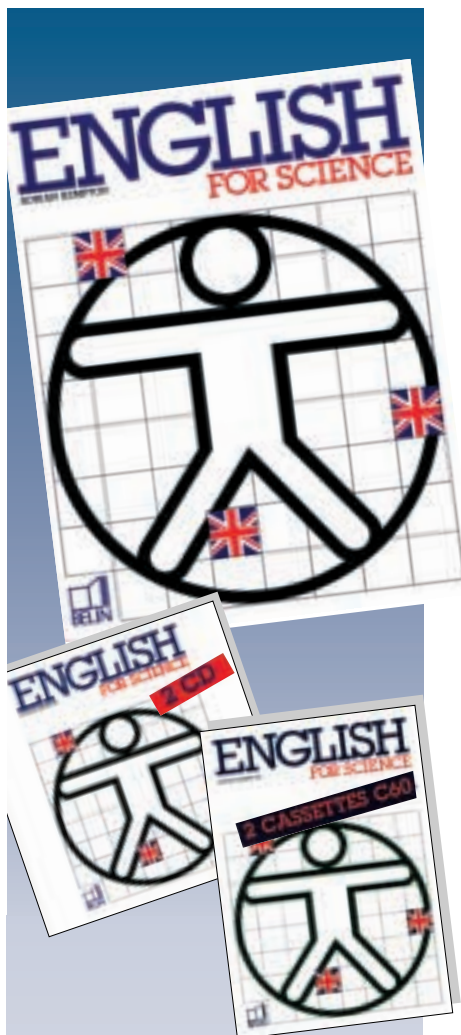




ENGLISH FOR SCIENCE

Enrichissez et améliorez
votre vocabulaire,
maîtrisez les expressions
et la prononciation
de l'anglais scientifique.

Le livre : 256 pages – 135 F **Code 1647**

Le corrigé : 112 pages – 50 F **Code 1648**

2 cassettes : 250 F **Code 0680**

Le CD : 250 F **Code 0699**



Bon de commande en p. 98

damment du degré d'enroulement de la molécule, l'ADN sous-enroulé s'allonge brusquement. Cette transition reflète sans doute la formation de régions d'ADN dénaturé (ce que nous nommons des bulles) dans la structure double hélice standard, dite forme B, en raison d'une dissociation des paires de bases. En absorbant le déficit d'enroulement, ces bulles permettent la relaxation torsionnelle du reste de la molécule. À des forces supérieures (au-delà de un piconewton), l'extension de la molécule est similaire à celle d'un ADN relaxé.

On observe un comportement qualitativement similaire pour une molécule d'ADN surenroulée, mais à des forces d'intensité supérieure. La molécule d'ADN étant chirale (enroulée comme une vis), on s'attend bien à des différences selon qu'on l'enroule dans le sens de l'hélice (surenroulement) ou dans le sens inverse. De fait, à partir d'une force critique de trois piconewtons, environ, la molécule surenroulée s'allonge brusquement. Comme précédemment, cette transition révèle la présence de zones qui absorbent l'excès de surenroulement, probablement par la formation d'une forme plus enroulée que la forme B naturelle ou par dénaturation partielle de la molécule (formation de bulles).

Ces expériences indiquent qu'une molécule d'ADN enroulée et soumise à des tractions relativement faibles peut modifier localement sa structure afin de réduire ses contraintes de torsion. Elles sont en très bon accord avec une théorie récente due à J. Marko et E. Siggia, de l'Université Cornell. Celle-ci décrit l'ADN comme un fil, caractérisé par des modules de flexion et de torsion, en équilibre thermodynamique avec la solution environnante. Les brusques transitions observées dans nos expériences sont bien décrites par les différences d'énergie entre la forme B de l'ADN et ses autres structures.

Autrement dit, nous disposons d'un système expérimental dont la compréhension théorique nous permettra d'aborder des phénomènes plus complexes, telle l'interaction de l'ADN et de certaines protéines, notamment les enzymes topo-isomérases qui assurent la relaxation des contraintes de torsion dans l'ADN, lors de la transcription de la molécule en ARN et de sa réplication.

