

	0	1	2	3	...	39
0	0	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6
1	0	0	1/6	1/6	1/6	1/6
2	0	0	0	1/6	1/6	1/6
...	...	...	...	...	...	...
32	0	...	0	1/6	1/6	1/6
33	0	...	0	1/6	1/6	1/6
34	1/6	0	...	0	1/6	1/6
35	1/6	1/6	0	...	0	1/6
36	1/6	1/6	1/6	0	...	0
37	1/6	1/6	1/6	1/6	0	...
38	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6	0
39	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6

3. LA MATRICE DE MARKOV permet de calculer la transition de la distribution des probabilités, provoquée par un jet de dé.

sième jet (fantôme). Nous multiplions chaque probabilité par 1/6 et plaçons ces produits sur les 6 cases suivantes. Puis, sur chaque case, nous ajoutons les nombres acquis et obtenons la distribution des probabilités après 3 jets de dé.

Il est aisé d'écrire un programme informatique qui calcule l'évolution de la distribution des probabilités. Les résultats sont représentés sur la figure 2 ; au fond est représentée la distribution triangulaire du deuxième jet. À chaque jet, le graphe se déplace de un pas dans la figure. On observe que le pic de probabilité se déplace de plusieurs cases vers la droite à chaque jet. En moyenne, il se déplace de la moyenne arithmétique des nombres 1, 2, 3, 4, 5, 6, soit trois cases et demie. Si l'on poursuit la simulation, on observe que la forme triangulaire s'arrondit et s'élargit. Finalement, le pic s'estompe et toutes les probabilités sont à peu près égales. Pourquoi une telle évolution ?

Pour l'expliquer, utilisons la théorie de Markov, qui fournit une méthode systématique pour suivre l'évolution des probabilités. Commençons par écrire la matrice de transition entre deux états. Cette matrice, M , est un tableau carré de 40 lignes et 40 colonnes, chacune numérotée de 0 à 39. À l'intersection de la ligne l et de la colonne c , on écrit la probabilité de se déplacer, en un jet de dé, de la case l à la case c . C'est donc 1/6 si $c = l + 1, l + 2, \dots, l + 6$, et zéro autrement (voir la figure 3). Ensuite, un calcul technique effectué sur la matrice (voir l'encadré) permet de calculer l'évolution de la distribution des probabilités. Le résultat montre qu'après de nombreux jets, la probabilité pour chaque case approche bien 1/40.

Ainsi, avec l'aide discrète de Markov, pouvons-nous prouver qu'un jeu aussi compliqué que le Monopoly est équitable. Bien sûr, le premier joueur conserve un léger avantage atténué par la finitude de son compte en banque.

Ravitaillement en vol

Photos: Xavier Ferrer et Adolfo de Sostoa
Texte: Xavier Ferrer



Pour aspirer le nectar des fleurs qui les nourrissent, les colibris volent sur place : leurs ailes battent de haut en bas et d'avant en arrière, traçant une sorte de huit horizontal. Ces oiseaux, dont on connaît environ 320 espèces, ont développé leurs capacités de vol au détriment des autres modes de locomotion : ils sont incapables de marcher, même sur quelques centimètres.

Leur métabolisme consomme beaucoup d'énergie et d'oxygène comparativement à leur poids : selon les espèces, le rythme cardiaque de ces oiseaux varie entre 500 et 1 300 pulsations par minute. Outre le nectar, ils dévorent aussi des insectes, qu'ils peuvent même happer en vol à l'aide de leur langue. La nuit, ils économisent de l'énergie en tombant dans une sorte de léthargie : leur température corporelle chute et leur rythme cardiaque passe à 40 pulsations par minute.

Les fleurs ne nourrissent pas gratuitement les colibris : elles leur confient leur pollen afin qu'ils le répandent et assurent leur reproduction. Les fleurs adaptées à cette pollinisation sont de couleur rouge ou jaune vif : la coloration rouge est particulièrement repérable par les colibris. Elles fleurissent librement et abondamment, sans feuilles ni brindilles gênantes. Leur nectar, au plus profond de la fleur, n'est accessible qu'aux oiseaux à long bec. Les étamines et le pistil sont situés de telle manière que le pollen est déposé sur la tête, la gorge ou le bec de l'oiseau, et facilement recueilli ensuite par la fleur.

