

PETITE GÉOMÉTRIE DES PARFUMS

BRIGITTE PROUST

PETITE
GÉOMÉTRIE
DES PARFUMS

OUVRAGE PUBLIÉ AVEC LE CONCOURS
DU MINISTÈRE DE LA CULTURE ET DE LA COMMUNICATION
(CENTRE NATIONAL DU LIVRE
ET CITÉ DES SCIENCES ET DE L'INDUSTRIE)
DANS LE CADRE DU FOND JULES VERNES

ÉDITIONS DU SEUIL
27, rue Jacob, Paris VI^e

ISBN 2-02-080279-1

© ÉDITIONS DU SEUIL, OCTOBRE 2006

Le Code de la propriété intellectuelle interdit les copies ou reproductions destinées à une utilisation collective. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite par quelque procédé que ce soit, sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants cause, est illicite et constitue une contrefaçon sanctionnée par les articles L.335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

www.seuil.com

Extrait de la publication

à Blandine et Clotilde

Introduction

Nous possédons tous un détecteur d'odeurs exceptionnel. Alors même que nous avons presque perdu l'usage de notre nez, nous commençons tout juste à en comprendre la merveilleuse complexité. La sensation olfactive est bien différente des autres sensations. À la fois fugace et persistante, son souvenir nous surprend toujours au plus intime de notre être.

Grâce aux progrès des neurosciences, nous savons que l'odeur naît d'une rencontre moléculaire : les molécules légères émises par les corps odorants qui nous entourent et nos propres molécules tapies au fond de notre nez. Ces objets microscopiques sont plus accessibles qu'il n'y paraît ; pour les décrire quelques lettres suffisent : C, H, O, N, S, P constituent l'alphabet de base du chimiste. Ce sont les symboles des éléments sélectionnés par le vivant pour se construire. Il est par ailleurs facile de trouver, sur internet par exemple, leur formule moléculaire complète en échange de leur nom : la chimie est langage. La chimie est aussi mouvement : nous disposons aujourd'hui de logiciels gratuits qui nous permettent de les dessiner pour les représenter en trois dimensions et de les animer. Au fil des ans, les chimistes ont accumulé des milliers d'expériences étonnantes, et les modèles moléculaires, qui viennent en complément de ces expériences, nous surprennent souvent par leur beauté formelle. La chimie, enfin, est culture. Ce livre est une invitation à flairer et à confronter nos images olfactives avec la géométrie des molécules qui les suscitent. Bien sûr, ces représentations sont purement conven-

tionnelles : un atome n'a ni forme définie ni couleur particulière – et une molécule non plus ! Mais cela n'empêche pas ce petit jeu avec la matière d'éclairer parfois de façon décisive l'énigme chimique de l'odorat.

1. Vous avez dit odeur ?

Volupté des parfums ! Oui, toute odeur est fée.
Si j'épluche, le soir, une orange échauffée,
Je rêve de théâtre et de profonds décors.

François Coppée

Alors qu'il tentait de dégager la tête du mammoth Jarkov à l'aide d'un simple sèche-cheveux, Bernard Buigues, directeur de l'expédition *Mammuthus*, fut saisi à la gorge par une odeur âcre et forte : « J'ai du mal à la définir. Ce n'est pas une odeur de putréfaction. C'est... soudain je me revois, enfant, visitant le zoo de Vincennes. C'est ça ! Cette odeur me rappelle l'odeur de la litière des éléphants ou des fauves... » Après datation, on comprit que la fourrure rousse de ce mammoth laineux, miraculeusement congelé dans le sol de Sibérie, avait conservé intacte une odeur vieille de plus de 20000 ans !

Pour exceptionnelle que soit cette rencontre aux confins du désert glacé, elle nous est familière car nous avons tous des histoires semblables à raconter. Seules les odeurs peuvent ainsi ressusciter comme par magie des souvenirs enfouis. Le champ olfactif est immense car nous sommes capables de reconnaître et mémoriser environ dix mille odeurs différentes. Depuis notre naissance (et sans doute avant, *in utero*) nous les collectionnons, les associons et les interprétons. En fait, chacun d'entre nous a accumulé assez de données expérimentales intimes pour explorer son

cinquième sens et aborder les questions essentielles : Qu'est-ce qu'une odeur ? Comment fait notre nez pour la capter ? Pourquoi la mémoire des odeurs est-elle si vive ?

