

Votre application **Pour la Science** maintenant disponible dans le kiosque Apple !

Abonnez-vous
sur tablette et smartphone
3 mois
55% de réduction*!



Téléchargez gratuitement l'application sur App Store et Google Play, **et feuilletez gratuitement un extrait du numéro en cours !**



Avec l'application « Pour la Science », retrouvez dès leur sortie le mensuel *Pour la Science* à 4,49 € et son trimestriel *Dossier Pour la Science* à 5,99 € en version numérique optimisée pour tablette : lecture intuitive, sommaire interactif, contenus enrichis, feuilletage hors connexion, etc.

Disponible sur
App Store

DISPONIBLE SUR
Google play



Flashez ce QR code avec votre mobile ou votre tablette pour télécharger immédiatement l'application.

*Soit 4 numéros pour 9,99 € au lieu 20,96 € pour un achat à l'unité.

Quelle est notre place dans

Caleb Scharf

Pour savoir si la vie existe ailleurs dans l'Univers, il faut considérer les conditions de son émergence sur Terre : sont-elles très particulières, ou au contraire très communes ? La réponse est probablement entre les deux.

Nous habitons sur une petite planète en orbite autour d'une étoile ni trop jeune ni trop âgée. Le Soleil n'est qu'un parmi quelque 200 milliards d'astres qui composent ce grand tourbillon de matière qu'est la Voie lactée. Et, d'après les estimations des astronomes, notre galaxie n'est pas unique : plusieurs centaines de milliards d'autres occupent l'Univers observable, un volume qui s'étend maintenant autour de nous dans toutes les directions sur plus de $4,3 \times 10^{23}$ kilomètres.

Ces ordres de grandeur dépassent ce que nous sommes capables de nous représenter. Nous devons être bien naïfs pour penser que nous avons une quelconque importance dans cette immensité. Même dans la longue histoire de l'Univers, la présence de l'homme est modeste et rien ne permet de dire combien de temps il sera encore là. Chercher à déterminer la place que nous occupons dans le cosmos et à y établir notre importance paraît ridicule.

Et c'est exactement ce que nous essayons de faire ! Pourtant, notre apparente banalité est devenue une évidence dès lors que l'astronome polonais Nicolas

L'ESSENTIEL

■ **Le principe copernicien stipule que notre planète n'est pas le centre du monde, mais un membre ordinaire d'un système stellaire quelconque.**

■ **À l'inverse, le principe anthropique souligne que la vie est exceptionnelle : elle n'est possible que pour des valeurs très précises des constantes fondamentales et des caractéristiques de la Terre et du Soleil.**

■ **On doit concilier ces idées contradictoires afin de comprendre la place que nous occupons dans l'Univers, et de savoir si nous y sommes seuls.**

Tim Bower

Copernic (1473-1543) a déchu la Terre de la place qu'on lui attribuait au centre du Système solaire. Son idée a été l'une des avancées majeures de la science de ces derniers siècles et une étape essentielle pour comprendre la structure sous-jacente du cosmos et la nature de la réalité.

Un statut quelconque ou exceptionnel ?

Dans nos efforts pour déterminer notre importance, nous sommes confrontés à une contradiction : certaines découvertes et théories suggèrent que la vie pourrait fort bien n'avoir rien d'exceptionnel, alors que d'autres indiquent le contraire. Comment faire la synthèse de toutes nos connaissances, depuis les bactéries jusqu'au Big Bang, pour expliquer si oui ou non nous avons un statut particulier ? Et à partir du moment où notre place dans l'Univers serait mieux définie, quelles en seraient les implications pour la recherche d'organismes vivants ailleurs dans l'Univers ?

Depuis Copernic, notre vision du monde s'est enrichie dans de nombreux domaines.

I'Univers ?



■ L'AUTEUR



Caleb SCHARF
est directeur
du Centre
d'astrobiologie
de l'Université
Columbia,
à New York aux États-Unis.

Cet article est adapté de son
livre *The Copernicus complex :
our cosmic significance
in the Universe of planets
and probabilities*,
Scientific American/Farrar,
Straus and Giroux, 2014
[© Caleb Scharf, 2014].

