

plasmiques ne fonctionnent qu'en présence de concentrations élevées de ce sel. Les protéines de ses structures cellulaires en contact avec le milieu extérieur ne sont fonctionnelles qu'en présence de fortes concentrations de chlorure de sodium.

Les enzymes halophiles sont aujourd'hui moins utilisées que d'autres extrémozymes, mais une application au moins est à l'étude : les biochimistes tentent d'utiliser des extrémozymes halophiles afin de mieux récupérer le pétrole des roches.

Pour créer des voies permettant au pétrole piégé dans les roches de passer dans le puits où s'effectue la récupération, les ingénieurs injectent généralement un mélange d'une gomme visqueuse (le guar, qui provient de certaines plantes) et de sable par le puits, puis ils cassent la roche au moyen d'explosifs, poussant simultanément le mélange injecté dans les fissures formées par l'explosion. Le guar facilite la dispersion du sable dans les fentes, de sorte que les grains maintiennent ultérieurement les fissures ouvertes. Comment éliminer la gomme et laisser circuler le pétrole, après cette opération ? Une solution consiste à injecter, avant le mélange de gomme et de sable, des enzymes qui dégraderont la gomme : celle-ci conserve sa viscosité le temps que le sable soit charrié jusqu'aux fissures, puis elle est dégradée.

Toutefois les puits de pétrole sont des endroits très chauds et souvent salés, où les enzymes « ordinaires » perdent leurs propriétés. Une extrémozyme fonctionnant de manière optimale à des températures et à des salinités élevées resterait probablement inactive à proximité de la sortie du puits, froide et non salée ; elle deviendrait progressivement active à mesure qu'elle pénétrerait dans le puits, puisque la température augmente avec la profondeur.

Moisson d'extrémozymes

Où trouver les extrémozymes utiles à l'industrie ? Classiquement les biologistes de l'industrie isolent les souches de micro-organismes qui contiennent les enzymes utiles, puis ils les cultivent en laboratoire. Toutefois, dans le cas des extrémophiles, ces méthodes sont souvent peu efficaces et coûteuses. Aussi les ingénieurs se sont-ils intéressés à la production d'extrémozymes par des techniques de recombinaison

de l'ADN, qui évitent les cultures d'extrémophiles. Les gènes, constitués d'ADN, codent les enzymes et les diverses protéines des cellules. Aussi, à partir de micro-organismes extrémophiles collectés dans les milieux naturels ou cultivés en laboratoire, on peut former de nombreuses copies des gènes qui codent les enzymes pour, ensuite, synthétiser ces dernières : on introduit les gènes clonés dans des micro-organismes que l'on sait bien cultiver et qui produiront les enzymes en quantités illimitées.

Deux techniques permettent d'identifier des extrémozymes potentiellement efficaces. Tout d'abord, on peut faire de petites cultures d'une bactérie extrémophile récupérée dans un milieu intéressant, puis rechercher des molécules utiles. Par exemple, on cherche des enzymes qui dégradent des protéines en ajoutant à une solution de protéines des extraits des cultures de cellules ; quand on observe une dégradation, on isole les enzymes responsables de cette activité, ainsi que les gènes qui codent ces enzymes, en espérant que ces gènes pourront être introduits dans des cellules qui les exprimeront.

On peut aussi isoler directement l'ADN d'échantillons d'eau, de terre ou de tout autre prélèvement provenant d'un milieu extrême. Puis, par des techniques de recombinaison de l'ADN, on introduit des segments d'ADN sélectionnés au hasard dans des cellules domestiquées (idéalement on n'introduit qu'un fragment par cellule) et l'on teste les colonies issues des cellules modifiées, à la recherche d'activités enzymatiques. Quand une nouvelle activité apparaît, on sait qu'elle provient d'un gène inséré. Cette méthode évite les nombreuses manipulations du procédé classique et ne sélectionne que les enzymes qui pourront, ultérieurement, être produites par des cultures de cellules domestiquées. En outre, elle procure les gènes qui codent ces enzymes sans imposer des cultures d'extrémophiles, généralement très difficiles.