Les fleurs, les animaux, les hommes, n'ont une odeur que s'ils diffusent dans l'air un peu de leur substance. À l'origine d'une odeur, il y a toujours un mélange de molécules émises par une source. Toutes les molécules inspirées ne sont pas aptes à déclencher la sensation olfactive. Il faut d'abord qu'elles frappent la zone sensible, grande comme un timbre-poste, qui se trouve en haut des fosses nasales et qu'on appelle l'épithélium olfactif. Ensuite il faut qu'elles soient accrochées au passage par les capteurs de molécules qui tapissent cette zone. Si elles sont reconnues par ces capteurs, cela déclenche instantanément un signal, spécifique à chaque molécule, qui sera ensuite décodé par le cerveau. Puis la sensation s'évanouit, les molécules étant chassées ou dégradées, seul reste leur souvenir.

Puisque la molécule est le premier maillon de la chaîne odorante, serait-il possible de « voir » l'odeur sur sa formule ? La première condition pour qu'une molécule ait une chance d'être flairée est qu'elle diffuse dans l'air à température ambiante. Pour cela elle ne doit pas être trop grosse. Par exemple la paraffine, ce solide blanc que l'on coule sur les pots de confiture pour les conserver, est constituée principalement d'hydrocarbures à longues chaînes : sa molécule comporte en moyenne vingt-cinq atomes de carbone et cinquante-deux atomes d'hydrogène. Cette molécule est trop lourde pour diffuser dans l'air, elle n'est pas volatile. On peut considérer qu'au-dessus d'une masse d'environ trois cents fois celle de l'atome d'hydrogène (le plus léger des atomes), une molécule n'est pas assez volatile pour être inhalée.

Mais la volatilité n'est pas un critère suffisant. Les cellules olfactives baignent dans le mucus, un liquide constitué à 98 % d'eau. Il apparaît maintenant une deuxième condition pour qu'une molécule soit odorante : elle doit être soluble dans le mucus afin de parvenir en quantité suffisante jusqu'à son capteur.

VOUS AVEZ DIT ODEUR ?

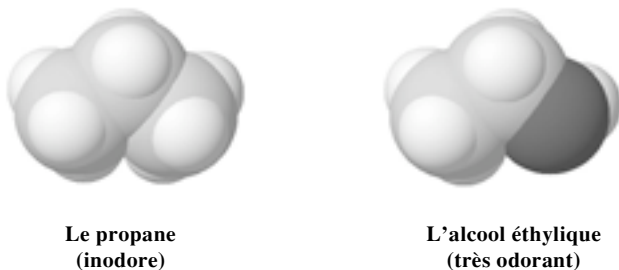
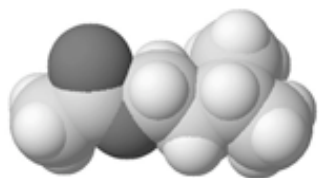


Figure 1 – Quand l'oxygène prend la place du carbone.

Le gaz propane pur est pratiquement inodore, il est insoluble dans l'eau et soluble dans les graisses, et donc très peu soluble dans le mucus : très peu de molécules parviennent jusqu'aux récepteurs. Au contraire, l'alcool éthylique, très soluble dans l'eau, diffuse facilement et en grande quantité vers les récepteurs. Il y a entre les formules chimiques de ces deux molécules une différence facilement repérable sur le modèle (*Figure 1*) : l'alcool a un atome d'oxygène là où le propane a un atome de carbone. Cet atome d'oxygène porte comme on le voit un atome d'hydrogène ; c'est cet ensemble (OH) qui facilite la dissolution de la molécule d'alcool dans le mucus et interagit avec le récepteur. On pourrait dire que ce groupe est à l'origine de l'odeur de l'alcool éthylique.

Beaucoup de molécules odorantes, naturelles ou artificielles, comportent des atomes d'oxygène, et la qualité de l'odeur dépend de leur emplacement dans la molécule. Ainsi, l'acétate d'isoamyle a une odeur fruitée qui évoque la poire ou la banane, alors que l'acide heptanoïque, qui possède autant d'atomes de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, a un relent désagréable de beurre rance.