La fleur papilionacée du flamboyant (*Erythrina crista-galli*), un arbre de la famille des légumineuses, attire ainsi des colibris, ici un oiseau-mouche cuivré (*Myiodynastes bairdi*). Cet arbre pousse dans une grande partie de l'Amérique du Sud, principalement dans des zones ouvertes très humides, parfois inondées, et dans la forêt galerie.

Nous avons mis cinq heures pour réaliser ces clichés, dans un bosquet de flamboyants en fleurs qui occupait une dépression, en Uruguay. Nous avons utilisé un téléobjectif de 300 millimètres et un flash : la vitesse à laquelle l'oiseau bat des ailes requiert une grande vitesse d'obturation, donc beaucoup de lumière.



l'image du mois



Chimie

Qu'est-ce que l'alchimie ?

Pierre Laszlo. Éditions Hachette, 1996.

Que paraisse un livre sur l'alchimie et l'on accourt, on se précipite, on lit, on en parle, pour le critiquer souvent, en refusant la grande envie de céder à la fascination que cette activité ésotérique continue d'exercer sur notre imaginaire. Quoique prévenu de l'inéluctable fatalité dont la passion de l'alchimie accable l'initié, ce dernier s'inscrit, de l'Antiquité à la fin du XVIII^e siècle, dans une tradition forte.

L'alchimie se développe plus particulièrement en Occident à partir des premiers siècles de notre ère, en provenance d'Égypte puis de la Grèce, mais ses racines plongent dans la Chine

antique. De cette époque, la *Table d'Émeraude* est restée un texte fondamental. À la Renaissance, les écrits attribués à Hermès Trismégiste nourrissent une nouvelle alchimie. Au XVII^e siècle, à côté de la physique mathématique, se développant dans une communauté scientifique organisée en académies et en sociétés savantes, communiquant ouvertement et de plus en plus en langue vulgaire, l'alchimie reste secrète, initiant des adeptes et transmettant toujours son savoir en termes codés, publiant peu.

L'un et l'autre mondes coexistent comme le jour et la nuit. Un savant peut être un scientifique au jour de la société à laquelle il participe et être alchimiste à la nuit des initiés qui partagent ses convictions.

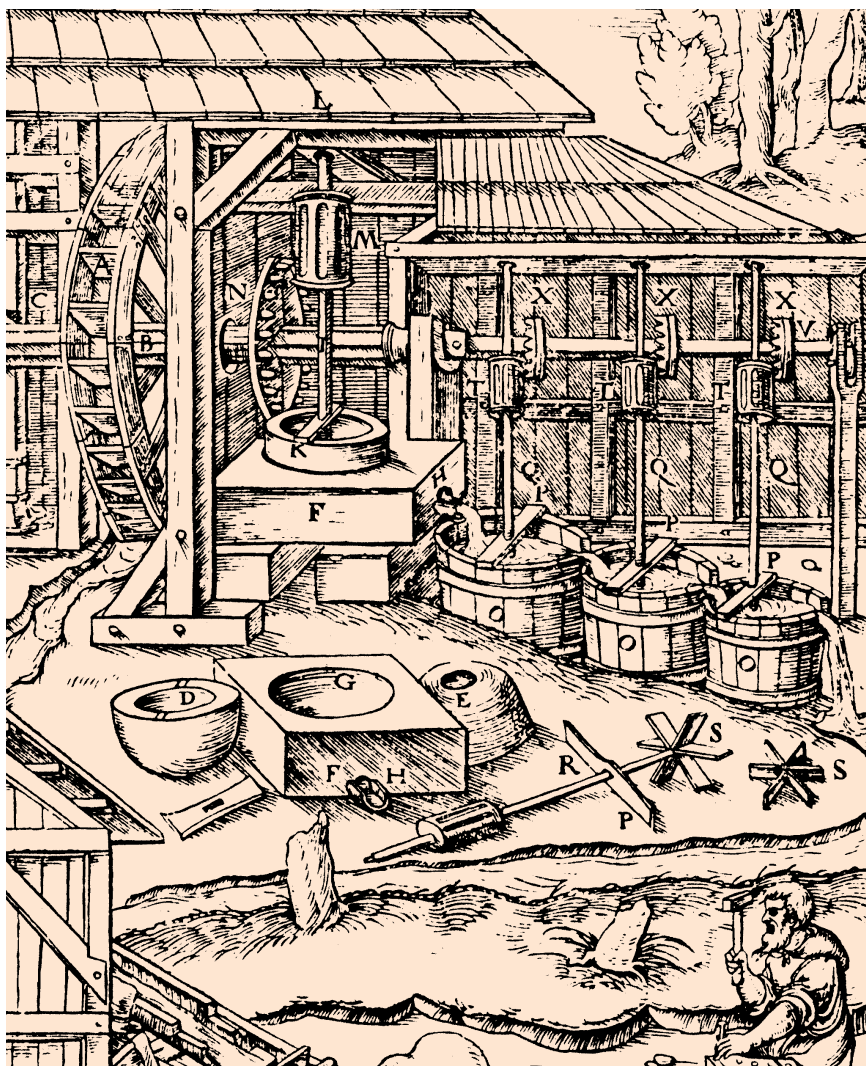
Newton était l'un des deux. Pierre Laszlo nous fait mieux connaître cet aspect de l'activité du grand savant en quelques pages. Pendant 30 ans, Newton, mythiquement rationnel, figure emblématique de la science victorieuse de l'obscurantisme, a pratiqué l'alchimie, a écrit des