Bien que la diversité des micro-organismes soit considérable, on trouve difficilement les enzymes parfaitement adaptées aux tâches qu'on veut leur confier. Aussi les enzymologues les plus en pointe modifient aujourd'hui les extrémozymes, afin de leur donner des activités sur mesure. Par exemple, après avoir découvert une extrémozyme qui dégrade efficacement des

protéines à haute température, ils sont intervenus afin de la faire fonctionner dans une gamme plus étendue d'acidité et de salinité.

Aujourd'hui, les biologistes effectuent ces transformations de deux façons. Les partisans de la « méthode rationnelle » cherchent d'abord la base structurale d'une propriété donnée ; puis ils modifient le gène de l'enzyme afin que la protéine catalytique qui en résultera détienne, à coup sûr, cette propriété. Les partisans de l'autre approche, nommée évolution dirigée, font varier de façon plus ou moins aléatoire le gène codant une enzyme choisie, et, à partir des gènes modifiés ainsi obtenus, ils fabriquent des milliers de versions différentes de cette enzyme. Ils testent alors l'ensemble pour déceler si l'une des versions a acquis le caractère escompté. Cette dernière stratégie est « edisonienne », car lorsque Thomas Edison rechercha des matériaux pour confectionner les filaments d'ampoule électrique, il testa tous les matériaux à sa disposition, de l'éclat de bambou jusqu'au fil de soie.

Aujourd'hui les extrémozymes utilisées dans l'industrie sont peu modifiées, mais les deux approches, rationnelle et edisonienne, produiront certainement des enzymes mieux adaptées aux tâches qu'on leur confie. Par ces mêmes méthodes, on étudie d'ailleurs la transformation d'enzymes ordinaires en extrémozymes artificielles.

Michael MADIGAN est professeur de microbiologie à Carbonsdale (Illinois). Barry MARRS est directeur de la Société *Photosynthetic Harvest*.

M.W.W. ADAMS et R.M. KELLY, *Enzymes Isolated from Microorganisms That Grow in Extreme Environments*, in *Chemical and Engineering News*, vol. 73, n° 51, pp. 32-42, 18 décembre 1995.

Extremophiles, numéro spécial de *Federation of European Microbiological Societies (FEMS) Microbiology Reviews*, vol. 18, nos 2-3, mai 1996.

K.O. STETTER, *Hyperthermophiles in the History of Life*, in *Evolution of Hydrothermal Ecosystems on Earth (and Mars?)*, sous la direction de Gregory R. Bock et Jamie A. Goode, John Wiley & Sons, 1996.

Michael T. MADIGAN, John M. MARTINKO et Jack PARKER, *Brock Biology of Microorganisms*, huitième édition, Prentice Hall, 1997.



Jules Verne, visionnaire incompris

ARTHUR EVANS • RON MILLER

La découverte d'un manuscrit longtemps égaré révèle que le père de la science-fiction se préoccupait des dangers de la science et de la technique.

Près d'un siècle après sa mort, Jules Verne fait à nouveau rêver les lecteurs du monde entier, avec un roman jusqu'ici inédit, *Paris au XX^e siècle*. Achievé en 1863, ce manuscrit était resté dans un coffre-fort, dont il n'a été sorti qu'en 1989 par l'arrière-petit-fils de l'auteur. Homme du XIX^e siècle, Verne peint une aventure humaine dans un monde où règnent des gratte-ciel de verre et d'acier, des trains à grande vitesse, des automobiles à moteur à combustion, des ordinateurs, des télécopieurs et un réseau mondial de communications. Le Verne qui avait présenté à ses lecteurs nombre de merveilles techniques, des sous-marins aux hélicoptères, ne déçoit pas ici.

Toutefois, le nouvel ouvrage ne fait pas l'apologie du progrès scientifique : *Paris au XX^e siècle* est une tragédie montrant la vie d'un jeune homme idéaliste qui lutte pour trouver le bonheur dans le monde féroce et matérialiste qu'est devenu Paris vers 1960. Comme 1984 de George Orwell, ce roman de Verne est un commentaire lugubre et troublant sur le coût humain du progrès technique.

Adressé par Jules Verne, ce message surprend. Beaucoup de ses lecteurs supposent qu'il a vanté les merveilles de la technique, parce qu'il était lui-même un scientifique optimiste. Beaucoup croient aussi qu'il a écrit, principalement pour des enfants, des histoires sans profondeur. Le mythe s'est imposé, éclipsant l'homme.