Au XVII^e siècle, le commerçant et savant néerlandais Antoni van Leeuwenhoek a été le premier à observer des bactéries avec des microscopes de sa fabrication et à entrer dans le microcosme, un monde très différent du nôtre. Cette plongée remarquable vers les petites dimensions, jusque dans l'univers qui prospère à l'intérieur de notre organisme, a livré les premières indications que les composants de notre corps, les cellules, se trouvent à une extrémité du spectre de l'échelle biologique. Jusqu'à cette découverte stupéfiante de Leeuwenhoek, je doute que les hommes aient eu l'occasion de réfléchir en détail à la structuration du vivant.

Ainsi, lorsqu'il est question de taille, l'homme, 10 millions à 100 millions de fois plus grand que les bactéries, est plus proche du haut de l'échelle du vivant, dominée par les arbres et les baleines. S'agit-il d'une place particulière dans le monde du vivant, à la frontière entre la diversité complexe du biologiquement petit et les options limitées du biologiquement grand ?

En astronomie, la question de la place de l'homme se généralise à celle du vivant. Pourquoi la vie est-elle apparue sur Terre et dans le Système solaire ? L'émergence de la vie est-elle banale, donc probablement répandue dans l'Univers, ou nécessite-t-elle des conditions très spéciales, ce qui la rendrait rare dans le cosmos ?

Le Système solaire n'est pas si banal

Le Système solaire se distingue des autres systèmes planétaires connus (*voir la figure ci-contre*) à plusieurs égards. Le Soleil n'appartient pas à une famille d'étoiles parmi les plus répandues (la plupart sont moins massives, *voir la figure page 66*). Les orbites des planètes du Système solaire sont plus circulaires et plus espacées que dans la plupart des systèmes exoplanétaires, et nous ne comptons pas de super-Terre (une planète rocheuse plus grande que la Terre) parmi nos voisines planétaires. Des planètes de ce type sont présentes dans au moins 60 % des systèmes planétaires, mais pas dans le nôtre. Si vous étiez architecte de systèmes planétaires, vous considéreriez le Système solaire comme rare, un peu hors norme.

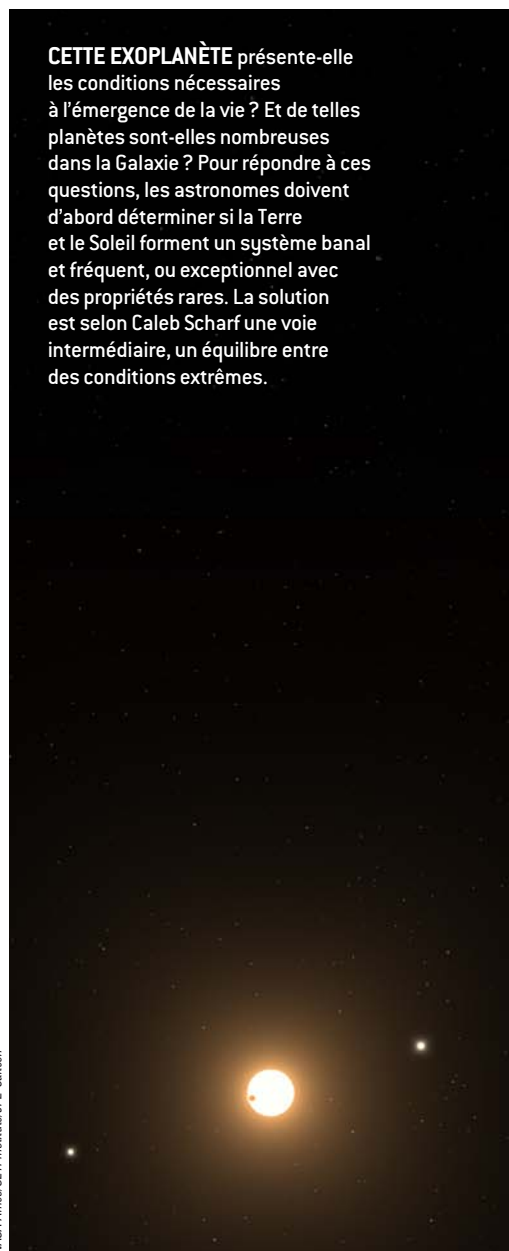
Par ailleurs, le Système solaire a échappé à un réarrangement à grande

échelle impliquant un changement des orbites planétaires : on observe dans de nombreux systèmes des planètes géantes qui se sont rapprochées de leur étoile et que l'on nomme jupiters chauds. Si le passé du Système solaire a été plutôt calme, cela ne garantit pas que son futur sera paisible. Les simulations indiquent que dans quelques centaines de millions d'années, notre système connaîtra peut-être une période plus chaotique.