L'ensemble des résultats présentés ici montrent le rôle considérable que peuvent jouer les propriétés élastiques de l'ADN. Dans les prochaines années, on s'efforcera de comprendre le rôle physique de la superhélicité dans les phénomènes cellulaires aussi fondamentaux que l'initiation de la transcription ou le démarrage de la réplication, et aussi le rôle de l'extensibilité de la molécule dans les phénomènes de reconnaissances mutuelles entre acides nucléiques, par leurs séquences.

Un des aspects fondamentaux de la mécanique cellulaire réside dans l'interaction des protéines et de l'ADN. Les biologistes disposent aujourd'hui de tous les outils permettant de connaître l'agencement chimique des molécules, mais peu de moyens sont à leur disposition pour aborder la dynamique de ces protéines. Quelques belles expériences ont été réalisées récemment : notamment Hong Yin et ses collègues de l'Université Brandeis ont utilisé des pinces optiques pour mesurer la force que peut développer la polymérase en se déplaçant sur l'ADN. Gageons que l'apport des techniques physiques fines à ce domaine de la biologie jouera un rôle important dans l'avenir.

Aaron BENSIMON est à l'Institut Pasteur. Jean-François ALLEMAND, David BENSIMON, François CARON, Vincent CROQUETTE et Terence STRICK sont à l'École Normale Supérieure de Paris. Didier CHATENAY est à l'Institut Curie, à Paris. Jean-Louis VIOVY est à l'ESPCI et à l'Institut Curie. Christophe HELLER est à l'ESPCI. Richard LAVERY et Anne LEBRUN sont à l'Institut de Biologie Physico-Chimique, à Paris.

D. BENSIMON, A.-J. SIMON, V. CROQUETTE et A. BENSIMON, *Stretching DNA with a receding meniscus : Experiments and models*, in *Phys. Rev. Lett.*, vol. 74, pp. 4754-4757, 1995.

C. BUSTAMANTE, J. F. MARKO, E. D. SIGGIA et S. SMITH, *Entropic elasticity of λ -phage DNA*, in *Science*, vol. 265, pp. 1599-1600, 1994.

Ph. CLUZEL, A. LEBRUN, C. HELLER, R. LAVERY, J.-L. VIOVY, D. CHATENAY et F. CARON, *DNA : An extensible Molecule*, in *Science*, vol. 271, 792-794, 1996.

T. STRICK, J. F. ALLEMAND, D. BENSIMON, A. BENSIMON, V. CROQUETTE, *The Elasticity of a single Supercoiled DNA Molecule*, in *Science*, vol. 271, p. 1835, mars 1996.

À la recherche de la vie

ROGER ANGEL • NEVILLE WOOLF

Nous ne connaissons la vie que sur la Terre, mais un nouveau télescope sera lancé dans l'espace pour chercher des signes de vie sur d'autres planètes.

Sommes-nous seuls dans l'Univers? Au début du XVII^e siècle, quand Galilée tourna la lunette qu'il avait inventée vers les cieux, il vit des montagnes sur la Lune et observa que les autres planètes étaient sphériques, comme la Terre. Des peuples habitaient-ils ces mondes extraterrestres? Environ 60 ans plus tard, d'autres contemplateurs du ciel observèrent des calottes glaciaires aux pôles de Mars, ainsi que des variations de couleur de la surface de la planète, qu'ils attribuèrent à des changements saisonniers de végétation (nous savons aujourd'hui qu'elles résultent de tempêtes de poussières). Plus récemment, des caméras embarquées dans des sondes spatiales ont pris des photographies rapprochées de Mars, montrant des canaux creusés par des fleuves disparus depuis longtemps. On a pensé que la vie s'était développée sur Mars, dans un lointain passé, mais les échantillons de sol martien que les sondes *Viking* ont prélevés dans les années 1970 n'ont pas retrouvé de vestiges d'une telle vie. Ailleurs que sur la Terre, la vie terrestre serait impossible dans notre Système solaire.

Et ailleurs qu'autour du Soleil? Après des années d'observations, les astronomes ont détecté des planètes en orbite autour d'étoiles lointaines, sem-

blables au Soleil (voir l'encadré de la page 87). Ces planètes abritent-elles des organismes vivants?