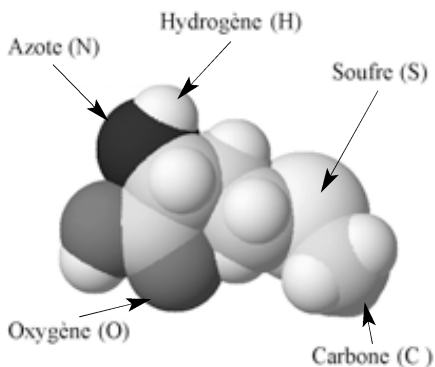
L'acétate d'isoamyle,
une odeur fruitée
de poire-banane



L'acide heptanoïque,
une odeur de beurre rance

*Figure 2 – Un même nombre d'atomes :
des odeurs très différentes.*

On repère dans ces deux molécules (*Figure 2*) une même séquence de trois atomes : un carbone lié à deux oxygènes. Dans l'acétate, le groupe est inséré dans la chaîne carbonée ; dans l'acide, il est en bout de chaîne. C'est ce groupe de trois atomes qui déclenche le mécanisme de l'odeur. Presque toutes les molécules à l'odeur fruitée présentent un tel groupe, dit ester (COO), inséré dans la chaîne carbonée. Si ce groupe est en bout de chaîne, c'est un groupe carboxyle (COOH), qui donne le plus souvent une odeur aigre ou rance au composé.



Imaginer une molécule

Une molécule de méthionine, l'un des vingt acides aminés qui constituent les protéines dont sont faites nos cellules. Sa formule brute, $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{O}_2\text{NS}$, indique les nombres d'atomes de chaque élément.

Cette représentation compacte 3 D donne une bonne idée de son encombrement. Les atomes qui la constituent sont facilement repérables sur la formule, trois atomes d'hydrogène sont sur la face cachée.

D'autres groupes chimiques, comportant des atomes d'oxygène (O), d'azote (N), de soufre (S) ou tout simplement des atomes de carbone doublement liés entre eux (C=C), peuvent interagir avec les récepteurs et déclencher le processus odorant. On les appelle « groupes osmophores ». Les trois critères : volatile, soluble dans le mucus et porteur d'un groupe osmophore, tout cela semble inscrit dans la structure de la molécule. Peut-on alors deviner une odeur rien qu'en regardant une formule ?

L'arôme d'amande amère, utilisé dans la frangipane, contient du benzaldéhyde ; c'est cette molécule qui est responsable de l'odeur. Le nitrobenzène, utilisé dans la fabrication du TNT, célèbre explosif, a lui aussi une odeur d'amande. Ces deux molécules (*Figure 3*) ont en commun une structure hexagonale plane constituée de six atomes de carbone, appelée noyau aromatique, qui est présente dans beaucoup de molécules odorantes. On pourrait donc penser que le cycle aromatique est la clef de l'odeur d'amande, mais la molécule de cyanure d'hydrogène, gaz mortel à faible dose, a elle aussi une odeur d'amande, bien que sa molécule ne comporte que trois atomes (HCN).

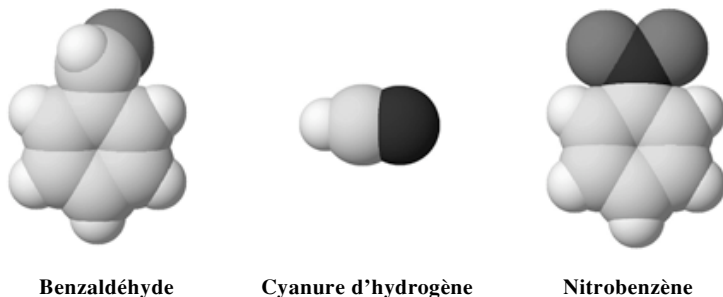
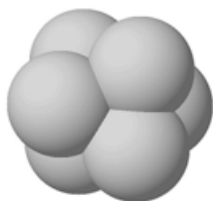


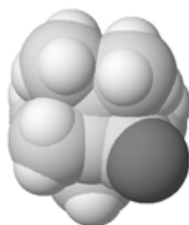
Figure 3 – Des molécules à l'odeur d'amande.

L'hexachloroéthane, solide incolore qui entre dans la composition de certains fumigènes à usage militaire, a une odeur camphrée. Or cette molécule, uniquement constituée de carbone et de chlore,

est, comme le montre le modèle (*Figure 4*), chimiquement très différente de la molécule de camphre extraite de l'écorce du camphrier. On remarque cependant qu'elles sont toutes deux à peu près sphériques ; les récepteurs seraient donc parfois plus sensibles à la forme qu'à la nature des atomes...