Et inéluctablement, dans cinq milliards d'années, le Soleil se dilatera car il aura épuisé ses réserves d'hydrogène, ce qui modifiera radicalement les propriétés de son cortège

CETTE EXOPLANÈTE présente-elle les conditions nécessaires à l'émergence de la vie ? Et de telles planètes sont-elles nombreuses dans la Galaxie ? Pour répondre à ces questions, les astronomes doivent d'abord déterminer si la Terre et le Soleil forment un système banal et fréquent, ou exceptionnel avec des propriétés rares. La solution est selon Caleb Scharf une voie intermédiaire, un équilibre entre des conditions extrêmes.

NASA Ames/SETI Institute/JPL-Caltech



de planètes. Tout indique qu'aujourd'hui, nous sommes à une transition entre une période de jeunesse stellaire et planétaire et le stade de décrépitude à venir. Notre existence dans cette période de calme relatif n'est, rétrospectivement, pas si surprenante. Comme avec de nombreux autres aspects de notre situation, nous vivons dans un endroit où tout est modéré, tempéré: ni trop chaud ni trop froid, chimiquement ni trop caustique ni trop inerte, dynamiquement ni trop instable ni trop immuable.

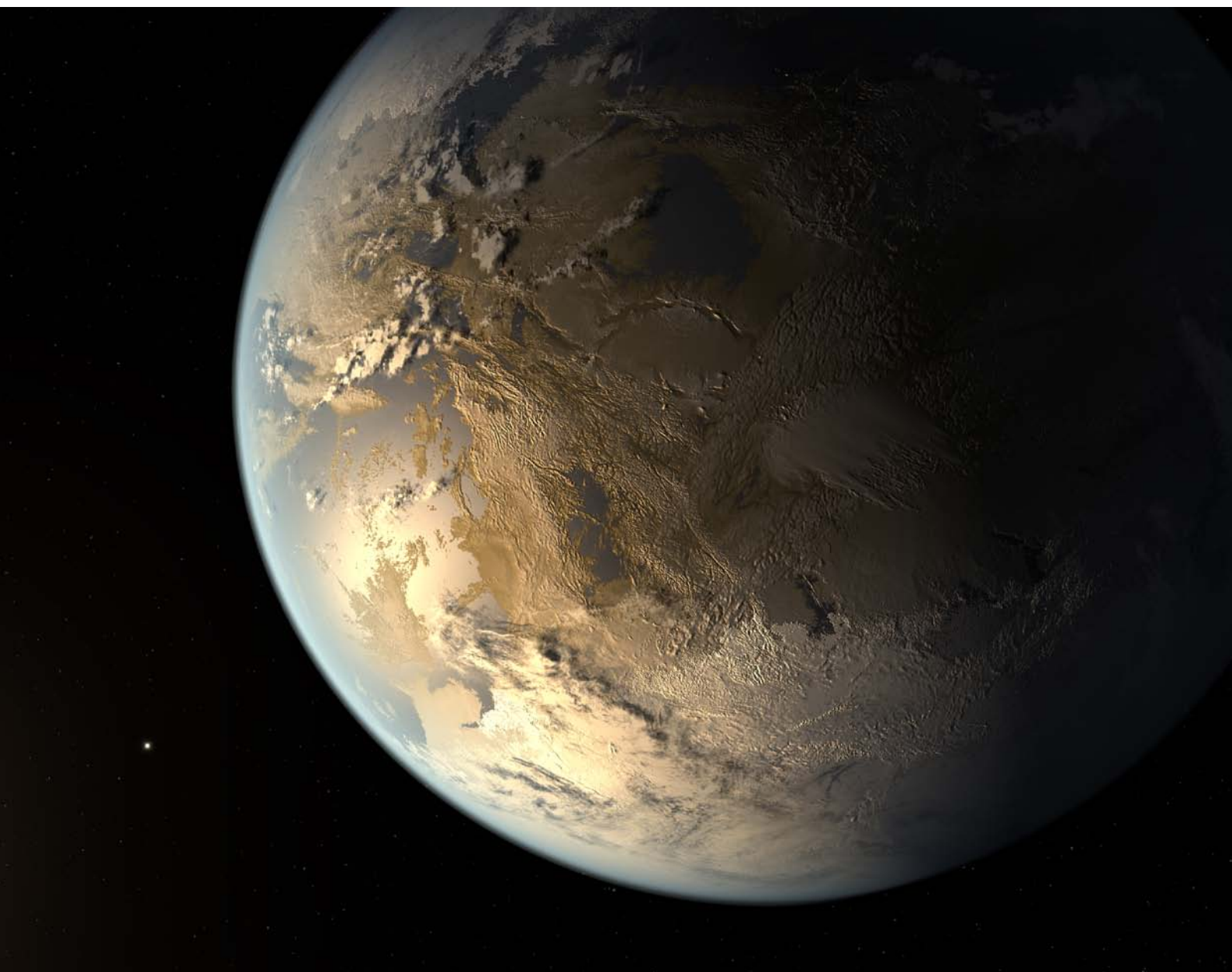
Il est également clair que cette notion de voisinage astrophysique calme s'étend bien au-delà. Dans le cadre de l'Univers

