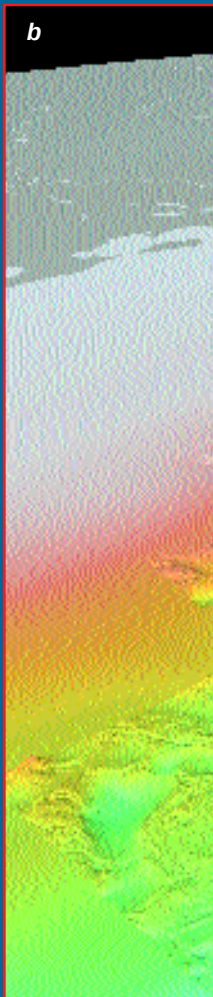
L. Pratson et W. Haxby

3. DES SÉDIMENTS PLISSÉS tapissent le fond marin au large de l'Oregon. Les ondulations résultent de la collision entre la plaque Nord-américaine (à gauche) et la plaque Juan de Fuca (à droite). Comme un bulldozer géant, la plaque Nord-américaine racle les sédiments de la plaque de Juan de Fuca, qui s'enfoncent et les comprime en formant des plis. Au Nord (en bas à gauche), les plis forment des arêtes nettes. Au Sud (en haut à droite), les plis sont si serrés qu'ils s'accrochent en terrasses, car une partie de la plaque de Juan de Fuca affleure sous la couche sédimentaire.



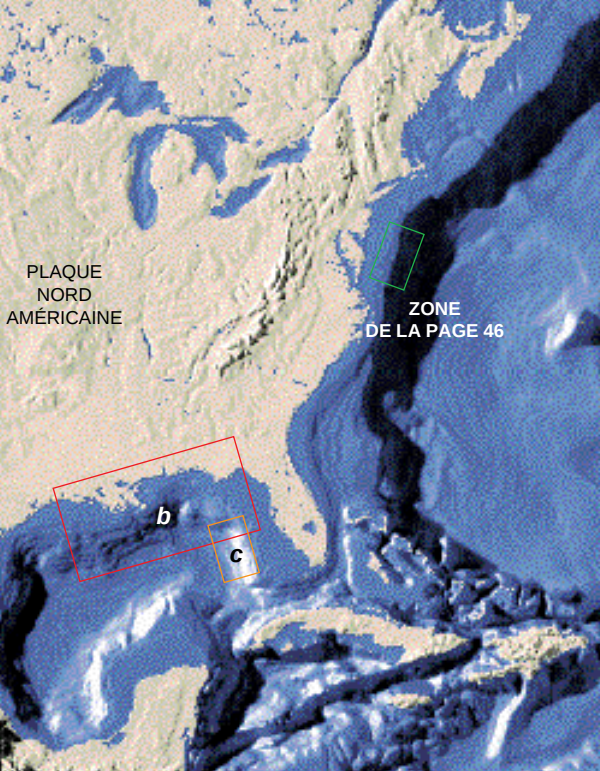
Edward Bell

4. TROIS TYPES DE MARGES bordent le littoral de l'Amérique du Nord. Sur la façade atlantique et le long des côtes du golfe du Mexique, les marges sont passives : elles sont incluses dans la plaque tectonique Nord-américaine, accompagnant cet énorme bloc dans ses déplacements. Au contraire, la marge occidentale des États-Unis est active : elle se trouve sur le bord de la plaque Nord-américaine, qui heurte la croûte océanique, sous l'océan Pacifique. Sur la presque totalité de la côte cali-

