

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

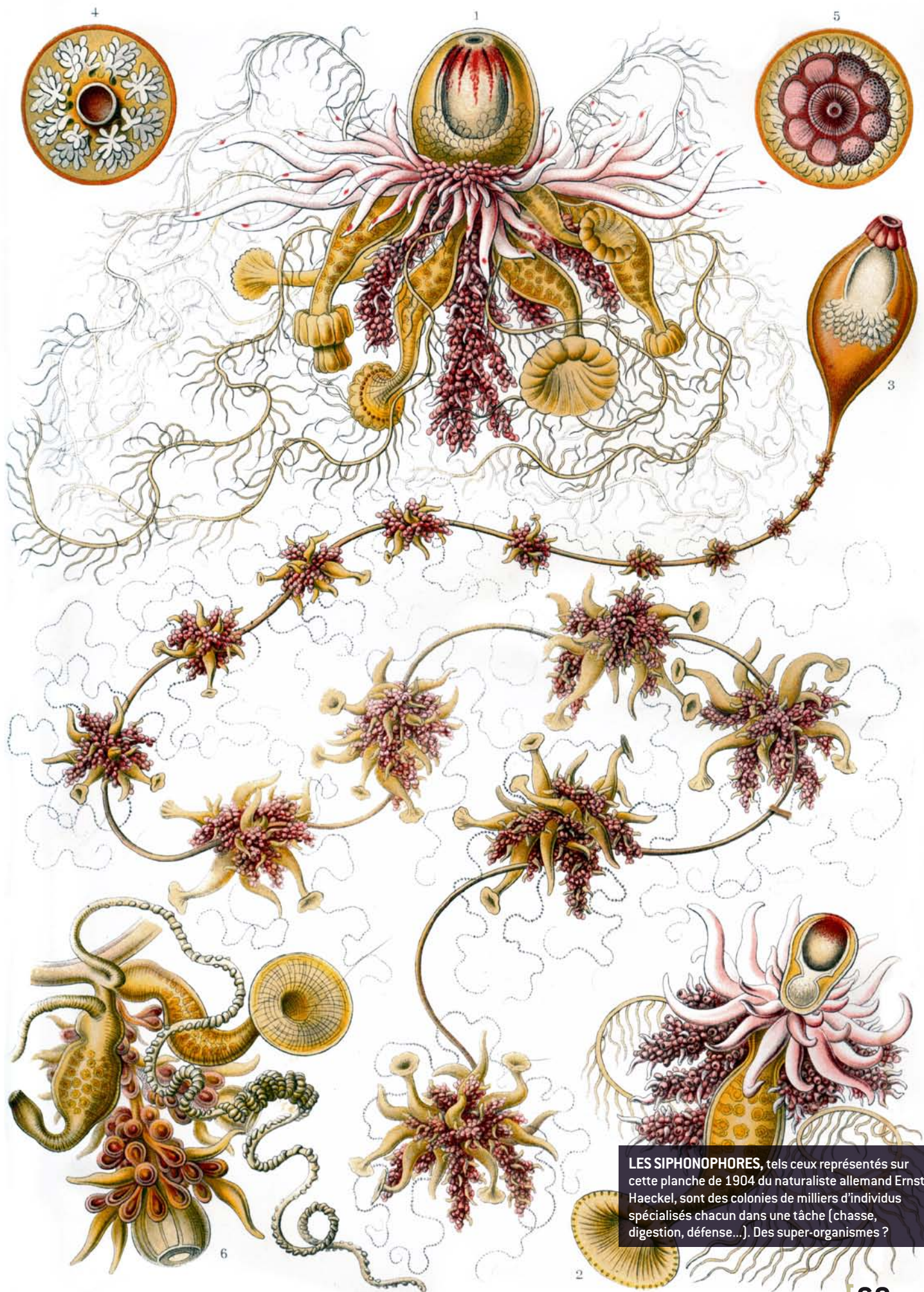
- Certains organismes marins vivent en colonies, où ils n'ont parfois pas tous la même fonction.
- Au début du XIX^e siècle, partant de ce constat, des naturalistes ont imaginé que tout animal était une colonie d'animaux élémentaires.
- Loin d'anéantir cette idée, la théorie de l'évolution de Darwin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



LES SIPHONOPHORES, tels ceux représentés sur cette planche de 1904 du naturaliste allemand Ernst Haeckel, sont des colonies de milliers d'individus spécialisés chacun dans une tâche (chasse, digestion, défense...). Des super-organismes ?

controverse qui opposa alors deux des plus éminents savants français de l'époque, Georges Cuvier et Étienne Geoffroy Saint-Hilaire. Les historiens, notamment l'Américaine Toby Appel dans les années 1980, ont montré que de profondes fractures politiques et sociales sous-tendaient cette querelle, dont la médiatisation avait été bien au-delà de la communauté scientifique. Mais si l'on s'en tient au domaine scientifique, l'enjeu fondamental de ce débat était le sens à donner à la diversité des plans d'organisation – la disposition relative des différents éléments constitutifs de l'organisme – dans le règne animal.