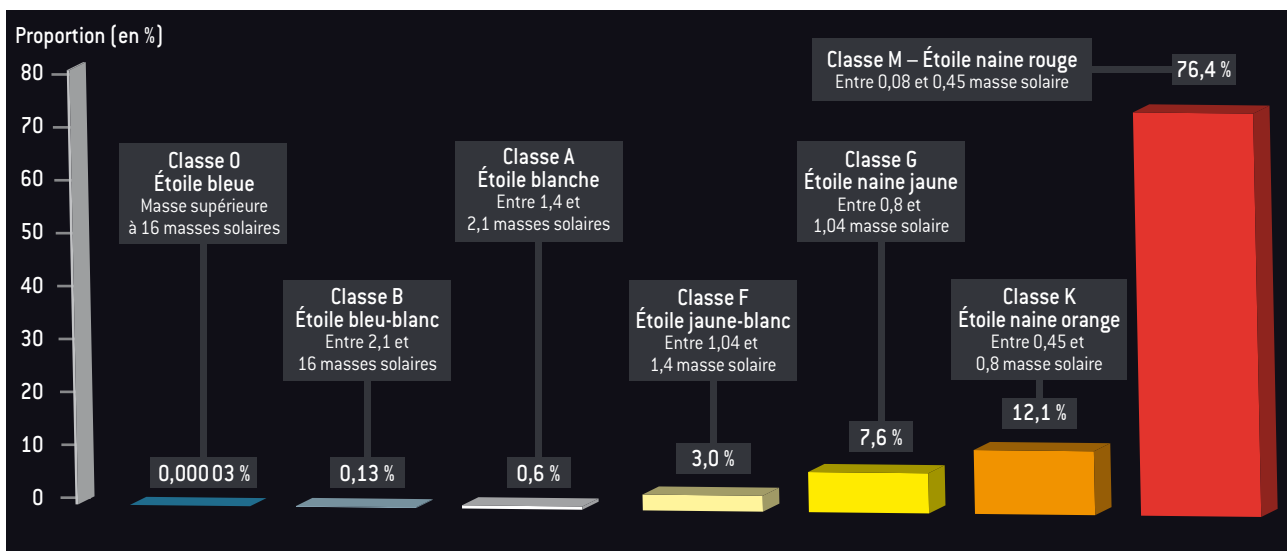
tout entier, nous nous situons après la jeunesse tumultueuse du cosmos jeune et brûlant. Partout, la production d'étoiles ralentit. Le taux de formation de nouveaux soleils avec leurs planètes ne s'élève plus qu'à trois pour cent de ce qu'il était il y a 8 à 11 milliards d'années.

Il y a cinq ou six milliards d'années, la vitesse d'expansion de l'Univers diminuait. Maintenant, nous nous trouvons dans une période de transition avec une vitesse qui repart à la hausse. L'énergie sombre, provenant du vide lui-même, accélère la croissance de l'espace, ce qui contribue à entraver le développement de grandes

structures cosmiques. Cela signifie aussi que la vie est condamnée à se retrouver, dans un futur lointain, dans une partie isolée de l'Univers.