En fait, Verne n'était ni un scientifique ni un ingénieur : c'était un écrivain, et des plus prolifiques : au cours de sa vie, Verne écrivit plus de 60 romans, méticuleusement fondés sur la réalité, qui inspirèrent de nombreux scientifiques, ingénieurs, inventeurs et explorateurs, tels William Beebe (le créateur et pilote de la première bathysphère), l'amiral Richard Byrd (un pionnier de l'exploration de l'Antarctique), Youri Gagarine (le premier homme ayant volé dans l'espace) et Neil Armstrong (le premier astronaute ayant marché sur la Lune).

Bien que des œuvres aux fondements scientifiques aient été écrites avant les siennes, Verne éleva la technique de la vraisemblance scientifique au rang d'art. Ce type de science-fiction, fondée sur des descriptions minutieuses des progrès scientifiques et techniques, a ensuite dominé le genre. Toutefois l'attachement de Verne aux détails techniques ne résulte pas d'une confiance aveugle dans les vertus de la science. Ses premiers écrits, pièces, essais ou nouvelles, étaient des critiques de la science et de la technique.

C'est son éditeur, Pierre-Jules Hetzel, qui poussa Verne vers le récit narratif qui le rendit célèbre : des aventures au rythme rapide, didactiques et optimistes. Sans

partager cette idée, Verne résista peu à Hetzel. Après la parution de son premier livre en 1863 (le premier d'une série de romans publiés sous le titre *Voyages extraordinaires : Voyages dans les mondes connus et inconnus*), Verne expliqua à ses amis de la Bourse (où il avait été associé à une agence de change) : « Mes amis, je vais vous quitter. J'ai eu l'idée, celle que tout homme, selon Girardin, devrait avoir une fois par jour, et que j'ai eue, moi, une seule fois dans ma vie, l'idée qui doit faire ma fortune. Je viens d'écrire un roman d'une forme nouvelle, bien à moi. S'il réussit, ce sera le filon de la mine d'or. » Ce fut effectivement le filon.

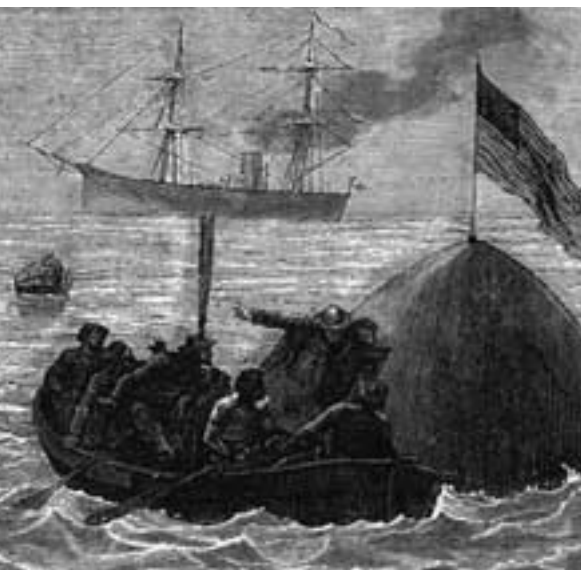
Tant qu'il fut guidé par Hetzel, Verne écrivit des romans qui étaient tous du même type. Cependant, après

Mais, que les Américains prennent garde de se livrer à une destruction exagérée !... Peu à peu les baleines deviendront rares sur ces mers du sud, et il faudra les pourchasser jusqu'au-delà des banquises.

Le Sphinx des glaces

Ron Miller

1. UNE FORMATION ROCHEUSE en forme de lion couché à tête humaine surgit au-dessus de la mer tumultueuse dans *Le Sphinx des glaces*, l'histoire d'un voyage dans l'Antarctique fondé sur *Les aventures d'Arthur Gordon Pym*, d'Edgar Allan Poe. Verne y explique comment la chasse excessive menace les baleines d'extinction.



2. L'AMERRISSAGE décrit dans *Autour de la Lune* (à gauche) ressemble beaucoup à celui qui eut véritablement lieu quand *Apollo 11* (à droite) revint de la Lune, en 1969.

la mort de l'éditeur, en 1886, il revint à ses idées initiales, prônant l'écologie, critiquant le capitalisme, appelant à plus de responsabilité sociale et doutant des avantages réels de la science et de la technique. Comment Verne est-il alors passé pour un adepte des sciences et des techniques ?