Pour Geoffroy, en dépit de leurs différences, tous les groupes d'animaux se rattachaient à un même type général, commun, valable aussi bien pour les insectes et les mollusques que pour les vertébrés. Cuvier, au contraire, considérait qu'il existait des plans d'organisation bien distincts, irréductibles les uns aux autres, et que l'anatomie d'un vertébré, par exemple, était radicalement différente de celle d'un arthropode. La querelle s'éteignit sans véritable vainqueur en raison de la Révolution de 1830, puis de la mort de Cuvier deux ans plus tard ; mais la question qu'elle avait soulevée demeura au devant de la scène et suscita toutes sortes de réflexions sur la morphologie des êtres vivants.

Par ailleurs, vers la même époque, on mit en évidence l'organisation coloniale de divers organismes, tels les siphonophores, étudiés par le voyageur et naturaliste français Charles-Alexandre Lesueur, ou les salpes, par le romancier allemand Adelbert von Chamisso. Les découvertes se multiplièrent dans les années 1820 et 1830, nourrissant la réflexion sur la notion d'individualité dans le monde animal.

C'est dans ce contexte qu'un médecin et naturaliste montpelliérain, Alfred Moquin-Tandon, publie en 1827 une *Monographie de la famille des Hirudinées* où, frappé par le caractère répété de l'organisation de la sangsue, non seulement dans sa morphologie externe segmentée, mais aussi dans son anatomie interne, il propose d'y voir non pas un être simple mais « un animal composé d'un certain nombre d'animaux »

■ L'AUTEUR



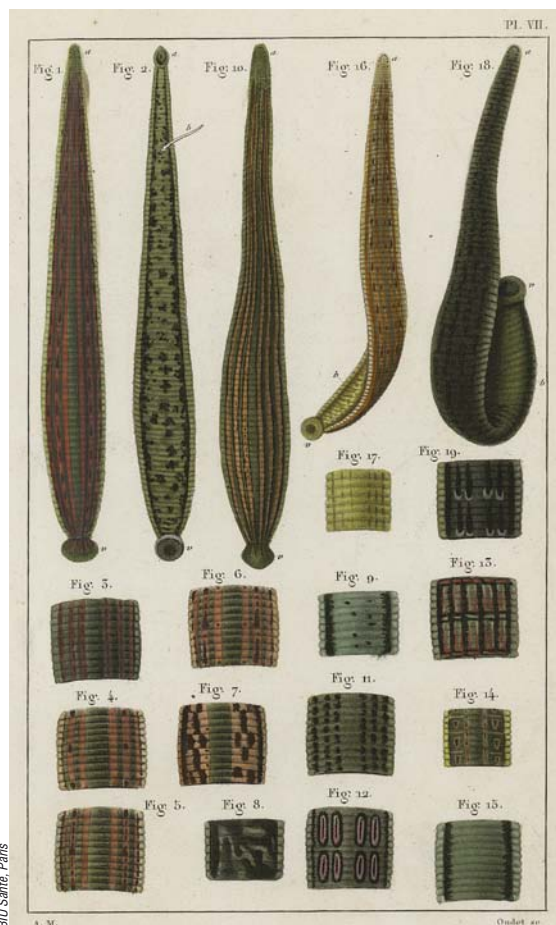
Stéphane SCHMITT est directeur de recherche au laboratoire SPHERE (UMR 7219, CNRS), à l'Université Paris-Diderot.

(voir la figure ci-dessous). Pour désigner ces animaux élémentaires correspondant aux segments de la sangsue, il introduit un nouveau concept, celui de « zoonite ». Selon lui, il existe donc dans les animaux segmentés « deux espèces de vie », les « vies particulières » des différents zoonites et la « vie générale » de l'ensemble.