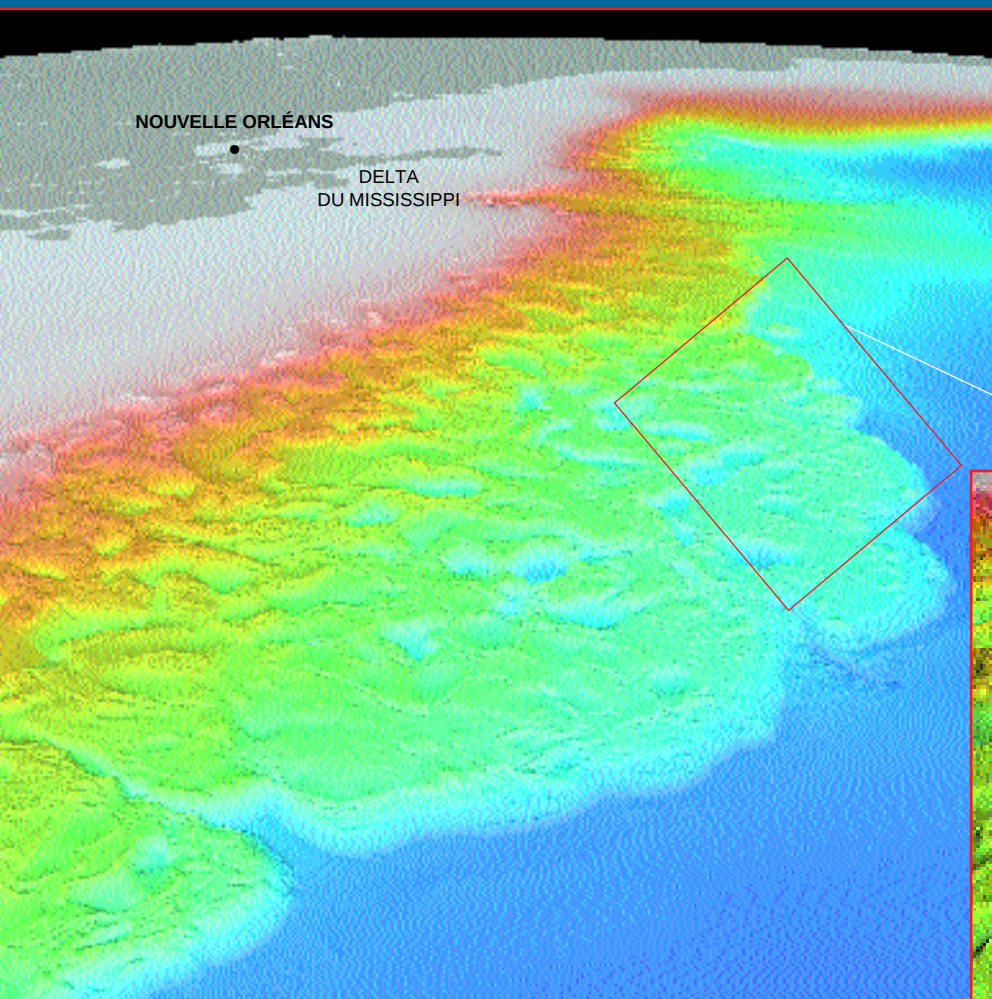


L. Pratson et W. Haxby

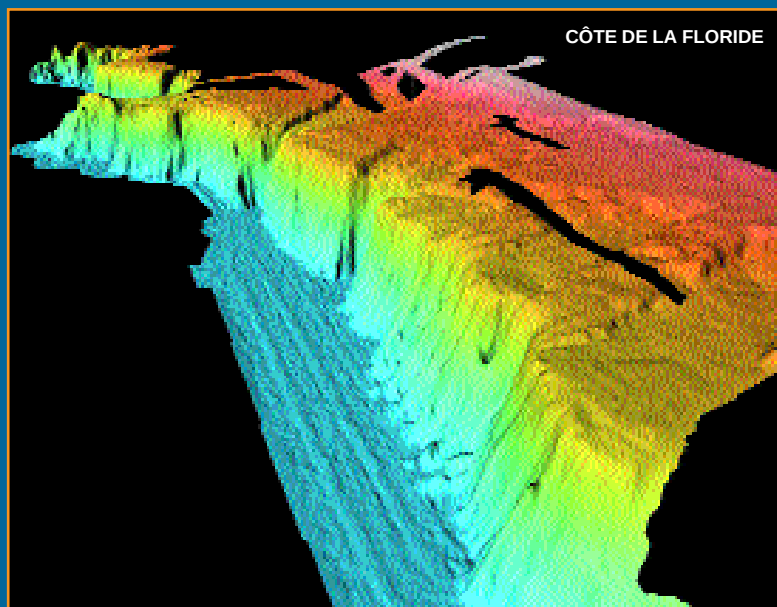
5. DES STRUCTURES EN FORME DE CRATÈRES parsèment le fond marin au large du Mississippi jusqu'à l'Est du Texas. Ces petits bassins sont remplis de sédiments épais et, par endroits, d'énormes quantités de pétrole et de gaz. Les arêtes et les dômes qui séparent les bassins recouvrent des dépôts de sel de tailles et de formes variées. Ce sel a été déposé il y a environ 180 millions d'années, après l'évaporation des eaux du golfe du Mexique. Il a ensuite été recouvert d'une épaisse couche de sédiments provenant de l'érosion des montagnes Rocheuses et charriés vers le golfe par le Mississippi. Le sel est incompressible : sous le poids des sédiments qui l'ont recouvert, d'énormes poches de sel ont été chassées, sont remontées et ont «fleur» vers la mer.