Aujourd'hui le télescope spatial *Hubble*, en orbite autour de la Terre, distingue à peine les montagnes de Mars. Pour obtenir des images suffisamment détaillées du relief de planètes autour d'autres étoiles que le Soleil, il faudrait un réseau de télescopes spatiaux de la taille de l'Europe tout entière. En outre, Carl Sagan, de l'Université Cornell, a calculé que seules des images de très haute résolution pourraient révéler la présence de vie sur la Terre. Des images détaillées pourraient être obtenues par une sonde inhabitée, lancée vers d'autres systèmes planétaires, mais les distances entre la Terre et toute planète extrasolaire sont excessives : on n'obtiendrait les images que dans plusieurs décennies.

Les photographies ne sont cependant pas le meilleur moyen d'étudier la vie extraterrestre ; la spectroscopie, notamment, donne des informations plus globales. Cette méthode consiste à analyser la lumière provenant d'un objet afin de déterminer des caractéristiques telles que la température du corps, la pression de son atmosphère et sa composition chimique.

Les signes de vie les plus faciles à reconnaître seraient des signaux radio

1. UN TÉLESCOPE SPATIAL d'une longueur de 50 à 75 mètres pourrait rechercher la vie sur d'autres planètes que la Terre. L'instrument pourrait être assemblé près de la future station spatiale internationale (en bas à gauche). Par la suite, le dispositif serait placé sur une orbite héliocentrique comparable à celle de Jupiter. Une telle mission constitue l'un des programmes clés de la NASA pour l'étude de systèmes planétaires voisins.



émis par des extraterrestres pour communiquer à travers l'espace interstellaire : facilement discernables des signaux associés aux phénomènes naturels, ils nous permettraient de localiser une vie intelligente ailleurs que sur la Terre. Cependant les surveillances de systèmes planétaires lointains n'ont révélé aucun signal, ce qui indique que les extraterrestres qui maîtrisent les radiocommunications interstellaires ne sont pas légion.

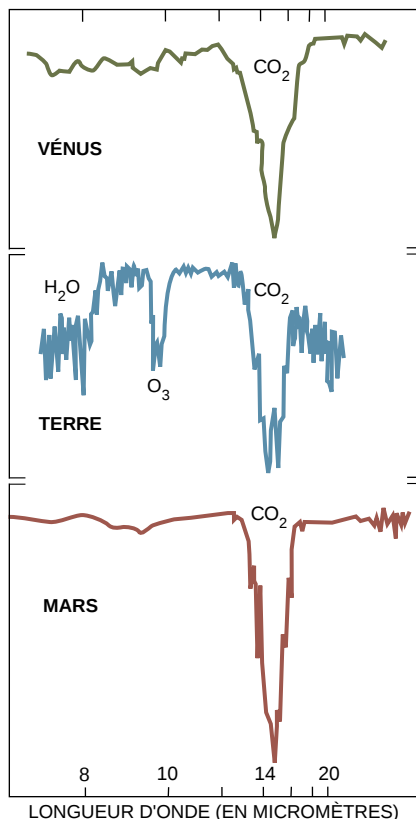
Des planètes abritent-elles alors des formes de vie moins évoluées ? Afin de chercher les traces d'organismes très simples, nous avons proposé un nouveau type de télescope.

Sur notre planète, les formes de vie les plus simples ont modifié l'environnement d'une façon qui serait perceptible par un observateur lointain : au cours du milliard d'années qui a suivi la formation de la Terre, dès la fin du bombardement intensif par les astéroïdes, des organismes primitifs comme les bactéries et les algues avaient recouvert la quasi-totalité du Globe. Ces organismes constituèrent la seule vie terrestre pendant les deux milliards d'années suivants ; par conséquent, si la vie existe sur d'autres planètes, elle pourrait très bien se trouver sous cette forme.

Les algues et l'atmosphère

Les algues bleu-vert terrestres ne maîtrisent pas les communications radio, mais elles modifient la chimie du Globe : en proliférant, elles ont progressivement enrichi l'atmosphère en oxygène. Plus généralement, les organismes les plus élémentaires consomment de l'eau, de l'azote et du dioxyde de carbone, et libèrent de l'oxygène dans l'atmosphère. Or l'oxygène est un gaz chimiquement réactif, dont la concentration chuterait sans un apport continu par les algues et, plus tard dans l'évolution terrestre, par les plantes. Aussi l'abondance d'oxygène dans l'atmosphère d'une planète est un bon indicateur de l'existence d'une forme de vie carbonée.