milliers de pages à son sujet sans en publier une seule, mais en a analysé les pratiques avec son intelligence logique hors du commun. Pour rien.

C'est à cette époque que s'amorce la séparation entre alchimie et chimie. Du *Skeptical Chemist*, du Britannique Robert Boyle (1666) au *Cours de chymie* de Nicolas Lémery (1675), la rupture se consomme. Ce dernier traité, longtemps réédité (la dernière édition date de 1756), est un livre en langage clair qui se veut un manuel de pratique expérimentale associé à une interprétation mécaniste des réactions. Au XVIII^e siècle, la chimie s'affirme en tant que science, et l'alchimie jette ses derniers souffres. On a cessé de croire, officiellement, à la croissance des métaux au sein de la Terre, à l'existence de la Pierre philosophale ou à l'Elixir de vie. Le but n'est plus d'atteindre l'Œuvre au rouge, mais de découvrir, selon des protocoles expérimentaux reconnus, les secrets de la matière. Pourtant les deux buts sont-ils si différents ?... Tournée vers le futur, la science observe toujours de nouveaux phénomènes, invente de nouvelles théories, éprouve de nouveaux modèles. L'alchimie garde la nostalgie d'un savoir perdu dont elle répète rituellement les arcanes, rêve d'un âge mythique où tout était plus simple et le monde meilleur. Point n'est.

La chimie est fille de l'alchimie, mais aussi de la pratique artisanale. À l'alchimie, elle doit le laboratoire avec ses feux savamment entretenus, ses méthodes expérimentales comme la distillation qui purifie, le chauffage à reflux qui, lentement, remet sans cesse au feu l'huile essentielle vaporisée afin de l'obtenir plus subtile. L'alchimie nous a donné à savoir lire la couleur des solutions, nous a appris à faire croître les cristaux aux formes géométriques au sein d'une mère... La pureté comme obsession, la séparation du corps le plus parfait de la gangue ont conduit les rêveurs alchimistes à devenir des praticiens chimistes, leur ont donné à voir, puis à atteindre l'important caché sous le visuel futile. Il flotte dans le vocabulaire chimiste des effluves de mots anciens qui suggèrent leur appartenance alchimique. Depuis Berzélius, c'est une lettre majuscule parfois suivie d'une minuscule qui transmet le message de reconnaissance d'un élément. C'est une conversion de fait des symboles alchimistes, hermétiques, dont, par ailleurs, Lavoisier lui-même ne s'était pas dispensé pour désigner les corps de la nouvelle chimie.

La réponse à la question posée en titre du livre de P. Laszlo – Qu'est-ce que l'alchimie ? – est-elle dans l'alchimie elle-même, vide en fait de potentialités matérielles, toute à la répétition des actes passés, sans réinterprétation ? La séduc-



En 1556 paraît *De Re metallica*, où Georgius Agricola présente la pratique de la métallurgie.

tion s'efface. Ce n'était donc que cela ? Une transcription en termes actuels de quelques recettes alchimiques aurait aidé à satisfaire la curiosité du lecteur avide de concret. Par ailleurs, la précipitation des métaux à partir des solutions de sels métalliques n'a pas été seulement le fait des alchimistes, mais aussi des pratiques artisanales. La lecture de *De Re metallica* d'Agricola permet de relativiser l'impact de l'alchimie à la Renaissance et aux périodes suivantes. La technique a longtemps cheminé sur une voie parallèle et ne parcourt avec la science des chemins de traverse qu'à l'époque moderne.