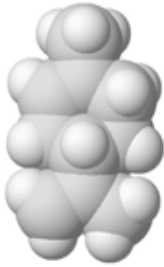
Hexachloroéthane



Camphre

Figure 4 – Deux molécules à l'odeur camphrée.

Plus étonnant, notre nez est capable de distinguer des couples de molécules qui sont images l'une de l'autre dans un miroir. Par exemple, le *S*-limonène, molécule « gauche », a l'odeur du citron, tandis que son image dans un miroir, le *R*-limonène, molécule « droite », a l'odeur de l'orange. Ces molécules, qui ne comportent que des atomes de carbone et d'hydrogène, ont la même formule chimique. Comme elles ne diffèrent que par la disposition des atomes dans l'espace, seule une représentation 3 D permet de les distinguer (*Figure 5*). Ce genre de couple chimique est très répandu dans la nature. Ce sont des objets chiraux (du grec *cheir* = main). La molécule « gauche » est image de la molécule « droite » mais ne lui est pas superposable, un peu comme notre main gauche est l'image de notre main droite.



**Le S-limonène
a l'odeur du citron**



**Le R-limonène
a l'odeur de l'orange**

Figure 5 – Des molécules images à l'odeur d'agrumes.

De même qu'un pied droit ne peut se glisser commodément que dans une chaussure droite, l'exemple précédent suggère que l'odeur est perçue dès que la molécule se loge dans une empreinte à sa mesure, de forme complémentaire. Ce modèle, du type « clef-serrure », est simple et séduisant, mais il suppose que l'épithélium olfactif porte autant d'empreintes que de molécules venues ou à venir, ce qui ne semble guère raisonnable.

Au terme de ce bref inventaire moléculaire, il apparaît que notre système olfactif peut reconnaître un grand nombre de substances volatiles de formes et de tailles très variées, et que le plus léger changement de structure peut radicalement transformer la perception. Néanmoins, il est aujourd'hui impossible de prédire avec certitude l'odeur d'une molécule à partir de sa structure. La géométrie des odeurs reste une énigme – fascinante.

Regardons maintenant du côté des cellules olfactives. Ce sont des neurones très particuliers qui portent à leur extrémité des touffes de vingt à trente cils baignant dans le mucus. Grâce, entre autres, aux travaux de Linda Buck et Richard Axel (prix Nobel 2004), nous savons comment est déclenché le signal olfactif. Ces chercheurs ont montré que les récepteurs sont des protéines qui traversent perpendiculairement la membrane des cils. En traversant sept fois la membrane, chaque protéine brode à sa surface une

sorte de pore dans lequel une molécule s'engage jusqu'à son lieu d'accroche. Elle y est souvent guidée à travers le mucus par une autre protéine, appelée protéine de transport.

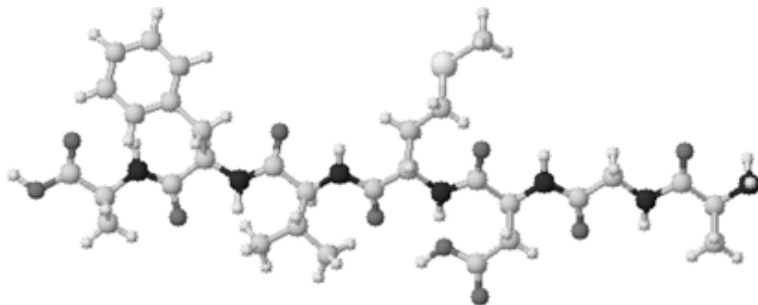


Figure 6 – Un court fragment de protéine en modèle éclaté.