forrière (il s'agit d'une frontière de plaques coulissantes), la plaque Nord-américaine glisse le long de la plaque du Pacifique, en suivant un système de fractures quasi verticales, connues sous le nom de faille de San Andreas. Plus au large des côtes (il s'agit d'une marge active), la plaque Nord-américaine passe sur un morceau de croûte océanique nommée plaque de Juan de Fuca.

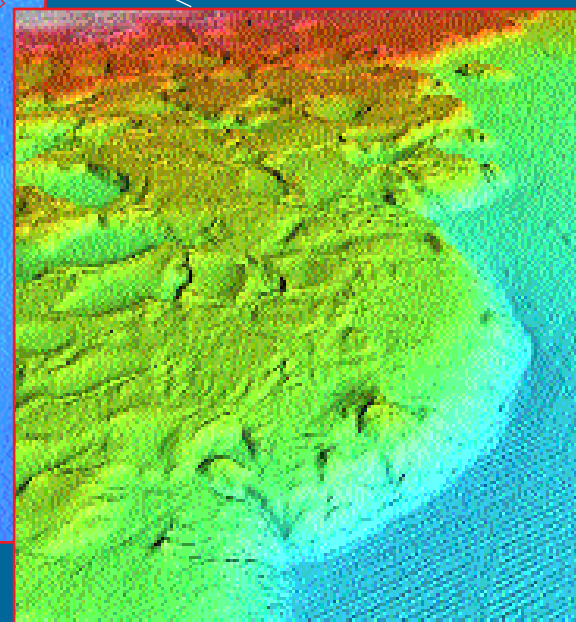


c



L. Pratson et W. Hady

6. DES FALAISES DE PRÈS DE DEUX KILOMÈTRES forment l'Escarpe de Floride, au bord du talus continental, à l'Ouest de la Floride. Tandis que la pente du talus continental est généralement de l'ordre de quelques degrés, celle de l'escarpement atteint, ici, 35 degrés. En plusieurs endroits, les parois sont quasi verticales. D'innombrables squelettes d'organismes marins sont agglomérés dans le fond. L'accumulation progressive de ce matériel formait naguère une pente douce, mais des courants ont érodé la base du talus. Aujourd'hui, des eaux souterraines très salées suintent de l'escarpement et dissolvent les roches. Affaibli par cette décomposition, le talus menace de s'effondrer en entraînant avec lui beaucoup de sédiments. On retrouve très peu de matériel érodé, à la base de la falaise.



Les instruments de la cartographie sous-marine

Les sondeurs multifaisceaux ne sont qu'un des types d'instruments d'étude des fonds sous-marins. Les autres méthodes ont aussi des avantages et des inconvénients.

Les satellites (a) ne mesurent pas la profondeur des fonds marins, mais ils repèrent les variations de hauteur de la surface de l'océan. Le satellite *Geosat*, par exemple, utilise un radar pour mesurer sa distance à la surface de l'océan avec une précision de cinq centimètres. Comme la position du satellite est parfaitement connue, on détermine précisément les dénivellations de la surface de l'océan.