Ce petit livre distraira et instruira à la fois, mais si la question posée en titre trouve ici des éléments de réponse, elle appelle une suite. En quoi consiste le contenu alchimiste ? Que construisent l'Œuvre au noir, puis l'Œuvre au blanc et, enfin, l'Œuvre au rouge ? L'interrogation reste jusqu'au débat que mène l'auteur avec Dominique Lecourt, où, enfin, comme Virgile guidant Dante, P. Laszlo conduit son lecteur à travers les cercles successifs de la symbolique d'un texte alchimique et, en particulier, nous révèle le sens caché de l'Œuvre au noir.

Écrit par un chimiste reconnu, cet ouvrage rend accessible au public moderne cette histoire alchimique trop méconnue. L'alchimie contient une forme de savoir qui a témoigné d'une façon d'appréhender le monde ; à ce titre, elle doit rester un objet d'études nécessitant l'investissement de chercheurs afin de préciser le rôle qu'elle a tenu dans la construction de la connaissance scientifique du monde.

Danielle FAUQUE

Chimie

Orbitales frontières

Nguyễn Trong Anh. InterÉditions, 1996.

La chimie organique est, encore et toujours, une science expérimentale, mais, en cette fin de xx^e siècle, les réactions doivent être extrêmement sélectives et la cible choisie doit s'obtenir en un minimum d'étapes, avec de hauts rendements. Aussi le chimiste organicien ne s'appuie-t-il plus seulement sur son expérience et sur des connaissances encyclopédiques. Il (ou elle) met aussi à profit les données de la chimie théorique pour prévoir, dans la mesure du possible, le déroulement des

processus réactionnels. Nguyễn Trong Anh a une formation initiale d'organicien de synthèse et, dans les années 1970, il s'est tourné vers la chimie théorique. C'est pourquoi son livre, fondé sur le cours qu'il professe au DEA de chimie organique d'Orsay, peut être lu (et apprécié) par tout organicien qui a quelques rudiments de mathématiques un peu avancées.

Qu'est-ce que la sélectivité des réactions de chimie organique ? Lorsqu'un réactif *R* rencontre un substrat *S*, plusieurs possibilités peuvent être envisagées, surtout si ce substrat est plurifonctionnel. La chimiosélectivité correspond à la sélection d'un seul groupe fonctionnel. De plus, si ledit substrat est substitué de façon dissymétrique, le réactif *R* doit se fixer très préférentiellement d'un côté et non de l'autre (régiosélectivité). Enfin, si le substrat *S* possède deux faces d'environnement différent, seule l'une d'elles doit être attaquée (stéréo- ou énantiomérisation). On sait, en effet, que des isomères présentent souvent des activités biologiques qui ne sont pas identiques, et il est impératif, en synthèse de médicaments par exemple, d'obtenir le produit ayant l'activité recherchée.

Parmi les nombreux (hélas !) facteurs qui régissent le déroulement des réactions, l'interaction entre les « orbitales frontières » du réactif et du substrat est souvent primordiale. D'où l'intérêt du livre de Nguyễn Trong Anh, qui trace un panorama volontairement simplifié et pédagogique de cette approche.

Les orbitales frontières ? Dans une molécule, les électrons se répartissent dans des niveaux d'énergie quantifiés : ce sont les orbitales moléculaires (OM). Un calcul relativement simple permet d'estimer ces niveaux. Quand la molécule est trop complexe, l'estimation se fait seulement sur le fragment qui va réagir. Les électrons sont alors répartis dans ces orbitales – deux par deux, de spins opposés – de façon que les niveaux d'énergie inférieure soient tous peuplés. L'orbitale peuplée de plus haute énergie (HO) est une des orbitales frontières, alors que l'orbitale vacante de plus basse énergie (BV) est l'autre. Lorsque le réactif *R* et le substrat *S* interagissent, leurs orbitales se mélangent et l'interaction entre les orbitales frontières de l'un et de l'autre est, en général, la plus importante. Selon les caractéristiques de ces orbitales, qui sont données par le calcul, un chemin réactionnel est privilégié, ce qui détermine souvent (pas toujours...) la sélectivité de la réaction. Cette description est celle de la méthode dite des perturbations. Des problèmes structuraux peuvent également être abordés par cette méthode si l'on considère qu'une molécule complexe est formée de fragments

dont les orbitales frontières interagissent et se mélangent.