Ambitions littéraires

Jules Gabriel Verne est né le 8 février 1828 à Nantes, ville alors prospère. Lorsqu'il eut 18 ans, sa famille l'envoya à Paris pour lui faire suivre les traces de son père, avoué. Toutefois le jeune homme avait d'autres idées. Il acheva ses études de droit, mais il était attiré par le monde littéraire parisien ; encouragé par Alexandre Dumas père et fils, qui étaient ses amis, il rêvait de célébrité littéraire. Sa licence de droit passée, il commença à composer des poèmes et des pièces.

Secrétaire du Théâtre lyrique, il vécut d'abord de leçons, puis il rédigea de courts articles et des nouvelles sur des sujets de science et d'histoire pour un magazine populaire, *Le Musée des familles* : il sélectionnait les bases de ces reportages au cours de longues consultations de livres, de revues scientifiques et de journaux, en bibliothèque. Et, naturellement, il pensa rapidement à utiliser cette documentation technique dans un « roman de la science » qui mêlerait la fiction et les faits, l'aventure et les principes scientifiques. Verne voulait que ce genre nouveau tienne de la fiction à la Feni-

more Cooper, à la Walter Scott et à la Edgar Poe, mais qu'il présente les plus récentes découvertes, explorations et expériences de son époque.

Il comptait ainsi bénéficier de l'engouement du public français pour la science, la technique et l'exploration : pendant cette période d'industrialisation et d'expansion technique rapides, les scientifiques et les ingénieurs étaient devenus les nouveaux héros populaires. Cette mode, à une époque où les sciences étaient peu enseignées dans les écoles publiques (en raison de la longue tutelle de l'Église), avait suscité une forte demande du public.

La méthodologie du premier roman de Verne, *Cinq semaines en ballon*, fut reprise pour tous les romans ultérieurs. Le romancier trouvait lui-même ses idées littéraires, mais il discutait de ses projets avec de nombreux amis et relations. Il consultait notamment son cousin Henri Garcet (un mathématicien), Jacques Arago (explorateur, frère de l'astronome et physicien François Arago) et Félix Tournachon, plus connu des Parisiens sous le pseudonyme de Nadar.

Pionnier de la photographie, aéronaute et président de la *Société d'encouragement pour la locomotion aérienne au moyen d'appareils plus lourds que l'air*, Nadar intéressa Verne aux projets de conquête de l'air et l'introduisit dans son propre cercle d'amis où entraient des ingénieurs aussi éminents que Jacques Babinet, l'inventeur du premier instrument de mesure de l'hu-

midité, et Gabriel La Landelle, dont le projet d'hélicoptère servit ultérieurement de modèle à l'une des machines fictives de Verne. Les discussions avec Nadar et ses amis aidèrent le romancier à rassembler les connaissances techniques qui furent utilisées dans le premier roman.

Verne s'inspira également d'événements de l'époque. Les récits de voyages en ballon, réels ou fictifs, s'étaient popularisés au cours des années 1850 et au début des années 1860. Les journaux français rapportant des découvertes étranges et exotiques en Afrique avaient intéressé un vaste lectorat, qui suivait de près les aventures d'explorateurs intrépides dans ce vaste continent encore mal connu. Verne vit dans ces récits le cadre idéal pour son premier roman d'aventures scientifiques.

Peu après en avoir achevé le manuscrit, en 1862, il eut la chance de rencontrer Hetzel. Verne lui demanda aussitôt s'il voudrait publier l'histoire provisoirement intitulée *Un voyage en l'air* (que son auteur avait été près de détruire, après un refus par une autre maison d'édition). Hetzel accepta et, quelques semaines plus tard, Verne et Hetzel entamèrent une collaboration qui allait durer un quart de siècle. Les textes de Verne (sauf *Cinq semaines en ballon*) furent d'abord publiés dans le nouveau journal de Hetzel, *Le Magazine d'Éducation et de Récréation*.

Dans l'espoir d'obtenir en Angleterre un succès analogue à celui qui avait été rencontré en France, le pério-