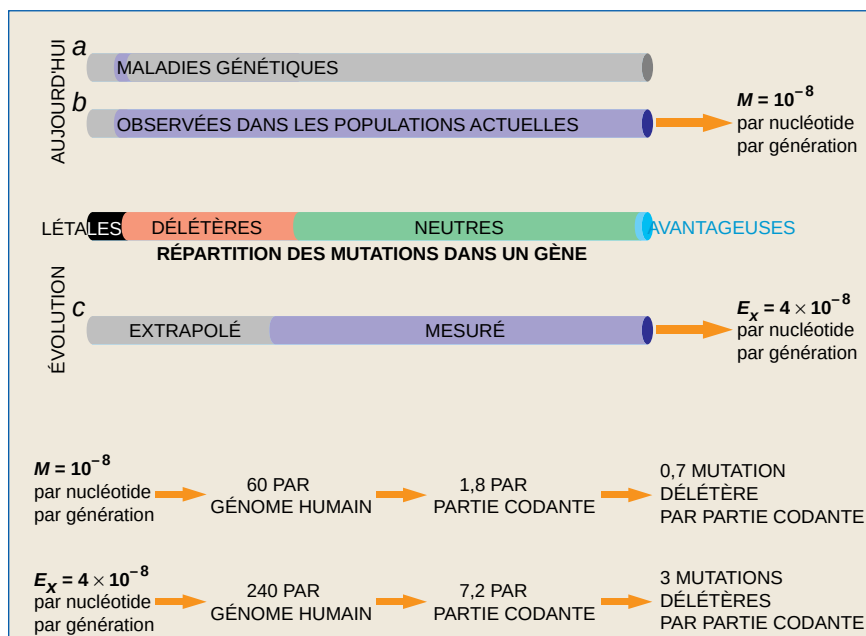




2. Pour estimer le taux de mutation, on analyse les maladies génétiques, mais ces maladies concernent une toute petite partie du génome (a) et il est difficile de généraliser à l'ensemble du génome. On répertorie aussi les mutations entre parents et enfants (b). On en déduit M , le taux de mutation observé dans la population actuelle. Par ailleurs, les biologistes des populations estiment E_x le taux des mutations qui se sont fixées au cours de l'évolution (a). Étrangement, on trouve E_x est supérieur à M , ce qui signifierait que les mutations s'installent plus vite qu'elles ne se créent.

mutations à la source. Intuitivement, lorsque vous comparez l'un de vos gènes à celui d'un ancêtre d'il y a un million d'années, les différences sont d'une part dues aux mutations bénéfiques sélectionnées et conservées au cours du temps (une faible fraction du total), d'autre part, et pour l'essen-

tiel, aux mutations produites dans la descendance et qui n'ont pas eu d'effet sélectif. Cette égalité suppose, entre autres, que les mutations se produisent indépendamment.

Finalement, ce raisonnement aboutit à un taux de mutations fixées au cours de l'évolution égal au taux de mutations produites (E est égal à M). Or, le taux des mutations fixées fourni par l'évolution moléculaire ($E_x = 4 \times 10^{-8}$ mutation par nucléotide et par génération) est de deux à quatre fois supérieur au taux des mutations produites fourni par la génétique (M). Certes, ces deux valeurs sont incertaines, mais, même en tenant compte des incertitudes, un écart d'un facteur au moins deux demeure : les mutations s'installent (critères d'évolution moléculaire) plus vite qu'elles ne sont produites (critère génétique). Où est l'erreur ?

HYPOTHÈSES ERRONÉES ?

Le taux de mutations produites mesuré par la génétique (M) me semble correct, mais le raisonnement qui permet de relier E à M est suspect. Les hypothèses de travail de la biologie des populations pourraient être remis en cause, notamment celle selon laquelle les mutations surviennent indépendamment. Souvent, dans un intervalle de deux ou trois générations, deux mutations différentes

apparaissent sur un même gène, chez deux individus d'une petite population humaine. Or, si les mutations surviennent de manière indépendante, de telles occurrences seraient rarissimes.