Le livre de Nguyễn Trong Anh aborde ces différents aspects des applications des orbitales frontières. Il donne les méthodes simplifiées de calcul des orbitales atomiques et moléculaires (chapitres II et III). Il envisage ensuite le problème des réactions : qui réagira le plus vite et pourquoi (chapitre IV) ; quelles seront la régio- et la stéréosélectivité des réactions (chapitres V et VI) et enfin quels problèmes structuraux peuvent être abordés dans ce contexte (chapitre VII). Dans un dernier chapitre, l'auteur jette un œil critique sur les limites de cette approche : ne faut-il pas toujours tout remettre en question ?

L'ouvrage est clair, bien présenté, bien documenté, quoique parfois un peu trop pragmatique. L'insertion des exercices en cours de texte peut gêner ; pourquoi ne pas les avoir reportés en fin de chapitre ? Le document est à recommander à tous ceux qui s'intéressent de près ou de loin à la chimie organique.

Jacqueline SEYDEN

Ethnologie

Les populations traditionnelles

Éditions Bordas.

Voici le cinquième et dernier volume d'une collection célèbre : « Les berceaux de l'humanité », publiés par les éditions Bordas. Célèbre par l'ampleur et la rigueur de l'information, mais aussi par la qualité esthétique d'une présentation somptueuse.

Cinq gros volumes auxquels ont collaboré des centaines de spécialistes, les uns remontant aux premiers hommes, à nos origines si controversées, d'autres prenant le témoin, d'autres encore plongés dans notre présent, héritier de richesses dont voici une partie de l'inventaire, analysé par des savants passionnés de découvertes.

Continuité et changements, hypothèses et certitudes : nous voici entrés de plain-pied dans les trouvailles les plus récentes où nous conduisent les archéologues, les anthropologues, les conservateurs des plus beaux musées.

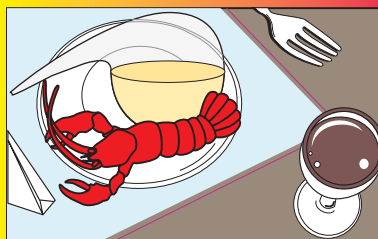
C'est que l'entreprise est universelle et, par là même, fabuleuse. Elle englobe les cultures les plus révélatrices, les religions les plus secrètes, les expressions artistiques les plus originales et les plus séduisantes. De page en page, nous voici

FRANCE INFO et POUR LA SCIENCE

vous invitent
à écouter la chronique
de Marie-Odile Monchicourt :

Info Sciences

Tous les jours
sur **France Info**
à 11 heures 44,
16 heures 21,
18 heures 14,
20 heures 12,
22 heures 21
et 0 heure 51



Les prochains
résultats présentés
dans la rubrique
Science et Gastronomie
seront annoncés sur
France Info
le 26 juin 1996.



pénétrant dans les cantons secrets de notre vieille Terre.

Il faut insister sur les qualités esthétiques de ce prodigieux ouvrage. Le texte est illustré par des centaines de photographies, des plus rustiques aux plus éblouissantes. Nous nous promenons dans un musée fantastique, participons à des fêtes dont le caractère sacré ne pourrait pas ne pas nous émouvoir. Bêtes et gens, paysages et rêves ; armes, outils, étoffes royales ; visages «plus qu'humains» : ils nous entraînent dans des lieux qui n'ont pas leurs semblables.

Maurice ZERMATTEN

Anthropologie

La contagion des idées, théorie naturaliste de la culture

Dan Sperber. Éditions Odile Jacob, 1996.

Que sont le mariage, le sacrifice, le Code pénal, l'Église, la recette de la sauce Mornay ? Ce sont des objets culturels, mais encore ? Le mariage, par exemple, est-il un concept ethnologique défini ou un concept fourre-tout, utile seulement dans la vie quotidienne ? De quoi parle-t-on quand on fait référence à l'institution du mariage ou, plus généralement, à toutes ces entités collectives porteuses de sens, auxquelles on attribue une efficacité causale ? Quelles raisons a-t-on de penser qu'il existe des croyances générales, hors contexte, explicites, intégrées et partagées par toute une population («les Bororos pensent que...») ? Bref, à quels objets a-t-on affaire en anthropologie et, plus généralement, dans les sciences sociales ?