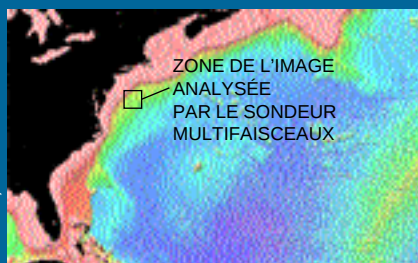
La surface de l'océan présente parfois des dénivellations qui atteignent 200 mètres. Ces ondulations reflètent des différences de la force de gravitation terrestre qui sont infimes, mais suffisantes pour que l'eau ne se répartisse pas de façon uniforme. Plus généralement, ces variations d'origine gravitationnelle de la surface de l'océan

résultent des accidents de la topographie sous-marine. Par exemple, un volcan submergé de 2 000 mètres de haut et de 40 kilomètres de large attire l'eau latéralement vers lui, produisant un ren-

flement d'environ deux mètres de haut à la surface de l'océan, juste au-dessus de lui. Toutefois, les reliefs sous-marins de moins de 10 kilomètres de large n'ont généralement pas une masse suffisante pour modifier la surface de l'océan, et ils ne sont pas détectés par les satellites radar. De plus, les variations de gravité (notamment près des marges continentales) reflètent parfois des différences de la densité des roches sous-jacentes plutôt que de la topographie locale. Les satellites fournissent malgré tout des cartes d'ensemble, même imparfaites, des régions qui n'ont pas encore été explorées par des navires.

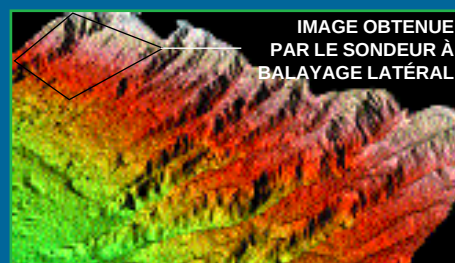
Le sondeur multifaisceaux (b) utilise les échos réfléchis par le fond sous-marin pour mesurer la profondeur de l'eau. Contrairement aux sondeurs simples, cette technique utilise plusieurs sources sonores et des dispositifs d'écoute répartis sur la coque du navire océanographique. À intervalles réguliers de quelques secondes, les sources sonores émettent des ultrasons qui atteignent une mince bande du fond, perpendiculaire à la direction du navire. Simulta-

IMAGE PAR SATELLITE RADAR

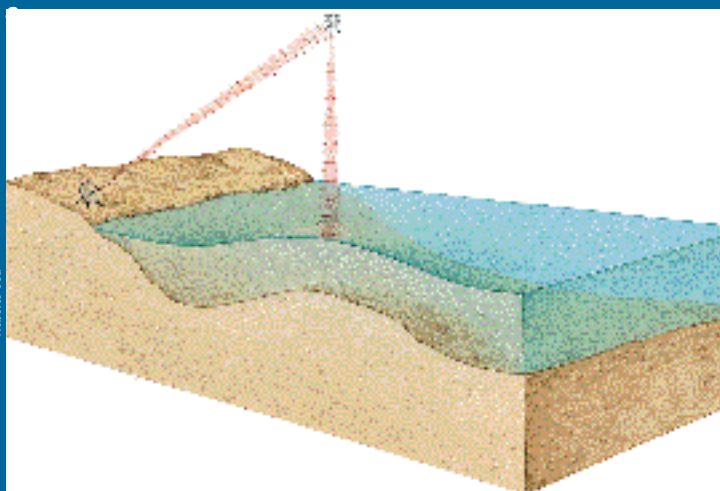


Walter Smith, NOAA

IMAGE PAR SONDEUR MULTIFAISCEAUX

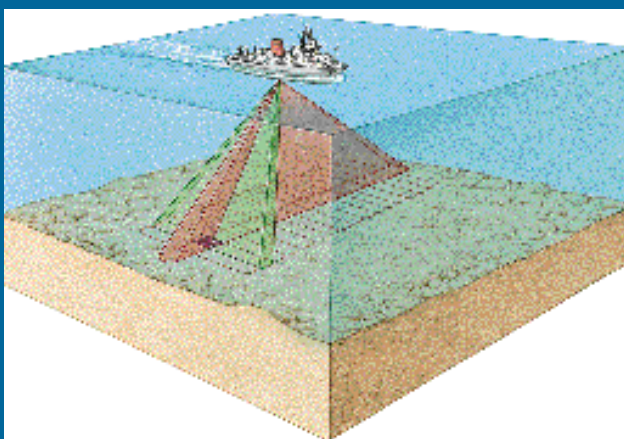


L. Patton et W. Haxby



Roberto Osti

b



Simultanément, des océanographes étudiaient plus en détail le large du New Jersey et de la Floride occidentale. Tous les navires étaient équipés de sonars multifaisceaux, les instruments les plus perfectionnés aujourd'hui pour la cartographie des reliefs sous-marins.