Les généticiens des populations ne tiennent pas compte des mécanismes génétiques qui violent l'indépendance des mutations et les concentrent en certaines régions du génome. Comme ils estiment que leur évaluation du taux de mutations fixées (E_x) est fiable, ils concluent que l'estimation du taux de mutations engendrées (M) est erroné (ce qui n'est nullement exclu). En suivant ce raisonnement, on aboutit à un taux de mutation chez l'homme qui serait supérieur ou égal à 4×10^{-8} par nucléotide et par génération. D'où 240 mutations par génération, dont sept à huit, à chaque naissance, dans les régions codantes.

Selon une récente étude tirée des comparaisons de séquences dans un gène, 40 pour cent des mutations seraient délétères. C'est la mesure «en négatif» des mutations manquantes que l'on aurait dû trouver, et qui ont donc été éliminées. Ainsi, à chaque naissance, trois à quatre mutations sont désavantageuses. Le généticien des populations James Crow, de l'Université du Wisconsin, estime que chaque mutation délétère doit être éliminée par une mort prématurée ou par des chances de reproduction diminuées. Ce qui implique trois morts «génétiques» par personne ! Pourquoi l'espèce humaine n'est-elle pas éteinte ?

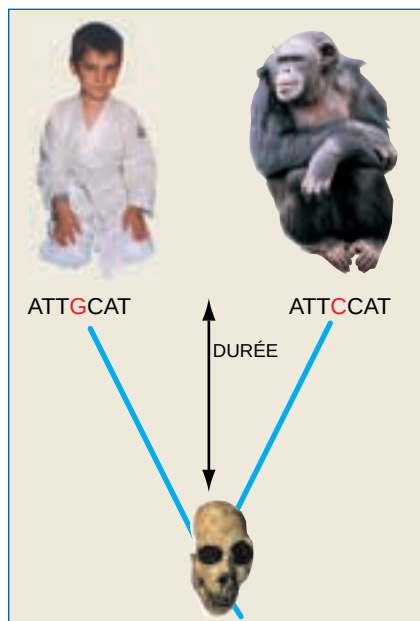
J. Crow invoque la reproduction sexuée, qui dilue les mauvais gènes, et inversement, des interactions entre mauvais gènes qui les élimineraient par paquets. Si ces effets jouent dans le sens voulu, ils ne me semblent pas suffisamment efficaces pour éliminer la difficulté. Pour l'avenir de l'espèce humaine, espérons que les généticiens des populations se trompent, lorsqu'ils passent des taux de mutations fixées aux taux de mutations produites.

Jacques NINIO est physicien au Laboratoire de physique statistique de l'École normale supérieure de Paris.

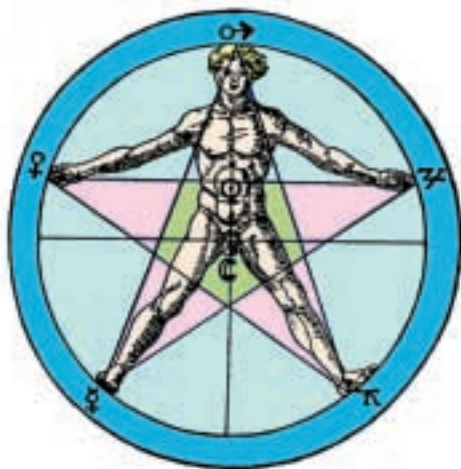
J.F. CROW, *The odds of losing at genetic roulette*, in *Nature*, vol. 397, pp. 293-294, 1999.

J. FEINGOLD, *Mutations multiples d'un même gène dans les petites populations*, in *Compte rendus de l'Académie des sciences, Sciences de la vie*, vol. 321, pp. 553-555, 1998.

J. NINIO, *The evolutionary design of error-rates and the fast fixation enigma*, in *Origins of Life*, vol. 27, pp. 609-621, 1997.