Si l'on prend en compte toutes ces observations, il est clair que la vision que nous avons de notre microcosme et du cosmos est limitée et subjective. C'est la vue que l'on a depuis un étroit perchoir. Et de fait, notre capacité à appréhender le monde en termes d'événements aléatoires et statistiques est largement influencée par les conditions d'ordre, de désordre, d'espace et de temps dans lesquelles nous vivons. En outre, le fait que nous soyons isolés de





Pour la Science

LES ÉTOILES SONT RÉPARTIES EN CLASSES en fonction de leurs propriétés (spectre électromagnétique, masse, etc.). Un recensement des étoiles au voisinage du Soleil montre que ce dernier, de classe G, n'appartient pas à la famille la plus répandue dans la Galaxie. Sur ce graphique, seules les étoiles les plus communes, dites de la « séquence principale », sont répertoriées.

toute forme de vie extraterrestre (au point que nous n'en ayons jamais repéré une trace jusqu'à présent) a des implications profondes sur les conclusions que nous pouvons tirer.

Des conditions uniques

Une bonne partie de nos observations concourent à la vision copernicienne selon laquelle nous n'avons rien d'exceptionnel.

Toutefois, certains détails de notre environnement suggèrent le contraire. Cela a conduit à la formulation du principe anthropique, l'idée que certaines des constantes fondamentales de la nature semblent « ajustées » de telle façon que les propriétés de l'Univers favorisent l'apparition et l'épanouissement de la vie sur Terre.

En effet, si ces paramètres étaient légèrement différents, la nature du cosmos serait bouleversée. Si l'intensité de la gravitation était un tant soit peu modifiée, il ne se formerait ni étoiles ni éléments lourds, ou alors des étoiles énormes naîtraient et disparaîtraient rapidement, ne laissant rien d'intéressant dans leur sillage, ni descendance ni point de départ pour la vie. De la même façon, si la force électromagnétique était différente, les liaisons entre atomes seraient trop faibles ou trop fortes pour que se construisent les structures moléculaires si diverses dont est rempli notre monde.

Que conclure de toutes ces contradictions ? J'aurais tendance à dire que les faits nous poussent vers une nouvelle vision scientifique de notre place au sein du cosmos, qui se démarque à la fois des principes copernicien et anthropique ; et je pense que cette vision est en passe de devenir elle-même un principe que nous pourrions nommer principe cosmo-chaotique, à mi-chemin entre l'ordre (rappelons que *kósmos* signifie « ordre » en grec) et le chaos.

L'idée essentielle est que la vie, et en particulier la vie telle que nous la connaissons sur Terre, se situera toujours à la frontière ou à l'équilibre entre des états définis par des caractéristiques telles que l'énergie, les dimensions, l'espace, le temps, l'ordre et le désordre. Des facteurs tels que la stabilité ou le chaos des orbites planétaires, les variations du climat et la géophysique d'une planète, sont des manifestations directes de ces caractéristiques. Dès que l'on s'éloigne un peu trop, dans un sens ou dans l'autre, de ces conditions d'équilibre, la possibilité d'émergence de la vie disparaît et l'on est plongé dans un milieu hostile. Pour que des organismes vivants se développent, il faut le bon mélange d'ingrédients, de calme et de chaos – le yin et le yang adéquats.

Cette approche rejoint en substance ce que les anglophones nomment le « Goldilocks principe », le « principe Boucles d'or » qui s'inspire du conte pour enfants et qui

Le
principe
d'équilibre entre
l'ordre et le chaos
suggère que la vie n'est
ni rare ni fréquente
dans l'Univers.

stipule que les conditions du « juste milieu » sont préférables. En astrobiologie, cela se traduit par un environnement cosmique tempéré pour une planète tournant autour d'une étoile. Mais de telles conditions ne correspondent qu'à une plage étroite de paramètres. En outre, la zone hospitalière ne serait pas statique. Elle évoluerait dans le temps et l'espace au gré de la combinaison et des variations de plusieurs paramètres.

Une carte des zones fertiles

Si l'équilibre des conditions est une règle universelle pour l'apparition de la vie, cela soulève de curieuses possibilités en ce qui concerne notre importance cosmique. Contrairement aux idées coperniciennes strictes, qui soulignent notre banalité et suggèrent donc une abondance de situations similaires dans le cosmos, le fait que la vie nécessite une combinaison subtile et dynamique de paramètres réduit les possibilités. Les chances de voir apparaître la

vie dans le cadre de cette nouvelle vision se différencient aussi des idées anthropiques qui, dans leur version la plus extrême, ne prédisent qu'une seule occurrence de la vie dans tout l'espace et le temps.

Cette nouvelle règle identifie les endroits où la vie devrait se développer et la fréquence à laquelle cela devrait se produire. Elle spécifie les caractéristiques fondamentales nécessaires pour la vie en fonction des nombreux paramètres variables : elle dessine la carte des zones fertiles.