Ces campagnes ont fourni des vues sans précédent des marges continentales (une marge continentale est constituée de la plate-forme continentale et du talus qui la délimite).

Bien qu'aucune lumière solaire n'atteigne les grandes profondeurs, les ordinateurs couplés aux sonars montrent les fonds sous-marins tels qu'ils apparaîtraient si les océans étaient vidés ! Ces reconstructions sont particulièrement intéressantes pour l'élaboration de programmes d'activités industrielles en mer : par exemple, les entreprises qui posent des câbles sous-marins de télécommunication ou qui implantent des plates-formes de forage pétrolier dans des zones tou-

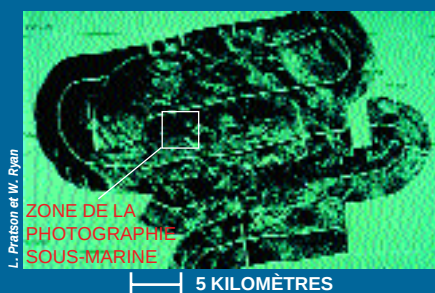
jours plus profondes ont besoin de connaître les fonds stables, où il n'y a pas d'éboulements sous-marins ni de courants violents.

La création de décharges sous-marines nécessite aussi de savoir si des courants profonds ne risquent pas de perturber les sites où sont entreposés les déchets. L'étude des fonds sous-marins aide également les géologues à localiser les systèmes de failles sous-marines et à évaluer les risques sismiques.

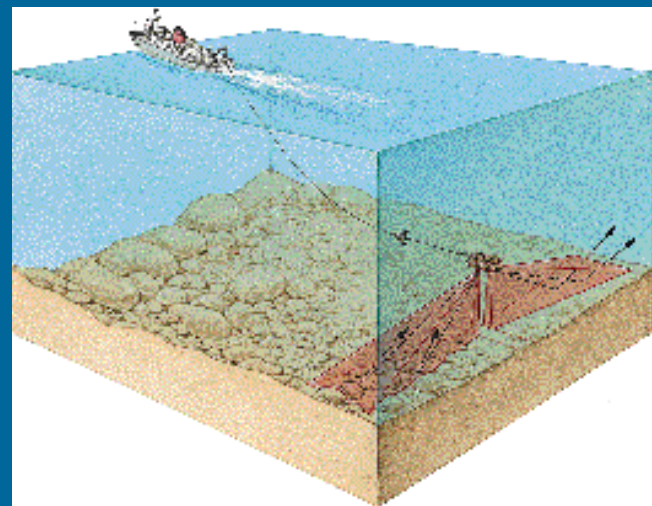
nément, les systèmes de détection enregistrent les sons réfléchis par le fond et qui proviennent d'étroits couloirs sous-marins parallèles à la trajectoire du navire. Ainsi, les ultrasons captés par le navire proviennent des intersections entre la bande des sons émis et les couloirs d'écoute. Les échos sont enregistrés à des intervalles réguliers de quelques secondes pendant que le navire avance, et l'accumulation des données autorise la reconstruction du relief le long de la trajectoire du navire. En ratissant une zone par bandes, comme on tond une pelouse, on cartographie toute la région. Toutefois, les géophysiciens disposent de moins de 200 navires équipés du matériel nécessaire, de sorte qu'il leur faudrait plusieurs centaines d'années pour cartographier de cette façon la totalité des fonds sous-marins.

Le sondeur à balayage latéral (c) fournit un autre aspect du fond de l'océan. L'équipement est habituellement monté sur un traîneau

IMAGE PAR SONDEUR À BALAYAGE LATÉRAL



remorqué par le bateau. Deux sondeurs, fixés de chaque côté du traîneau fonctionnent à la fois comme sources d'ultrasons et comme dispositif d'enregistrement. Ces unités émettent obliquement vers le fond, de chaque côté