Voilà les questions que pose Dan Sperber dans *La contagion des idées, théorie naturaliste de la culture*. Anthropologue de formation, élève de M. Balandier, de Joseph Needham et du peuple des Dorzé, en Éthiopie, D. Sperber est insatisfait du bric-à-brac ontologique des sciences sociales ; il recherche une explication naturaliste de la culture. À l'idée d'un environnement culturel porteur de sens, il substitue celle d'un environnement purement physique, que les organismes que nous sommes mettent à profit pour percevoir, interpréter, inférer, agir et, en particulier, communiquer. Il s'agit donc d'enraciner les sciences sociales dans les sciences de la nature, en s'appuyant sur les progrès récents des sciences cogni-

tives. D. Sperber espère ainsi étendre le champ d'investigation de l'anthropologie. Il se situe à un niveau plus fondamental, plus élémentaire que celui des théories classiques et entend préserver, pour l'essentiel, les concepts sociaux traditionnels dont l'utilité est, selon lui, «manifeste». Pour autant, bien que le titre de l'ouvrage puisse le suggérer, l'auteur ne cherche pas à établir une théorie globale ou unifiée de la culture au sens d'Auguste Comte (contrairement à ce qui est écrit sur la quatrième de couverture de son livre).

Jetons un regard matérialiste sur une recette de sauce Mornay : il s'agit de taches d'encre sur un papier, dont l'agencement forme une représentation publique, susceptible d'être lue et de causer autant de représentations mentales que la recette aura de lecteurs. Ces représentations sont différentes : elles sont semblables (plus ou moins), mais appartiennent à des systèmes cognitifs différents. De ce point de vue, la recette de la sauce Mornay est une abstraction : elle n'est pas un objet du monde. Ce qui existe, en ce dernier sens, c'est une distribution ou une répartition, dans l'espace et à travers le temps, de versions publiques et mentales alternées de la recette.

Ainsi l'ontologie du social (ce qu'est le social en soi, indépendamment de la manière dont il peut nous apparaître ou de la manière dont nous pouvons l'interpréter) ne découvre que trois éléments : les représentations mentales, qui sont les événements mentaux (donc cérébraux), c'est-à-dire tout exemplaire d'une croyance, d'une valeur, d'un projet, par exemple, qui nous vient à tel moment particulier ; les productions publiques qui sont des objets de l'environnement, des artefacts, en particulier des représentations publiques comme les livres ou les affiches (mais pas les roulements à bille) ou des comportements, y compris linguistiques comme les discours ; les enchaînements causaux des représentations mentales et des productions publiques dont l'agrégation, variable dans le temps et dans l'espace, forme des distributions.

Une représentation est culturelle lorsqu'elle est distribuée de manière suffisamment stable et large dans une population. On retrouve l'idée de la contagion, qui se propage dès les origines de la philosophie grecque, comme en témoigne Platon dans *l'Ion*. Aujourd'hui, qui dit épidémie ne dit pas seulement propagation ou contagion, mais aussi sélection. La plupart des représentations disparaissent sans laisser de trace ; seul un petit nombre acquiert une certaine permanence. Il faut alors s'interroger sur la dynamique stabilisante, sur les facteurs psychologiques et écologiques (environnementaux) qui sont

responsables de la résilience particulière de certaines représentations.

L'application du modèle darwinien à la culture n'est pas nouvelle (voir, par exemple, *La loi des gènes*, par le biologiste Richard Dawkins, dans *Pour la Science*, janvier 1996). Mais D. Sperber lui apporte un infléchissement peut-être décisif en remarquant que, contrairement aux agents pathogènes, les représentations ne se reproduisent presque jamais à l'identique au cours de leur propagation. C'est l'une des raisons pour recourir à la théorie des systèmes dynamiques. L'auteur espère ainsi apporter un nouvel éclairage sur la « dialectique » entre émergence et microstructure dans l'évolution culturelle. Il veut, en particulier, tenir compte des effets en retour exercés par l'environnement social et culturel sur le processus de sélection des représentations, sans renoncer à son ontologie élémentaire : « Ce sont les microprocessus de la transmission culturelle qui rendent possible la coévolution gène-culture et qui causent l'évolution historique des cultures et le développement culturel des individus. »

Quel est l'intérêt pour l'anthropologue du remaniement conceptuel que propose cette approche épistémologique ? Premièrement, elle permet une économie ontologique en ramenant l'anthropologie de la psychologie cognitive à celle de l'écologie. Deuxièmement, elle attire l'attention sur les micromécanismes psychologiques et écologiques, les microglissements, les microdynamiques de la transmission culturelle. Elle s'oppose donc aux approches qui biffent les différences en recourant à des entités collectives ou en invoquant exclusivement les raisons

qui poussent l'individu à agir, sans prêter attention à des phénomènes cognitifs intra-individuels plus élémentaires, plus complexes et non conscients.