Une telle règle ne confère pas aux organismes vivants un statut à part. Certes, la biologie est sans doute le phénomène physique le plus complexe de cet univers-ci, mais cela ne va peut-être pas plus loin qu'une structure naturelle particulièrement complexe qui apparaît dans les bonnes circonstances, quelque part entre l'ordre et le chaos. Et cette conceptualisation de la place de la vie dans la nature résout le paradoxe apparent entre les arguments convaincants selon lesquels la vie doit être abondante et ceux qui la supposent extrêmement rare. ■

■ BIBLIOGRAPHIE

C. Scharf, **Les bienfaits des trous noirs**, *Pour la Science*, n° 420, octobre 2012.

L. Krauss et G. Starkman, **Le destin ultime de la vie**, *Pour la Science*, n° 269, mars 2000.



Direction de l'innovation et des relations avec les entreprises

cnrs formation entreprises

16 axes de formation

Statistiques, informatique et big data
Modélisation et SIG
Génie logiciel
Electronique, optique, métrologie
Matériaux et molécules : mise en oeuvre
Matériaux et molécules : caractérisation
Microscopies
Chromatographies
Spectroscopie en analyse
Spectrométrie de masse
Résonance magnétique nucléaire
Biologie
Bioinformatique
Expérimentation animale
Qualité, environnement
Sécurité, radioprotection

Des formations aux technologies de pointe pour les ingénieurs et les techniciens

Des stages de courte durée (3 à 5 jours), se déroulant dans les laboratoires du cnrs, en effectifs réduits (env. 10 stagiaires)

Une pédagogie basée sur l'expérimentation

La possibilité de stages organisés en intra-entreprise

cnrsformation.cnrs.fr

cfe.contact@cnrs.fr 01.69.82.44.55

L'animal une colonie d'organismes ?

Stéphane Schmitt

Au XIX^e siècle, des naturalistes proposèrent qu'à l'image
des coraux ou des salpes, la plupart des animaux
soient constitués d'organismes plus petits.
Cette théorie coloniale s'est perpétuée jusqu'à aujourd'hui.

Coraux, éponges, ascidies... De nombreux organismes animaux, appartenant à des groupes aquatiques divers, présentent une organisation singulière : ils vivent en colonies. Le principe est toujours le même : un individu initial se multiplie de manière asexuée et les individus résultants restent associés les uns aux autres, constituant une sorte de super-organisme, parfois de taille considérable.

Chez certaines espèces, tous les individus sont identiques et bien discernables. C'est le cas des polypes du corail, par exemple. Chez d'autres, tels les siphonophores du zooplancton (voir les figures pages 69, 71 et 72), il se produit une spécialisation des individus : certains assurent la reproduction sexuée, d'autres la nutrition, etc. Ce processus va parfois si loin que la colonie prend l'aspect d'un organisme unique, dont les différents individus, très difficiles à discerner, représentent en quelque sorte des « organes ».

Les naturalistes ont mis en évidence cette particularité dans les premières décennies du

L'ESSENTIEL

- Certains organismes marins vivent en colonies, où ils n'ont parfois pas tous la même fonction.
- Au début du XIX^e siècle, partant de ce constat, des naturalistes ont imaginé que tout animal était une colonie d'animaux élémentaires.
- Loin d'anéantir cette idée, la théorie de l'évolution de Darwin l'a renforcée.
- Encore aujourd'hui, la théorie coloniale nourrit les réflexions de biologistes.

XIX^e siècle chez plusieurs espèces animales qu'on jugeait alors « inférieures », telles les salpes ou les ascidies (des animaux marins). Mais très vite, certains se sont demandé si ce type d'organisation n'était pas universel et si les organismes « supérieurs » n'étaient pas eux aussi des colonies d'organismes élémentaires plus petits, spécialisés au point d'être méconnaissables.

Des animaux composés d'animaux

Cette théorie coloniale n'est qu'une des nombreuses propositions qui ont fleuri à l'époque pour expliquer l'origine des formes animales. Toutefois, contrairement à d'autres, elle a survécu aux bouleversements successifs des sciences du vivant, tel l'avènement de la théorie de l'évolution. Elle s'en est même trouvée renforcée et s'est perpétuée jusqu'à nos jours.

L'année 1830 est célèbre dans l'histoire des sciences de la vie en raison de la vive