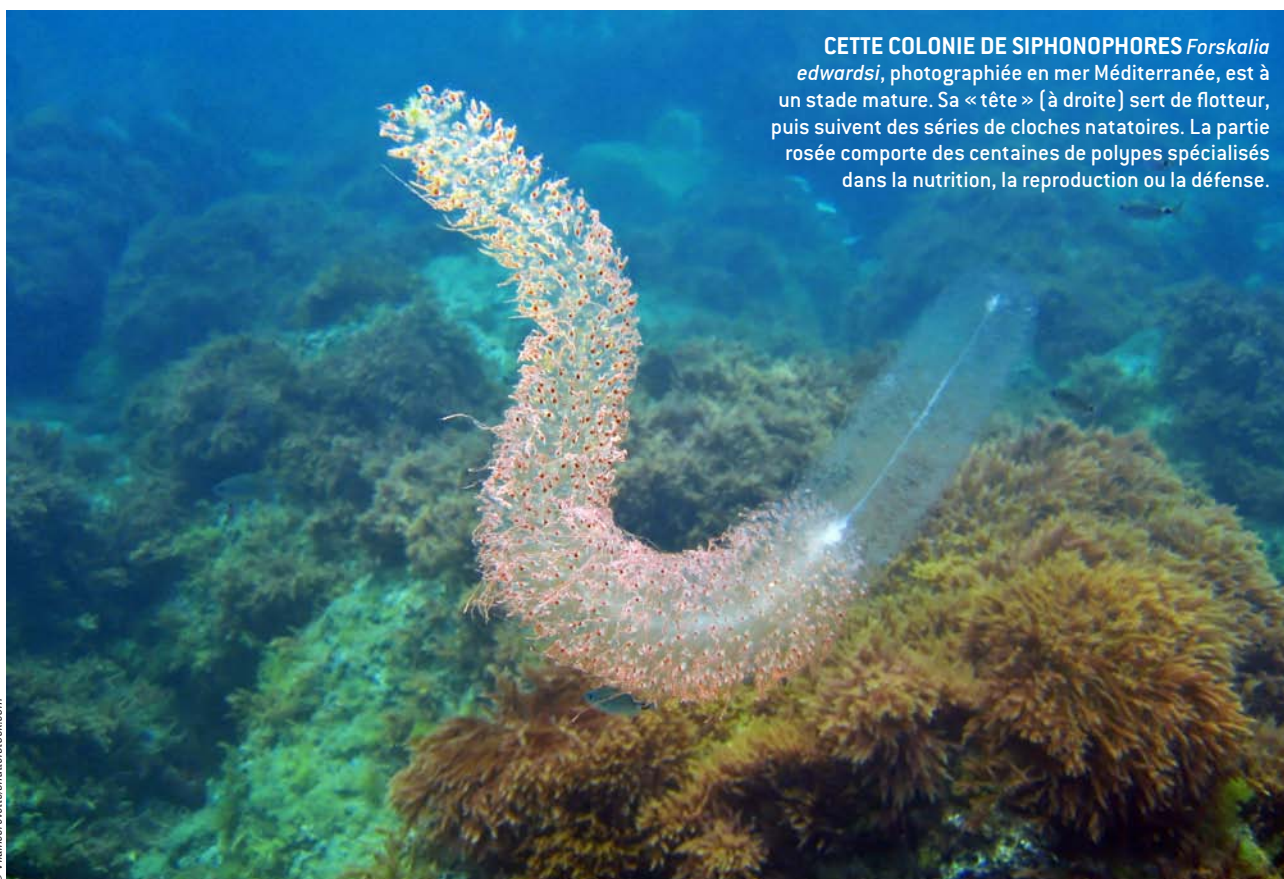
Ces notions vont faire l'objet d'une réflexion plus poussée de la part d'un ami de Moquin-Tandon, Antoine-Louis Dugès, également médecin à Montpellier. Dugès emprunte à son collègue la notion de zoonite, mais en fait la clef de voûte d'une théorie plus générale sur l'organisation des animaux, publiée en 1832 dans son *Mémoire sur la conformité organique dans l'échelle animale*.

Selon lui, tout animal est composé d'organismes plus petits, les zoonites, pourvus chacun des principaux organes vitaux. Les espèces les plus simples, telles les ascidies non coloniales, ne comportent qu'un zoonite. Les animaux plus complexes, tels les arthropodes ou les vertébrés, en comprennent un nombre plus ou moins grand, accolés les uns aux autres et éventuellement spécialisés dans la réalisation de certaines fonctions. Chez les arthropodes, les annélides et d'autres espèces, on reconnaît assez bien cette organisation plurielle ; en revanche, dans les groupes les plus élaborés (notamment les vertébrés), elle est à peine décelable et l'association est si parfaite que seuls quelques indices, telle la répétition des côtes et des vertèbres, révèlent l'existence primordiale des zoonites.

Dans l'esprit de Dugès, cette théorie de la conformité organique réconcilie les vues de Geoffroy Saint-Hilaire et de Cuvier. Au premier, il emprunte l'idée qu'il y a bien une constante dans l'organisation de tous les animaux. Du second, il retient l'impossibilité de comparer les anatomies entières d'un mollusque, d'un insecte et d'un vertébré, par exemple : l'unité morphologique des animaux se manifeste uniquement à l'échelle des zoonites dont ils sont constitués. Dans certains groupes tels les vertébrés, ces zoonites sont disposés en file ; dans d'autres, ils sont en cercle (anémones de mer) ou en



CHACQUE SEGMENT D'UNE SANGSUE serait un petit animal, propose en 1827 le médecin Alfred Moquin-Tandon dans sa *Monographie de la famille des Hirudinées* (ici, une planche de l'édition de 1846).



CETTE COLONIE DE SIPHONOPHORES *Forskalia edwardsi*, photographiée en mer Méditerranée, est à un stade mature. Sa « tête » [à droite] sert de flotteur, puis suivent des séries de cloches natatoires. La partie rosée comporte des centaines de polypes spécialisés dans la nutrition, la reproduction ou la défense.

formation irrégulière, etc. Ces différents types se combinent parfois et il arrive qu'un même animal passe par différents types au cours de son développement.

L'évolution renforce la théorie coloniale

À cette époque, diverses théories transformistes émergent en Europe : alors que l'on admettait auparavant que les espèces étaient immuables depuis l'origine du monde, plusieurs savants en Angleterre, en Italie et en France ont, dès la fin du XVIII^e siècle, formulé l'hypothèse d'une transformation graduelle des formes de vie. En 1809, notamment, le naturaliste Jean-Baptiste Lamarck a construit, dans sa *Philosophie zoologique*, une théorie où il explique comment la vie se complexifie et se diversifie au fil de telles transformations.

Toutefois, les réflexions de Dugès ne sont pas liées à ces théories transformistes. Pour lui, le processus de coalescence des zoonites n'est pas survenu au cours d'une éventuelle évolution. Il s'agit d'une organisation idéale des animaux, et non du résultat d'une histoire. Pour autant, quelques décennies plus tard,

cette conception coloniale de la morphologie animale sera reformulée sans difficulté dans le cadre du transformisme triomphant.