Une protéine est une molécule géante, faite d'un enchaînement d'acides aminés dont la succession est déterminée par le programme génétique (*Figure 6*). Sa configuration favorite est l'hélice droite (comme celle d'un tire-bouchon de droitier), et les caractéristiques de cette hélice dépendent de la séquence des acides aminés qui la constituent. Comme toute protéine, chaque récepteur comporte un grand nombre d'atomes d'azote et d'oxygène ainsi que des atomes de soufre ; ce sont le plus souvent ces atomes qui vont tisser des liens éphémères avec ceux de la molécule de passage. Ce qui fait dire au neurophysiologiste Patrick MacLeod : « Les odeurs n'existent pas. Ce qui existe, c'est la rencontre de deux espèces moléculaires : les molécules du milieu extérieur et mes propres molécules, dépendant de mon génome. »

La capture d'une molécule modifie localement la structure de la protéine réceptrice, engendrant une cascade de réactions chimiques qui aboutissent à la naissance d'un signal électrique dans le neurone. Le prolongement de chaque neurone (ou axone) traverse la lame osseuse au-dessus du nez et atteint directement le cerveau dans le bulbe olfactif. Passage obligé de tous les neurones

olfactifs, cette lame criblée est fine et fragile, c'est pourquoi beaucoup d'accidentés de la route souffrent de déficience olfactive à la suite d'un choc frontal.

Il n'y a qu'un seul type de récepteur par cellule olfactive et un millier de types de récepteurs différents. Les axones des neurones-récepteurs d'un même type convergent dans le bulbe olfactif vers un ou deux relais appelés glomérules, sortes de pelotes d'un dixième de millimètre de diamètre ; ils sont mille fois moins nombreux que les capteurs. Ce dispositif permet d'intensifier le signal qui est ensuite repris par un deuxième neurone, lequel envoie l'information vers plusieurs parties du cerveau. Les récepteurs olfactifs ne sont pas très sélectifs. Un récepteur donné peut interagir avec plusieurs types de molécules et une même molécule peut interagir avec plusieurs types de récepteurs. Une molécule odorante va ainsi « allumer » plusieurs glomérules, engendrant au sein du bulbe une image olfactive en trois dimensions. Ce que nous appelons odeur est en général un mélange de molécules différentes en proportions variées. À chaque odeur correspond un code défini par un ensemble de glomérules du bulbe olfactif. Les multiples combinaisons qu'offrent les quelque deux mille glomérules présents dans les bulbes peuvent expliquer notre capacité à reconnaître tant d'odeurs différentes. Plus les molécules sont nombreuses et plus l'odeur est intense. Ensuite, la sensation disparaît. Ce qu'il advient des molécules captées est mal connu ; elles sont probablement balayées par l'agitation du mucus, voir dégradées en fragments inodores et expulsées lors de l'inspiration suivante.

La voie empruntée par le signal olfactif ne comporte que deux neurones, elle est donc plus courte que celle des autres perceptions sensorielles. Plusieurs régions du cerveau semblent coopérer au traitement de l'information. L'imagerie cérébrale montre que parmi les aires activées par les odeurs, le cortex orbitofrontal droit (situé à la surface du cerveau près de l'orbite de l'œil droit) semble plus impliqué dans la reconnaissance des odeurs, tandis que le cortex gauche joue un rôle dans la réponse émotionnelle. On pense que l'image du mélange odorant affichée dans le bulbe olfactif est

reconnue par le cerveau, comparée aux images olfactives antérieures et associée à des faits qui vont permettre de la mémoriser. Les associations multiples expliqueraient la persistance (dix ans en moyenne) des souvenirs olfactifs. Cette bibliothèque des odeurs, qui est propre à chacun, ne peut que s'enrichir des expériences les plus variées ; Patrick Mac Leod y voit « la construction cérébrale la plus proche du moi ».

Lorsque l'odeur du mammoth Jarkov s'est révélée à la chaleur du sèche-cheveux, un cocktail moléculaire, signature odorante d'un animal préhistorique, a fait image dans le cerveau d'un de nos contemporains. Cette image eût été différente avec un autre mammoth et chez un autre chercheur car les caractéristiques de la source et celles du récepteur dépendent des génomes de ces deux êtres. Pour l'interpréter, il a mobilisé sans effort des souvenirs de son enfance à lui. Toute expérience odorante naît donc d'une rencontre olfactive unique ; l'odeur n'existe pas, c'est une création virtuelle et particulière à chacun de nous.

Nous entrevoyons que l'odorat est loin d'être aussi primitif qu'on a pu le croire. Longtemps délaissée par la communauté scientifique, son étude rebondit grâce aux progrès des neurosciences. En attendant que celles-ci nous en révèlent davantage sur son fonctionnement, c'est à un effleurage scientifique mais aussi historique, et nécessairement affectif, des images de sa bibliothèque olfactive que je convie maintenant le lecteur.