3. Les biologistes des populations comparent l'ADN de deux espèces dont on peut dater un ancêtre commun grâce à l'étude de fossiles. De la sorte, on estime le taux des mutations qui se sont installées au cours de l'évolution.



La numérologie du nombre d'or

JEAN-PAUL DELAHAYE

La géométrie ne donne pas le secret du beau : le chemin des mathématiques à la numérologie est dangereux, parce que riche en surinterprétations.

Le nombre d'or est la constante $\Phi = (1 + \sqrt{5})/2 = 1,61803\dots$, affublée d'autres dénominations aux relents mystiques telles que section dorée ou divine proportion. La notation Φ , introduite par Théodore Cook en 1914, est commode ; nous l'utiliserons pour traiter des périodes antérieures. Contrairement au nombre π , le symbolisme n'en est pas fixé : à la place de Φ , vous trouverez parfois la notation τ ou ϕ .

Pourquoi existe-t-il plus de livres sur le nombre d'or que sur n'importe quel autre nombre ? Aurait-il des propriétés mathématiques exceptionnelles qui le rendraient plus important que ses concurrents directs : $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$, $\sqrt{5}$, π ou e ? A-t-il été utilisé par les Égyptiens pour dessiner le plan de la grande pyramide ? Les Grecs ont-ils conçu la façade du Parthénon en utilisant ses propriétés ? Était-il un canevas secret pour Léonard de Vinci ou d'autres peintres ? La taille d'un être humain bien proportionné est-elle Φ fois la hauteur de son nombril ? Plus généralement, les canons du beau doivent-ils s'appuyer sur Φ ? La réponse à ces questions ne peut être impulsive. Le plus difficile sera de comprendre que répondre oui à certaines n'oblige pas à répondre oui aux autres.

EUCLIDE ET LES GÉOMÈTRES ANTIQUES

L'histoire de Φ commence trois siècles avant notre ère, à une époque où on ne le considérait pas comme un nombre : pour Euclide, comme pour tous les Grecs de son époque, seuls les entiers sont des nombres, et les rapports entre grandeurs, surtout les rapports irrationnels comme $\sqrt{2}$ ou Φ , sont traités avec prudence.

Euclide, dans ses célèbres *Éléments* aborde le problème du partage d'un segment AB par un point C qui le coupe « en extrême et moyenne raison », ce qui signifie par le point C tel que $AB/AC = AC/CB$. La solution avec nos notations modernes s'obtient en posant $AB/AC = x$. Puisque $AC + CB = AB$, $(AC + CB)/AC = AC/CB$,

et donc x doit vérifier $1 + 1/x = x$, ou encore $x^2 - x - 1 = 0$. Cette équation du second degré a une racine positive, $\Phi = (1 + \sqrt{5})/2$, soit 1,61803... et une racine négative, $\Phi' = (1 - \sqrt{5})/2$, soit -0,61803...

De cette définition de Φ , il résulte immédiatement que : $1/\Phi = \Phi - 1$, $\Phi^2 = \Phi + 1$. Pour connaître l'inverse de Φ , il suffit de lui soustraire 1 ; pour connaître son carré, il suffit de lui ajouter 1. Certes, le fait est amusant et remarquable, mais c'est une conséquence immédiate de la définition, comme il résulte de la définition de $\sqrt{2}$ que $1/\sqrt{2} = \sqrt{2}/2$ (l'inverse de $\sqrt{2}$ est la moitié

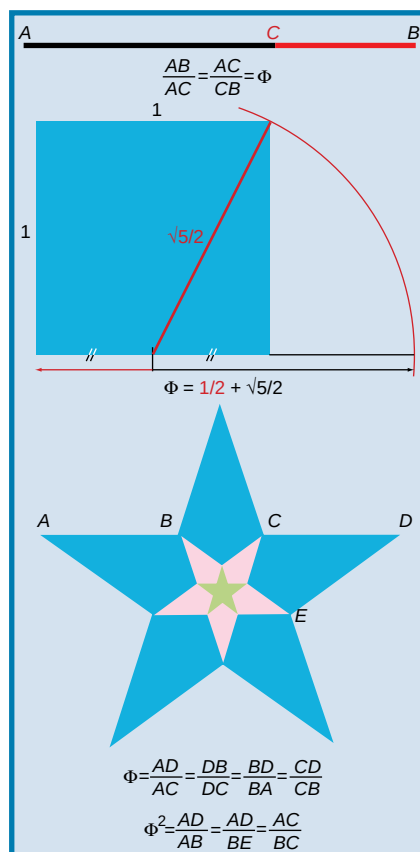
de $\sqrt{2}$), ce qui est aussi amusant et remarquable, mais pas magique !