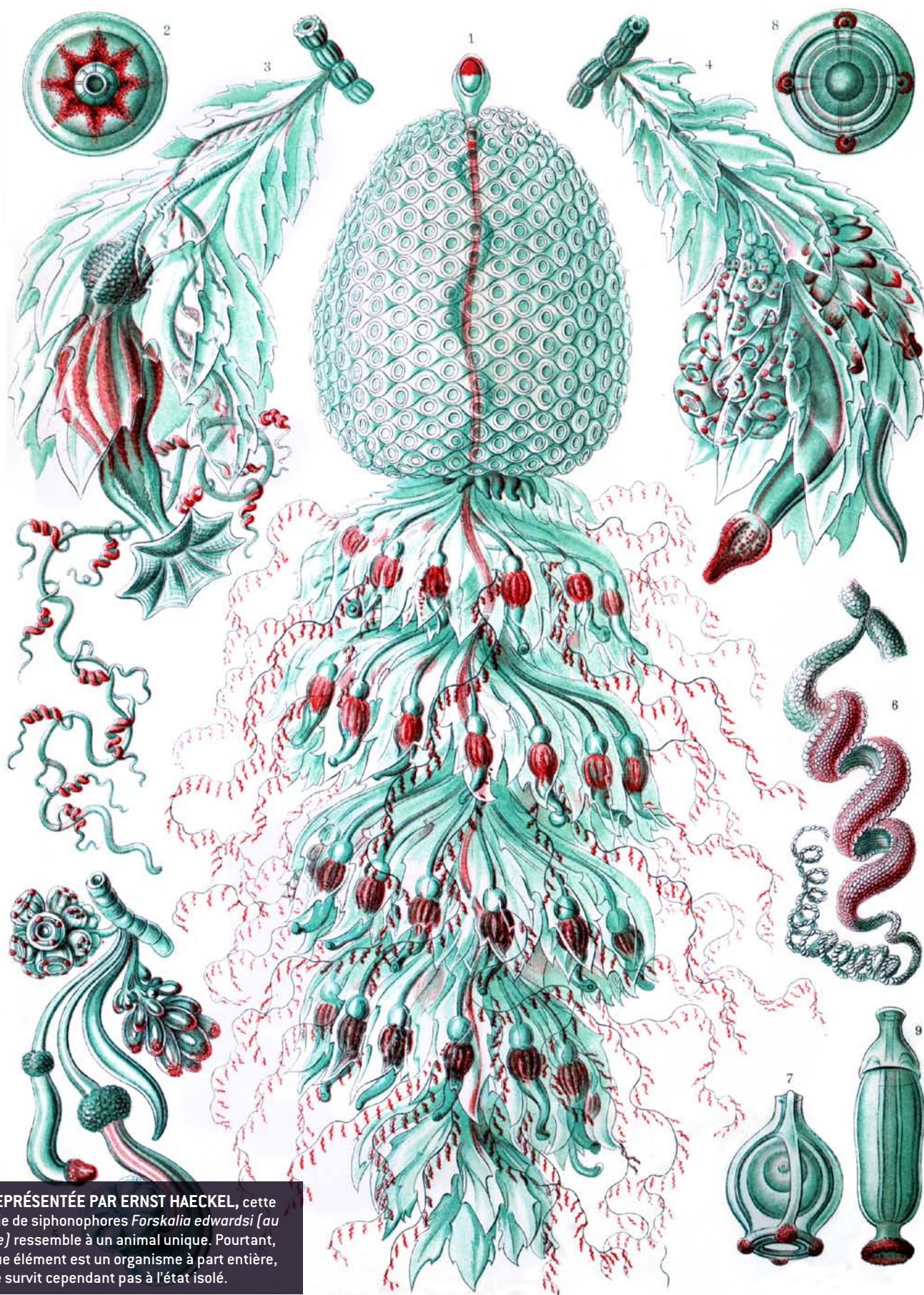
En effet, après la parution de l'*Origine des espèces* de Darwin, en 1859, la théorie de l'évolution connaît un progrès rapide dans les milieux scientifiques. En une quinzaine d'année, même si toutes les conceptions darwiniennes (notamment la sélection naturelle) ne font pas l'unanimité, la majorité des biologistes admet que les espèces évoluent.

Dans ce contexte, de nombreux concepts nés dans un cadre qui n'avait rien de transformiste, tels que l'idée d'unité de plan des animaux (la théorie de Geoffroy Saint-Hilaire selon laquelle tous les animaux sont bâtis sur un même modèle) ou les homologues (telle partie d'un insecte correspond à telle partie d'un ver-tébré), sont réinterprétés. Par exemple, la notion d'un type idéal commun à tous les animaux acquiert une réalité physique : ce type n'est plus seulement une vue de l'esprit, mais l'ancêtre commun à tous ces animaux, dont ils ont hérité une organisation générale unique.