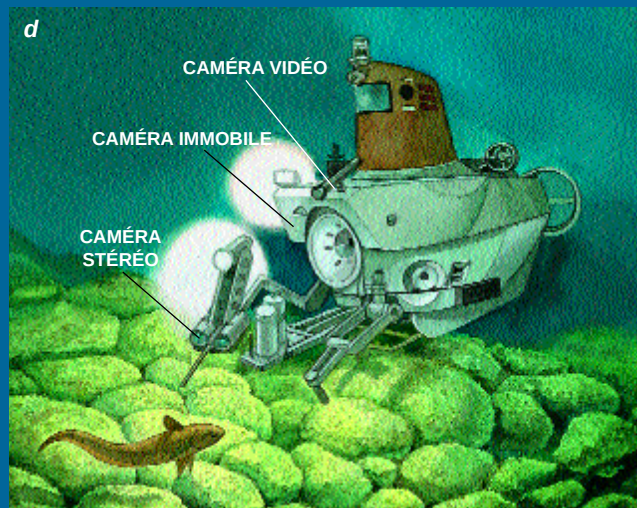
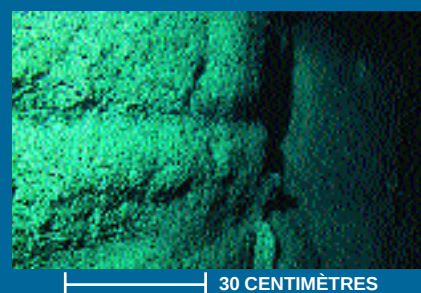


La cartographie sous-marine informe les géologues sur la façon dont les fonds des océans sont modelés par les contraintes physiques auxquelles ils sont soumis. Les images du relief océanique permettent aux scientifiques de découvrir d'un seul coup d'œil de vastes étendues sous-marines. On ne connaissait pas encore cet aspect de la Terre, alors que l'on avait déjà découvert la surface des planètes lointaines. L'évolution de la Terre est aujourd'hui à portée de regard.

du traîneau. Quand le fond est plat et lisse, aucun écho n'est réfléchi vers le traîneau (comme un rayon de lumière dirigé obliquement sur un hublot). Au contraire, quand le fond marin est accidenté, les ondes frappant le sol sont renvoyées dans toutes les directions, et notamment vers le sondeur (tout comme un rayon de lumière atteignant un verre dépoli est diffusé dans toutes les directions). En reliant l'amplitude des échos enregistrés à différents niveaux de gris et en tenant compte de la position du traîneau, les géologues obtiennent une image de la texture du fond océanique qui ressemble à une photographie en noir et blanc. Toutefois, pas plus qu'une photographie aérienne une image de sondeur à balayage latéral n'indique la hauteur des reliefs explorés.

Les photographies sous-marines, obtenues grâce à des caméras remorquées sur le fond, à des submersibles téléguidés ou à des véhicules télécommandés, fournissent les vues les plus précises et les plus détaillées des fonds sous-marins (d). Toutefois, la lumière se propage peu dans les eaux profondes, de sorte que l'on photographie uniquement de petites zones, à proximité des sources.

PHOTOGRAPHIE SOUS-MARINE



Lincoln PRATSON travaille à l'Institut de recherche arctique et alpine, à l'Université du Colorado. William HAXBY travaille à l'Observatoire Lamont-Doherty de l'Université Columbia.

Swath Bathymetric Mapping, numéro spécial du *Journal of Geophysical Research*, vol. 19, n° B3, 10 mars 1986.

Peter R. VOGT et Brian E. TUCHOLKE, *Imaging the Ocean Floor: History and State of the Art*, in *Geology of North America*,

vol. M : *The Western North Atlantic Region*, sous la direction de P.R. Vogt et B.E. Tucholke, Geological Society of America, 1986.

Anny CAZENAVE et Kurt FEIGL, *Formes et mouvements de la Terre. Satellites et géodésie*, éditions Belin-CNRS, collection Croisée des sciences, 1994.

Lincoln F. PRATSON et William F. HAXBY, *What Is the Slope of the U.S. Continental Slope?*, in *Geology*, vol. 24, n° 1, pp. 3-6, janvier 1996.

Guêpes et apprentissage

JOAN VAN BAAREN • GUY BOIVIN • JEAN-PIERRE NÉNON

Au cours des quelques jours que dure sa vie, une minuscule guêpe parasitoïde apprend à trouver les meilleurs hôtes pour y pondre ses œufs. Cet apprentissage améliore son succès reproducteur.