Euclide utilise ce rapport pour construire des pentagones et formuler des propriétés du dodécaèdre et de l'icosaèdre. Ces liens ne sont rien d'autre que l'analogue de ceux qui existent entre $\sqrt{2}$ et le carré (la diagonale d'un carré de côté unité vaut $\sqrt{2}$), et le cube (dont les faces sont des carrés), ou l'analogue des liens qui existent entre $\sqrt{3}$ et le triangle équilatéral (la hauteur d'un triangle équilatéral de côté unité est $\sqrt{3}/2$), l'hexagone (décomposable en triangles équilatéraux), le tétraèdre (dont les faces sont des triangles équilatéraux), l'icosaèdre (pour la même raison), et le cube (la diagonale d'un cube de côté unité est $\sqrt{3}$).

La structure de notre espace et la géométrie élémentaire tissent ces liens qui n'ont rien de secret, ni de mystique. Vraisemblablement ce partage en extrême et moyenne raison était connu des pythagoriciens, et certains font remonter l'apparition de Φ à la Haute-Égypte, mais sans le moindre indice sérieux.

Euclide étudie par jeu et pour le plaisir les découpages en extrême et moyenne raison qui sont le sujet d'exercices de géométrie. La proposition III du livre XIII énonce par exemple que : une ligne est coupée en extrême et moyenne raison, le carré du plus petit segment, augmenté de la moitié du plus grand segment, est égal au quintuple du carré de la moitié du plus grand segment, ce qui traduit, avec nos notations, donne : $(1 + \Phi/2)^2 = 5 (\Phi/2)^2$ qui, en développant, devient $1 + \Phi + \Phi^2/4 = 5\Phi^2/4$, relation équivalente à $\Phi^2 = \Phi + 1$. Aucun commentaire admiratif ou esthétique n'accompagne l'utilisation de ce rapport de grandeur qui n'est, pour Euclide, qu'un outil commode.

Le livre de Roger Herz-Fisher (1987, 1998, Dover Publication, New York) retrace dans le détail et avec une étonnante érudition cette aventure du « rapport en extrême et moyenne raison » chez les géomètres jusqu'au XIX^e siècle. Loin d'être une pièce centrale de la science mathé-



1. Φ et la symétrie d'ordre cinq. Euclide utilise le découpage en extrême et moyenne raison. On indique ici la construction géométrique de Φ et les propriétés du pentagone étoilé.

matique qui s'élabore, Φ n'apparaît souvent qu'au détour d'une figure ou d'une équation que, rétrospectivement, nous interprétons comme liée à lui. Aucun mysticisme ne lui est attaché. Le nombre Φ est la solution d'une équation du second degré, alors qu'en revanche les nombres π et e , ne le sont pas puisqu'ils sont transcendants (un nombre transcendant n'est racine d'aucune équation polynomiale quel qu'en soit le degré).

UN MOINE GÉOMÈTRE

La naissance de Φ comme objet d'attention particulière et de culte est due au moine franciscain Luca Pacioli (vers 1445-1514), qui écrit à Milan, en 1498, un ouvrage qui lui est consacré, intitulé *De divina proportionne*. Il fait un usage géométrique systématique du partage en extrême et moyenne raison dont, en bon professeur de théologie, il remercie Dieu en qualifiant ce partage de divin (d'où le titre de son ouvrage), en particulier à cause de ses relations avec le dodécaèdre qui, chez Platon, représente l'Univers. Léonard de Vinci dessinera pour cet ouvrage soixante polyèdres. Deux annexes seront ajoutées plus tard, l'une traitant d'architecture et l'autre des proportions du corps humain. Ces annexes ne mentionnent pas la divine proportion, à laquelle Pacioli n'attribue aucune propriété esthétique particulière.