De même, l'évolution offre à la théorie de Dugès un sens nouveau, puisqu'il est désormais possible de considérer qu'il a réellement existé, au cours de l'histoire de la vie, un processus d'agrégation en colonie d'organismes élémentaires. Ainsi, à la fin du XIX^e siècle, plusieurs auteurs proposent des théories coloniales. L'un des plus emblématiques est le zoologiste français Edmond Perrier, professeur au Muséum national d'histoire naturelle, qui tente de reconstruire toute la phylogénie

« Tout animal est composé d'organismes plus petits, les zoonites, pourvus chacun des organes vitaux. »

animale selon ce principe. Dans un ouvrage au titre explicite, *Les Colonies animales et la formation des organismes* (1881), il explique que les animaux sont composés d'unités microscopiques, les « plastides » (qui correspondent *grosso modo* aux cellules), elles-mêmes organisées en unités d'ordre supérieur, les « mérides » (correspondant à peu

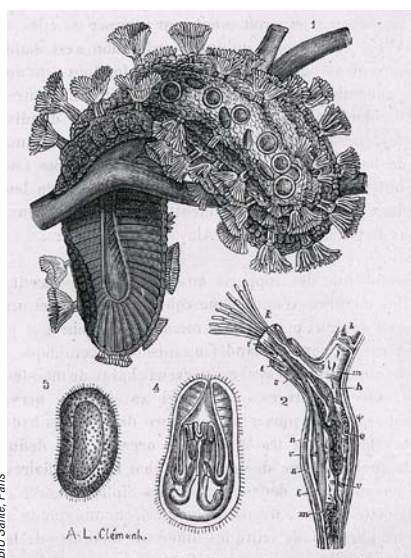


ICI REPRÉSENTÉE PAR ERNST HAECKEL, cette colonie de siphonophores *Forskalia edwardsi* [au centre] ressemble à un animal unique. Pourtant, chaque élément est un organisme à part entière, qui ne survit cependant pas à l'état isolé.

près aux zoonites de Dugès). Les mérides sont donc des « sociétés de plastides » où chaque plastide peut se différencier et se spécialiser dans la réalisation d'une tâche particulière.

Les animaux les plus simples sont formés d'un seul méride. Mais un méride ne peut excéder une certaine taille : par conséquent, dès que les dimensions et la complexité des animaux augmentent, lors du développement embryonnaire ou de l'évolution, il se produit une division des mérides par bourgeonnement. Or soit cette division va jusqu'à son terme, produisant alors des mérides indépendants, soit les mérides restent associés entre eux, produisant alors des colonies que Perrier nomme des zoïdes.

Dans ces zoïdes, les mérides restent peu différenciés, comme chez les vers de terre, aux segments semblables et bien reconnaissables, ou, au contraire, ils présentent une forte différenciation et une division du travail. Par ailleurs, les mérides s'ordonnent différemment selon l'espèce : en arborescence, en rayons, en ligne... La plupart des animaux



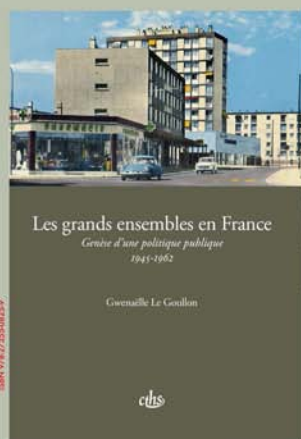
POUR EDMOND PERRIER, les bryozoaires (ici sur une planche de l'édition de 1898 de son livre *Les colonies animales*) sont des colonies de colonies de colonies de micro-organismes, les plastides. Ensemble, ces animaux aquatiques ont l'aspect de mousses alvéolaires, et plusieurs espèces contribuent à la formation des récifs coralliens.

supérieurs, notamment les vertébrés, représentent de telles colonies linéaires, où les mérides sont si bien agrégés et différenciés que l'origine coloniale du corps n'apparaît plus que dans la répétition de quelques structures (vertèbres, côtes, nerfs crâniens et rachidiens...). Enfin, dans certains groupes (les bryozoaires, par exemple, voir la figure ci-contre), le même processus de division et de spécialisation conduit à la formation de colonies de zoïdes, que Perrier nomme « dèmes ».

La théorie coloniale de Perrier ressemble donc à celle de Dugès, ce que Perrier lui-même met en avant dans un ouvrage d'histoire des sciences (*La Philosophie zoologique avant Darwin*, 1884). Les deux principales différences sont, d'une part, l'existence chez Perrier d'une hiérarchie plus complexe de niveaux d'organisations (des plastides aux dèmes) et, d'autre part, l'introduction de la dimension phylogénétique. Ainsi, la référence à l'évolution, désormais centrale dans la biologie postdarwinienne, n'a aucunement éliminé les conceptions antérieures,

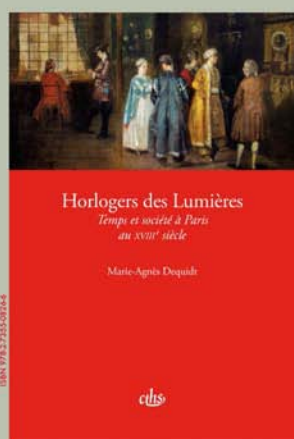
Éditions du Comité des travaux historiques et scientifiques

une collection complète d'instruments de travail pour la recherche en sciences humaines



Les grands ensembles en France
Gwenaëlle Le Goullon

360 pages
15 x 22 cm
br.
28 €



Horlogers des Lumières
Marie-Agnès Dequidt

400 pages
15 x 22 cm
br.
29 €

Éditions du Comité des travaux historiques et scientifiques • ventes@cths.fr • vente en librairie ou sur notre site : www.cths.fr • Distribution Sodis

Du ver de terre à la division du travail

L'essor de la théorie coloniale à partir des années 1830 est intimement lié à l'émergence des sciences sociales vers la même époque. Plusieurs naturalistes établissent un parallèle entre les sociétés et les organismes vivants, conçus comme des associations d'éléments plus simples.