2. Un nez pour quoi faire ?

De quoi sert cette oblongue capsule ?

Cyrano de Bergerac

Pour survivre et se reproduire, tout être vivant doit être capable de connaître et exploiter au mieux son environnement. L'homme n'échappe pas à cette règle, à qui chacun des cinq sens apporte sa moisson de données qui lui dicteront un comportement adapté. Mais si nous devons être privé de l'un de nos sens, quel est celui qui nous manquerait le moins ? Parions que la majorité d'entre nous sacrifierait sans trop de regrets le cinquième, celui de l'odorat.

Le monde vivant que nous connaissons est le résultat d'une évolution qui a probablement commencé moins d'un milliard d'années après la formation de la Terre. Nous dérivons tous d'un très petit nombre d'organismes très simples, les bactéries. On a compris dans les années 1960 que les bactéries sont capables de distinguer les molécules qui les environnent grâce à des capteurs périphériques. À l'aide de ces capteurs, elles se dirigent vers les zones où se concentrent les molécules qu'elles peuvent consommer, et s'éloignent de celles qui peuvent les tuer. On ne peut pas dire que les bactéries sentent ou goûtent les molécules car elles n'ont pas deux organes spécialisés distincts, mais elles fonctionnent déjà sur le mode du « c'est bon » ou « ce n'est pas bon pour moi ».

À ce stade, le goût et l'odorat sont encore confondus. Leur séparation est probablement née des premiers contacts avec l'air. Ainsi

on a repéré chez un petit ver qui vit entre air et eau, le nématode, une ébauche de séparation. Ce ver possède en effet des neurones qui se terminent comme les nôtres par des capteurs chimiques en forme de cils, et qui lui permettent de reconnaître certaines molécules dispersées dans l'air, tandis que d'autres capteurs sont dédiés à la reconnaissance de molécules dissoutes dans l'eau. Mais le contact aérien n'est pas une condition nécessaire au développement de l'odorat puisque les poissons possèdent des narines, appelées rosettes olfactives, qui leur permettent aussi de détecter certaines molécules dissoutes dans l'eau. En sortant de l'eau, la vie aérienne a favorisé le développement de l'appendice nasal. Le plus remarquable est que, par-delà la variété anatomique, toutes les espèces ont des systèmes olfactifs étrangement simples et semblables.

De l'insecte à l'homme, en passant par la grenouille, il semble que les êtres vivants aient sélectionné à peu près la même solution au problème de la reconnaissance des molécules aériennes et que cette sensibilité chimique particulière se soit transmise d'espèce en espèce. Le schéma comporte invariablement des chimiorécepteurs reliés à un neurone dont l'axone véhicule l'information sous forme de signal électrique. Les axones de ces premiers neurones convergent vers des relais où l'information est reprise par d'autres neurones, moins nombreux. Ce dispositif permet d'amplifier le signal que le cerveau va ensuite interpréter. La simplicité du plan et la similitude entre des espèces aussi éloignées que les insectes et les vertébrés semblent attester de l'archaïsme de l'odorat. D'autant qu'au cours de l'évolution, la place occupée par le cerveau olfactif par rapport à l'ensemble du cerveau est proportionnellement de plus en plus réduite, ce qui tendrait à prouver que l'odorat a régressé. On peut imaginer qu'en se dressant sur ses deux jambes, l'homme s'est éloigné de la source des odeurs ; ainsi, en évoluant de l'animal à l'homme, le sens de l'odorat se serait logiquement affaibli. Pourtant, on a découvert que 3 % de notre génome est dédié à l'expression des protéines qui reconnaissent les molécules aériennes. Cet investissement d'un millier de gènes pour la synthèse des seuls chimiorécepteurs est-il à fonds perdus ?