L'oxygène présent sur une planète modifie le rayonnement de cette dernière. Ainsi une partie de la lumière solaire atteignant la surface terrestre est réfléchie, vers l'espace, à travers l'atmosphère. L'oxygène atmosphérique absorbe une partie de ce rayonnement, de sorte qu'un observateur extraterrestre étudiant par spectro-



2. LA SIGNATURE INFRAROUGE DE LA VIE ne s'observe que sur la Terre : si Vénus, la Terre et Mars possèdent tous trois une atmosphère riche en dioxyde de carbone (CO_2), seule la Terre contient en abondance de l'eau (H_2O) et de l'ozone (O_3), une forme d'oxygène que l'on trouve habituellement dans la haute atmosphère. L'eau est indispensable au maintien d'une vie carbonée ; l'oxygène est un signe de sa présence. Le rayonnement infrarouge émanant de planètes membres de systèmes planétaires lointains pourrait dévoiler d'autres mondes semblables au nôtre.

scopie la lumière réfléchie par la Terre détecterait la présence de l'oxygène.

En 1980, à l'Université d'État de Stony Brook, Toby Owen proposa de rechercher la vie extraterrestre en analysant la lumière rouge réfléchie par les planètes. Puis, en 1993, C. Sagan utilisa le vaisseau spatial *Galileo* pour enregistrer le spectre distinctif de l'oxygène dans la région rouge de la lumière réfléchie par la Terre. Ce signe de vie existe depuis plus de 500 millions d'années. Est-il parfaitement convaincant ?

Des planètes sans vie ne pourraient-elles néanmoins contenir une source non biologique d'oxygène ? Et d'autres formes de vie pourraient-elles ne pas produire d'oxygène ? Des arguments convaincants nous conduisent à supposer que la vie sur d'autres planètes serait fondée sur une chimie semblable à la nôtre, car le carbone se prête remarquablement bien à la construction de

la vie ; il est abondant dans l'Univers, et aucun autre élément connu ne peut former la myriade de molécules stables qui sont nécessaires à la vie que nous connaissons.

À la recherche d'une autre Terre

La présence d'eau sur notre planète a manifestement favorisé le développement de la vie. L'eau est un solvant où les réactions biochimiques se déroulent et elle sert de source d'hydrogène pour la matière vivante. Aussi les planètes comparables à la Terre, en taille et en distance par rapport à leur étoile, sont les pouponnières de vie carbonée dans les autres systèmes planétaires, parce que ces mondes pourraient contenir de l'eau liquide. Trop proches de l'étoile, les planètes sont glacées, et trop éloignées, elles ne contiennent que de la vapeur d'eau.

On peut facilement estimer « l'orbite d'or », c'est-à-dire la distance à laquelle la vie peut se développer comme elle l'a fait sur la Terre. Pour une grosse étoile chaude, 25 fois plus brillante que notre Soleil, une planète rocheuse comme la Terre occuperait à peu près l'orbite de Jupiter. Pour une petite étoile froide, dix fois moins brillante que le Soleil, la bonne orbite serait celle de Mercure.

Toutefois la distance de la planète à son étoile n'est pas une condition suffisante pour l'existence de la vie. L'attraction gravitationnelle de la planète doit, en outre, retenir des océans et une atmosphère. Si la distance à l'étoile était le seul facteur important, la Lune posséderait de l'eau liquide. Or la gravité dépend de la densité et de la taille du corps : comme la Lune est plus petite et moins dense que la Terre, son attraction gravitationnelle est bien inférieure : toute pellicule d'eau ou toute atmosphère qui s'y constituerait s'échapperait rapidement dans l'espace.

Inversement, les grosses planètes attirent les gaz de l'espace. On suppose que Jupiter a crû ainsi, accumulant une énorme enveloppe d'hydrogène et d'hélium. De ce fait, la vie terrestre ne semble pas pouvoir exister sur des planètes gazeuses massives comme Jupiter.

Si nous connaissons assez bien le type de planètes pouvant abriter la vie, nous n'avons encore découvert que peu de planètes autour d'étoiles lointaines, car les meilleures méthodes de détection de ces corps célestes sont fondées