Ce thème apparaît par exemple chez le zoologiste français Henri Milne-Edwards, qui fonde pour une large part sa conception de l'organisme animal sur la « loi de division du travail ». Il compare l'organisme à une usine et les organes à des ouvriers, chacun ayant un rôle précis et se voyant attribuer une tâche particulière qu'il exerce avec d'autant plus d'aptitude qu'il n'a pas à se soucier des autres travaux. « Le principe suivi par la nature dans le perfectionnement des êtres, dit-il, est le même que celui si bien développé par les économistes modernes et, dans ses œuvres aussi bien que dans les produits de l'art, on voit les

avantages immenses de la division du travail. » L'influence des grandes théories économiques de cette époque de révolution industrielle, notamment celles d'Adam Smith, est manifeste.

Ce lien étroit se renforce encore après 1859, enrichi de la dimension historique grâce à la diffusion du transformisme. L'analogie entre les sociétés humaines et les colonies animales est par exemple une constante du discours d'Edmond Perrier, qui introduit toute une terminologie métaphorique autour de ce thème. Il décrit ainsi les *zoonites* spécialisés d'une colonie comme des « fonctionnaires », qui certes dépendent du reste

de la colonie pour leur subsistance, mais « dont l'utilité pour la colonie peut être de premier ordre, car ils deviennent les instruments de sa puissance et lui assurent, en définitive, la victoire dans la lutte pour la vie ».

De même, lorsqu'il écrit que des colonies de plastides ou de mérides ne peuvent dépasser une certaine taille et que celles qui peuvent bourgeonner « ont l'avantage sur les autres, car elles répartissent sur un grand nombre d'individus les mauvaises chances au lieu de les accumuler sur un seul », l'analogie est frappante avec le discours contemporain sur l'expansion coloniale des nations européennes. À l'époque, ce discours apparaît à certains comme une sorte d'exutoire nécessaire à l'excédent de population, une alternative à la limitation des naissances proposée par Malthus.

Inversement, de nombreux sociologues ont recours à la métaphore biologique, tel Herbert Spencer, qui compare la coalescence des segments des crustacés à la fusion des royaumes anglo-saxons au Haut Moyen-Âge. En 1893, dans *De la division du travail social*, le Français Émile Durkheim établit un parallèle entre le degré de complexité des sociétés humaines et celui des organismes : de même que la segmentation des animaux inférieurs (les vers), où chaque segment est capable d'assurer toutes les fonctions, évolue vers une différenciation croissante des segments chez les animaux supérieurs, les sociétés passent, au cours de l'histoire, d'un stade primitif dans lequel chaque individu est à peu près polyvalent, à un état plus évolué caractérisé par la division du travail et la « solidarité organique ».

■ BIBLIOGRAPHIE

S. Schmitt, *Histoire d'une question anatomique : la répétition des parties*, MNHN, 2004.

I. B. Cohen (éd.), *The Natural Sciences and the Social Sciences : Some Critical and Historical Perspectives*, Kluwer, 1994.

T. A. Appel, *The Cuvier-Geoffroy Debate. French Biology in the Decades before Darwin*, Oxford University Press, 1987.

mais leur a donné une nouvelle jeunesse en leur procurant un cadre explicatif concret.

Le cas de la théorie coloniale révèle une autre grande tendance des sciences de la vie de la fin du XIX^e siècle : si l'idée d'évolution est bien admise, le scénario darwinien de la sélection naturelle, qui suppose un caractère aléatoire et non orienté de l'évolution, a, lui, plus de mal à s'imposer. Dans l'histoire phylogénétique imaginée par Perrier, l'évolution correspond nécessairement à un processus de complexification croissant, à une acquisition progressive de niveaux d'organisation de plus en plus élaborés, semblable à ce qui se produit dans l'évolution des sociétés humaines (*voir l'encadré ci-dessus*).

Cette conception plutôt lamarckienne de l'évolution est dominante non seulement chez les biologistes français qui, à l'exemple de Perrier, se réclament de Lamarck, mais aussi chez des auteurs qui se prétendent darwiniens, tel l'Allemand Ernst Haeckel dont les conceptions présentent de nombreux points communs avec celles de Perrier.

Après 1900, comme la plupart des théories qui ont tenté à l'époque d'expliquer l'origine des formes animales, la théorie coloniale a connu un lent déclin à mesure que de nouvelles approches et disciplines (notamment la génétique, puis la biologie moléculaire) se sont répandues et ont relégué au second plan la morphologie traditionnelle.