Ce faisant, D. Sperber réfute ce que Maurice Bloch appelle « la théorie anthropologique de la cognition » ou ce que Pascal Boyer nomme « la théorie de la transmission culturelle exhaustive », d'après laquelle les déterminations cognitives seraient sans pertinence pour l'étude des phénomènes culturels – débat qui était déjà celui du colloque de Royaumont de 1972, *L'Unité de l'homme*. Ainsi, par exemple, la stabilisation de tels récits de tradition orale à l'intérieur d'une population donnée est sous-déterminée par la transmission – au sens où les ethnologues entendent traditionnellement ce terme –, et dépend aussi en partie du filtrage de la mémoire, c'est-à-dire de propriétés cognitives universelles de l'esprit humain. Pourquoi les sciences sociales se refuseraient-elles à envisager, comme la linguistique le fait depuis plus de 30 ans, de nouveaux rapports entre la nature et la culture ?

On peut discuter la tentative de D. Sperber pour naturaliser l'anthropologie dans la perspective d'un matérialisme minimaliste et pour magnifier l'apport de la psychologie cognitive à la discipline (par exemple, parce qu'on rejette la métaphore de l'ordinateur appliquée au cerveau et à l'esprit). Il n'en demeure pas moins que le livre devrait inciter les anthropologues à surmonter leur prévention à l'égard d'un certain type de phénomènes cognitifs et communicationnels qui pourraient bien jouer un rôle essentiel dans la constitution de l'humanité.

Françoise SIRI

RÉFÉRENCES DES ILLUSTRATIONS

Couverture : David A. Grimaldi. P. 9 : G. Dagli Orti. Pp. 10 et 11 : doc. PLS. P. 12 : California Academy of Sciences. P. 13 (à gauche) : Victor Lemoine. P. 13 (à droite) : W. Matthew. P. 14 : H. This. P. 16 : TOERGE. P. 17 (en haut) : Monique Courtois. P. 17 (en bas) : Bruno Bernard. P. 20 : doc. PLS. P. 21 : Lauros-Giraudon (Musée d'Unterlinden, Colmar). P. 22 : Dimitry Schidlovsky. P. 24 : Paul Gogan. P. 25 : Jérôme Tubiana. P. 26 : Aflio Guarnera/GANIL. Pp. 28 et 29 : PLS, d'après M. Mattauer. P. 32 : doc. PLS. P. 34 (à gauche) : Jared Schneidman Design. Pp. 34 (à droite) à 37 (à gauche) : Sam Ogden. Pp. 37 (à droite) et 38 : avec l'aimable autorisation d'Alex P. Pentland. Pp. 39 à 42 : S. Ogden. Pp. 44 et 45 : Ed Bridges, American Museum of Natural History. Pp. 46 et 47 (photographies a à i) : American Museum of Natural History. P. 46 (en bas) : Denis Finnin, American Museum of Natural History. Pp. 47 (en bas) et 48 (en haut) : D. Grimaldi. P. 48 (en bas) : Jackie Beckett, American Museum of Natural History. P. 49 : D. Grimaldi. P. 50 (en haut) : Stephen Doberstein et Michael Delannoy, Johns Hop-