Quelle est la part de l'instinct? Quelle est celle de l'acquis? *A priori*, on suppose que plusieurs conditions favorisent l'apprentissage : un cerveau développé, des soins parentaux attentionnés, une vie suffisamment longue. Pourtant dès la première toile qu'elle tisse, l'araignée reproduit instinctivement la trame spécifique de son espèce, et dès son premier voyage, le papillon monarque trouve seul la route de sa migration. Nous nous sommes particulièrement intéressés aux capacités d'apprentissage d'une minuscule guêpe parasitoïde, *Anaphes victus*.

C'est un des plus petits Hyménoptères connus : il appartient à la famille des Mymaridés et est très répandu en Amérique du Nord. La femelle de cette espèce mesure à peine 0,5 millimètre et ne vit que deux à quatre jours. *Anaphes victus* est un insecte parasitoïde qui pond ses œufs dans ceux d'un insecte ravageur des cultures, le charançon de la carotte qui, au Canada, dévaste les cultures de carotte, de céleri et de persil. Contrairement aux parasites, les parasitoïdes tuent leurs hôtes : lorsque *Anaphes victus* pond un œuf dans un œuf de charançon, ce dernier est immédiatement détruit. *Anaphes victus* est utilisé dans la lutte biologique contre le charançon de la carotte au Sud de Montréal. Cette guêpe parasitoïde assure la destruction de la moitié des œufs de charançon de la carotte, ce qui permet aux agriculteurs, en combinant les diverses méthodes de lutte contre les ravageurs, de réduire notablement l'épandage des insecticides chimiques.

Or pour assurer son succès reproducteur, *Anaphes victus* doit sélectionner ses «proies» : elle

doit déposer chacun de ses œufs dans un œuf de charançon qui n'est pas encore parasité, sinon la larve sera dévorée par les autres locataires de l'œuf. Comment fait-elle son choix? Comment apprend-elle à reconnaître les œufs «libres» et les œufs déjà parasités? Avant de l'expliquer, rappelons quelques données sur l'apprentissage chez l'animal.

Instinct et apprentissage

Dès qu'un animal est pourvu d'un système nerveux, même s'il n'a pas de cerveau différencié, une forme primitive d'apprentissage existe. C'est le cas des Cnidaires, qui regroupent les méduses, les anémones de mer et les coraux : la première fois qu'on les soumet à un éclair lumineux, les anémones de mer rétractent leurs tentacules, mais elles finissent par s'y habituer et par ne plus réagir. Les Mollusques (les huîtres, les escargots ou les pieuvres) sont sensibles à des formes d'apprentissage plus élaborées : les pieuvres, par exemple, apprennent à parcourir un labyrinthe ou à retirer des proies d'une

boîte. Plusieurs équipes ont montré que les insectes sont susceptibles d'apprendre, notamment les comportements associés à la recherche de nourriture et à celle des sites de reproduction. Plus l'environnement est variable, moins les comportements peuvent être déterminés génétiquement.

L'instinct – génétique – est le comportement qui se manifeste sous une forme complète et définitive dès que l'animal rencontre le stimulus environnemental nécessaire. L'instinct ne change pas au cours de la vie d'un insecte, mais peut se modifier d'une génération à l'autre : la sélection naturelle privilégie les individus dont les réactions instinctives sont mieux adaptées. Au contraire, l'apprentissage est un changement adaptatif qui se produit au cours de la vie, à la suite des expériences vécues.

Toutefois, ces définitions sont controversées, et la distinction entre instinct et apprentissage n'est pas toujours judicieuse. Les comportements généralement considérés comme innés sont influencés par les expériences subies pendant le développement embryonnaire : les pucerons sont préférentiellement attirés par l'odeur des plantes sur lesquelles ils ont été élevés. De surcroît, les comportements instinctifs s'expriment parfois différemment selon les conditions environnementales : au terme de leur croissance sur les plantes, les larves des mouches cécidomyies s'enfoncent dans le sol et y tissent un cocon de soie, mais, si elles sont dans un milieu très humide, elles changent de comportement et tissent leur cocon sur les nervures des feuilles.

Les capacités d'apprentissage ne permettent pas aux ani-



Joan van Baaren

1. *ANAPHES VICTUS* prête à parasiter un œuf de charançon.