Mais elle n'est pas morte pour autant. Elle s'est perpétuée et a continué à avoir des partisans tout au long du XX^e siècle. Mieux encore, avec le regain d'intérêt pour la phylogénie survenu après 1980, notamment grâce à l'essor de la biologie développementale de l'évolution, elle se trouve de nouveau invoquée. Par exemple, Thurston Lacalli, de l'Université du Saskatchewan au Canada, propose dans une série d'articles parus depuis 1997 une théorie coloniale de l'origine des vertébrés, suggérant que la structure segmentée de leurs embryons serait homologue à certaines colonies linéaires de tuniciers tels que les salpes. Inépuisable, l'idée de Dugès s'adapte encore et toujours au contexte scientifique... jusqu'à quand ? ■



LA MARCHÉ DES SCIENCES

DÉCOUVERTES, INVENTIONS, AVENTURES SAVANTES AU FIL DE L'HISTOIRE



AURÉLIE LUNEAU
CHAQUE JEUDI
14H - 15H

Écoute, réécoute, podcast
franceculture.fr



La sélection de livres

■ POUR LA SCIENCE

Avez-vous déjà rencontré « Chury » ? Regardé le monde à travers le prisme de la physique ? Grâce à cette sélection de livres, continuez à explorer la science avec gourmandise.



De la Joconde aux tests ADN, jusqu'où ira la chimie ?

Stéphane Sarrade

Réf. 74650884

Surveillance de notre santé, traque des polluants de notre environnement, détection des fraudes alimentaires, résolution d'affaires criminelles... : jusqu'où donc ira la chimie analytique ? Pour autant, peut-on tout mesurer ?

Éditions Le Pommier 2015
128 pages – 7,90 € - 978-2-7465-0884-2



Le robot, meilleur ami de l'homme ?

Rodolphe Gelin

Réf. 74650883

Quel chemin reste-t-il à parcourir aux chercheurs en robotique pour que les robots humanoïdes, censés nous aider dans notre vie quotidienne, deviennent de véritables compagnons ?

Éditions Le Pommier 2015
128 pages – 7,90 € - 978-2-7465-0883-5



Nouveauté

La mission Rosetta le défi de l'E

À l'aube des années 2010, autour d'un détail d'un royaume n'a jamais été observé. Ce sera d'abord l'Europe, puis la NASA, l'Agence spatiale européenne (ESA) et enfin les premiers programmes scientifiques d'exploration spatiale à long terme. L'ESA a choisi les quatre « grandes origines » qui structurent son programme pour les vingt à trente ans à venir : une mission d'exploration humaine, la mission la plus ambitieuse de l'histoire de l'humanité, la mission de la comète de Halley (2012-2013), la mission de la comète de Hartley 2 (2014-2015), la mission de la comète de Churyumov-Gerasimenko (2018-2029).

Une histoire mouvementée

L'histoire de la mission Rosetta commence au début des années 1980, lorsque l'Agence spatiale européenne (ESA) a lancé son premier programme scientifique d'exploration spatiale à long terme. L'ESA a choisi les quatre « grandes origines » qui structurent son programme pour les vingt à trente ans à venir : une mission d'exploration humaine, la mission la plus ambitieuse de l'histoire de l'humanité, la mission de la comète de Halley (2012-2013), la mission de la comète de Hartley 2 (2014-2015), la mission de la comète de Churyumov-Gerasimenko (2018-2029).

La mission Rosetta est une mission d'exploration spatiale à long terme. Elle a été lancée en 2004 et a atteint la comète de Churyumov-Gerasimenko en 2014. Elle a été la première mission à se poser sur une comète.



À la rencontre des comètes

De Halley à Rosetta

Thérèse Encrenaz et James Lequeux

Réf. 70119206

Que nous apprennent les comètes sur les premiers âges du Système solaire ? Comment les scientifiques ont-ils finalement découvert le secret de leur trajectoire ? Et que savons-nous de leur origine ? Un livre à la pointe de l'actualité, écrit par deux vulgarisateurs hors pairs.

Éditions Belin 2015
160 pages – 22,90 € - 978-2-7011-9206-2

En partenariat avec les éditeurs

Belin:
ÉDITEUR INDÉPENDANT
DEPUIS 1777

Éditions
Le Pommier

Pour commander ces ouvrages www.pourlascience.fr/librairie

ou en renvoyant le bon de commande ci-contre.



La logique

Gilles Dowek

Réf. 74650878

Les outils et les méthodes de la logique, pour comprendre le sens du raisonnement.

Éditions Le Pommier 2015
128 pages - 7 € - 978-2-7465-0878-1



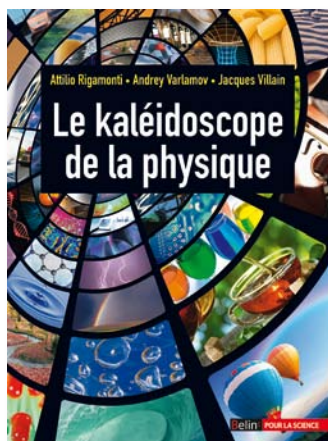
Drôle de chimie ! (nouvelle édition)

Pierre Laszlo

Réf. 74650882

Nourrir, vêtir, soigner, chauffer, transporter l'humanité, les 19 chapitres de ce livre nous permettent de faire la part des risques et des bienfaits d'une industrie trop peu connue. Cette édition est entièrement mise à jour.