kins University. P. 50 (en bas) : D. Grimaldi (dessins) et E. Bridges, American Museum of Natural History (photographie). P. 51 (en haut, à gauche et au milieu) : D. Grimaldi. P. 51 (en haut à droite) : William Crepet, Cornell University. P. 51 (en bas) : J. Beckett, American Museum of Natural History. Pp. 52 et 53 : doc. PLS. P. 53 (en bas à droite) : Barbara Osborne. P. 54 : doc. PLS. P. 55 : Petit format - Guigoz. Pp. 56 à 66 : doc. PLS. P. 69 : Marco Bonauguri. P. 70 (en haut) : doc. PLS. P. 70 (en bas) : Jean-Loup Charmet. P. 71 : doc. PLS. P. 72 : VIVI PAPI. P. 73 : avec l'aimable autorisation de Cassa di Risparmio di Fano. P. 75 : Biblioteca Vaticana, *Urb. Lat.* 632 40v. P. 77 (en haut à gauche et à droite) : C. Caron. Pp. 77 (en bas à gauche) à 81 : doc. PLS. Pp. 84 et 85 : Alfred T. Kamajian. Pp. 86 à 88 : Michael Goodman. P. 89 : University of Arizona Oases Project. P. 90 : M. Goodman. Pp. 92 à 97 : Roberto Osti. P. 100 : Dimitry Schidlovsky. P. 102 : S.E. Frederick, University of Wisconsin-Madison. Pp. 104 et 105 : Johnny Johnson. P. 106 : doc. PLS. P. 110 : Terry S. Reynolds.

POUR LA SCIENCE

8, rue Férou 75278 PARIS CEDEX 06

POUR LA SCIENCE Directeur : Philippe Boulanger. Rédaction : Philippe Boulanger (Rédacteur en chef), Hervé This (Rédacteur en chef adjoint), Françoise Cinotti (Rédactrice - Secrétaire générale de la rédaction), Bénédicte Leclercq, Luc Allemand, Yann Esnault, Philippe Pajot. Secrétariat de Rédaction : Annie Tacquenot, Pascale Thiollier, Marion Aguttes. Direction Marketing et Publicité : Henri Gibelin, assisté de Séverine Merviel. Direction financière : Pierre Leconte. Fabrication : Jérôme Jalabert, assisté de Fabienne Aubineau. Directeur de la publication et Gérant : Olivier Brossollet.

Ont également collaboré à ce numéro : Jacques d'Aguilar, Bettina Debû, Paul Decaix, Marie-Thérèse Landousy, Anne Masé, Claude Olivier, Guy Paulus, Luc Robert, Jean Schneider.

SCIENTIFIC AMERICAN Editor : John Rennie. Board of editors : Michelle Press (Managing Editor), Timothy Beardsley, Wayt Gibbs, Marguerite Holloway, John Horgan, Kristin Leutwyler, Philip Morrison, Madhusree Mukerjee, Sacha Nemecek, Corey Powell, Ricki Rusting, David Schneider, Gary Stix, Paul Wallich, Philip Yam, Glenn Zorpette. Publisher : John Moeling. Chairman and Chief Executive Officer : John Hanley. Co-Chairman : Pierre Gerckens. Executive Committee : John Moeling, Vincent Barger, Robert Biewen.

PUBLICITÉ France

Chef de Publicité : Susan Mackie, assistée de Anne-Claire Ternois, 8 rue Férou 75278 Paris Cedex 06. Tél. (1) 46 34 21 42.

Télex : LIBELIN 202978F.

Télécopieur : 43 25 18 29

Étranger : John Moeling, 415 Madison Avenue, New York. N.Y. 10017 - Tél. (212) 754.02.62

SERVICE DE VENTE RÉSEAU NMPP

Henri Gibelin.

DIFFUSION DE LA BIBLIOTHÈQUE POUR LA SCIENCE

Canada : Modulo - 233, avenue Dunbar Mont-Royal, Québec, H3P 2H2 Canada

Suisse : GM Diffusion - Rue d'Etraz, 2 - CH 1027 Lonay

Autres pays : Éditions Belin - B.P. 205, 75264 Paris Cedex 06.

Toutes demandes d'autorisation de reproduire, pour le public français ou francophone, les textes, les photos, les dessins ou les documents contenus dans la revue «Pour la Science», dans la revue «Scientific American», dans les livres édités par «Pour la Science» doivent être adressées par écrit à «Pour la Science S.A.R.L.», 8, rue Férou, 75278 Paris Cedex 06.

© Pour la Science S.A.R.L.

Tous droits de reproduction, de traduction, d'adaptation et de représentation réservés pour tous les pays. La marque et le nom commercial «Scientific American» sont la propriété de Scientific American, Inc. Licence accordée à «Pour la Science S.A.R.L.»

En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement la présente revue sans autorisation de l'éditeur ou du Centre Français d'exploitation du droit de Copie (3, rue Hautefeuille - 75006 Paris). Nos lecteurs trouveront en pages centrales, un encart publicitaire INRA et, en pages 18A, 18B, 98A et 98B, des bulletins d'abonnement.