- S109. *L'Intelligence de l'animal*, par Jacques Vauclair
- S110. *Les Grandes Expériences scientifiques*, par Michel Rival
- S111. *Invitation aux sciences cognitives*, par Francisco J. Varela
- S112. *Les Planètes*, par Daniel Benest
- S113. *Les Étoiles*, par Dominique Proust
- S114. *Petites Leçons de sociologie des sciences*, par Bruno Latour
- S115. *Adieu la Raison*, par Paul Feyerabend
- S116. *Les Sciences de la prévision*, collectif
- S117. *Les Comètes et les Astéroïdes*,
par A.-Chantal Levasseur-Legourd
- S118. *Invitation à la théorie de l'information*, par Emmanuel Dion
- S119. *Les Galaxies*, par Dominique Proust
- S120. *Petit Guide de la Préhistoire*, par Jacques Pernaud-Orliac
- S121. *La Foire aux dinosaures*, par Stephen Jay Gould
- S122. *Le Théorème de Gödel*, par Ernest Nagel / James R. Newman,
Kurt Gödel / Jean-Yves Girard
- S123. *Le Noir de la nuit*, par Edward Harrison
- S124. *Microcosmos. Le Peuple de l'herbe*, par Claude Nuridsany
et Marie Pérennou
- S125. *La Baignoire d'Archimède*, par Sven Ortoli et Nicolas Witkowski
- S126. *Longitude*, par Dava Sobel
- S127. *Petit Guide de la Terre*, par Nelly Cabanes
- S128. *La vie est belle*, par Stephen Jay Gould
- S129. *Histoire mondiale des sciences*, par Colin Ronan
- S130. *Dernières Nouvelles du cosmos. Vers la première seconde*
par Hubert Reeves
- S131. *La Machine de Turing*, par Alan Turing et Jean-Yves Girard
- S132. *Comment fabriquer un dinosaure*, par Rob DeSalle
et David Lindley
- S133. *La Mort des dinosaures*, par Charles Frankel
- S134. *L'Univers des particules*, par Michel Crozon
- S135. *La Première Seconde*, par Hubert Reeves
- S136. *Au hasard*, par Ivar Ekeland
- S137. *Comme les huit doigts de la main*, par Stephen Jay Gould
- S138. *Des grenouilles et des hommes*, par Jacques Testart
- S139. *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*
par Galileo Galilée
- S140. *L'œil qui pense*, par Roger N. Shepard

- S141. *La Quatrième Dimension*, par Rudy Rucker
- S142. *Tout ce que vous devriez savoir sur la science*
par Harry Collins et Trevor Pinch
- S143. *L'Éventail du vivant*, par Stephen Jay Gould
- S144. *Une histoire de la science arabe*, par Ahmed Djebbar
- S145. *Niels Bohr et la Physique quantique*, par François Lurçat
- S146. *L'Éthologie*, par Jean-Luc Renck et Véronique Servais
- S147. *La Biosphère*, par Wladimir Vernadsky
- S148. *L'Univers bactériel*, par Lynn Margulis et Dorion Sagan
- S149. *Robert Oppenheimer*, par Michel Rival
- S150. *Albert Einstein*, textes choisis et commentés
par Françoise Balibar
- S151. *La Sculpture du vivant*, par Jean Claude Ameisen
- S152. *Impasciences*, par Jean-Marc Lévy-Leblond
- S153. *Ni Dieu ni Gène*, par Jean-Jacques Kupiec et Pierre Sonigo
- S154. *Oiseaux, merveilleux oiseaux*, par Hubert Reeves
- S155. *Savants et Ignorants*, par J. Jacques / D. Raichvarg
- S156. *Le Destin du mammouth*, par Claudine Cohen
- S157. *Des atomes dans mon café crème*, par Pablo Jensen
- S158. *L'Invention du Big-Bang*, par Jean-Pierre Luminet
- S159. *Aux origines de la science moderne en Europe*, par Paolo Rossi
- S160. *Mathématiques, plaisir et nécessité*
par A. Warusfeld et A. Ducrocq
- S161. *Éloge de la plante*, par Francis Hallé
- S162. *Une histoire sentimentale des sciences*, par Nicolas Witkowski
- S163. *L'Avenir climatique*, par Jean-Marc Jancovici
- S164. *Mal de Terre*, par Hubert Reeves et Frédéric Lenoir
- S165. *L'Imposture scientifique en dix leçons*, par Michel de Pracontal
- S166. *Les Origines de l'homme*, par Pascal Picq
- S167. *Astéroïde*, par Jean-Pierre Luminet
- S168. *Ne dites pas à Dieu ce qu'il doit faire*, par François de Closets
- S169. *Le Chant d'amour des concombres de mer*, par Bertrand Jordan
- S170. *Au fond du labo à gauche*, par Edouard Launet
- S171. *La Vie rêvée des maths*, par David Berlinski
- S172. *Manuel universel d'éducation sexuelle*
à l'usage de toutes les espèces, par Olivia Judson