Éditions Le Pommier 2015
400 pages - 10 € - 978-2-7465-0882-8



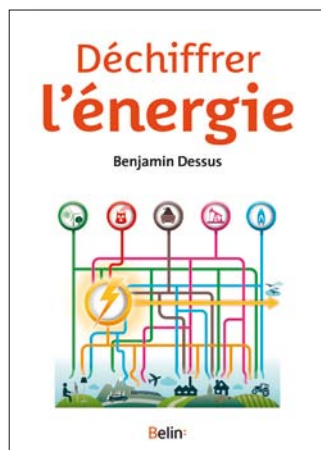
Le kaléidoscope de la physique

Andrey Varlamov,
Attilio Rigamonti et
Jacques Villain

Réf. 70116487

Pourquoi les cours d'eau dessinent-ils des méandres ? Comment faire chanter un verre à pied ? Que se passe-t-il lors de la cuisson d'un rôti ? Est-il possible de déguster un plat de pâtes al dente en haut de l'Everest ? Et d'y boire un bon café ? Toutes ces questions, et bien d'autres, trouvent leur réponse dans ce livre.

Éditions Belin 2014
256 pages - 27 € - 978-2-7011-6487-8



Déchiffrer l'énergie

Benjamin Dessus

Réf. 70116440

Par l'un des meilleurs spécialistes du sujet, voici une synthèse unique, richement illustrée de graphes et schémas explicatifs, pour s'y retrouver dans l'avalanche de chiffres et de données et comprendre les enjeux cruciaux de la transition énergétique.

Éditions Belin 2014
384 pages - 29,90 € - 978-2-7011-6440-3

BON DE COMMANDE

À retourner accompagné de votre règlement à :
Groupe Pour la Science • 628 avenue du Grain d'Or • 41350 Vineuil

☐ **Oui, je commande les livres** présentés dans la sélection de *Pour la Science*. Je reporte les titres, prix et références à 6 chiffres correspondant aux ouvrages choisis :

Titre	Réf.	Prix
		€
		€
		€
		€
		€
Frais de port (4,90 € France - 12 € étranger)		+ €
Total à régler		= €

J'indique mes coordonnées :

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

C.P. : _____ Ville : _____

Pays : _____ Tél.* : _____

E-mail* : _____

@ _____

*pour recevoir la newsletter Pour la Science (à remplir en majuscules).

Je choisis mon mode de règlement :

☐ par chèque à l'ordre de *Pour la Science*

☐ par carte bancaire

Numéro _____

Date d'expiration _____

Cryptogramme _____

Signature obligatoire



En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès du groupe *Pour la Science*. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'organismes partenaires. En cas de refus de votre part, merci de cocher la case ci-contre ☐

Tous ces livres sont également disponibles en librairie.

LOGIQUE & CALCUL

De l'art avec les fractales

L'exploration de l'univers mathématique des fractales avec un ordinateur est un art analogue à la découverte esthétique du monde avec un appareil photo.

Jean-Paul DELAHAYE

On ne crée pas les objets mathématiques, on les découvre, affirme un philosophe réaliste des mathématiques. Pourtant, leur variété est si grande qu'accéder aux plus intéressants ou aux plus beaux exige un délicat savoir-faire et du talent.

Nul ne met en doute que les motifs géométriques et décoratifs islamiques, que l'on admire par exemple à l'Alhambra de Grenade ou au palais de la Bahia à Marrakech, sont l'œuvre de grands artistes. Ces structures mathématiques préexistaient à leur matérialisation sur les murs, mais leur sélection parmi l'infinité des possibilités est un acte artistique créateur.

Qui est le dessinateur ?

Adoptons une posture analogue pour les « images fractales » qui, comme les pavages décoratifs, sont des structures géométriques déterminées par des formules, et examinons quelques questions sur le sujet :

– L'auteur doit-il être le concepteur du programme qu'il utilise ? En appuyant sur quelques touches du clavier, a-t-il sélectionné un jeu de paramètres qui, après les calculs menés par la machine, lui a fourni un dessin susceptible d'être obtenu par n'importe qui ?

– Les créateurs des images ne sont-ils pas ceux qui ont inventé les formules et écrit les programmes, travail délicat et long ?

– Le calcul et donc les mathématiques sont-ils à l'origine de ces splendeurs, et cet art est-il sans créateur ?

Nous répondrons *non* à chacune de ces questions !

Comme pour tous les arts géométriques, dont celui des mosaïques de Grenade, le fait que l'œuvre soit identifiable comme un objet géométrique ou mathématique ne doit pas contredire l'idée que des artistes ont choisi et exposé une forme ; il a fallu travailler, explorer et faire preuve d'imagination. Une maîtrise technique et un travail minutieux ont été nécessaires pour

JÉRÉMIE BRUNET A CRÉÉ POUR CET ARTICLE cette image intitulée *Treasure*. Il s'agit d'une *Mandelbox*, un objet fractal à trois dimensions découvert par Tom Lowe en 2010 ; la fonction que la *Mandelbox* itère a la particularité d'utiliser des transformations conformes de l'espace [transformations qui conservent les angles]. La richesse des structures de la *Mandelbox* et sa capacité à produire des variantes intéressantes en ont fait une des formules préférées des créateurs de fractales 3D. Les paramètres numériques utilisés pour cette image sont plus simples que ceux de la formule « standard ». L'artiste a recherché une harmonie graphique en épurant la formule au maximum tout en maintenant une grande diversité des motifs.

La *Mandelbox* est expliquée par exemple dans un article de Jos Leys (<http://images.math.cnrs.fr/Mandelbox.html>) et dans le livre de Jérémie Brunet.

Toutes les illustrations sont de Jérémie Brunet