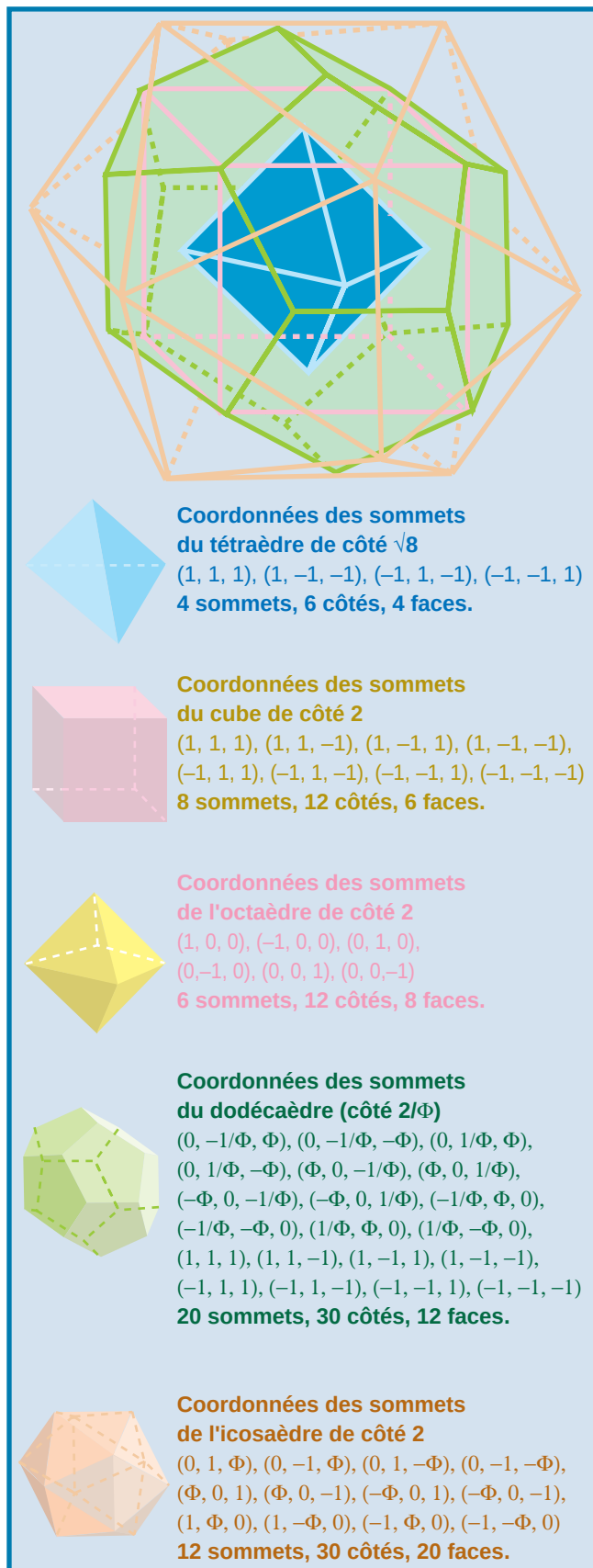
Léonard de Vinci, dans son traité de la peinture, ne mentionne pas la divine proportion lorsqu'il traite de composition ou du corps humain. Le fameux homme vitruvien de Léonard de Vinci, qui sert d'emblème à une société de travail par intérim, ne se fonde pas sur la divine proportion, comme on l'a parfois prétendu, mais sur un cercle, un carré et des divisions en quarts et huitièmes.

En cherchant bien, on peut prétendre que certaines œuvres de cette époque, ou même plus anciennes, ont été conçues en s'appuyant sur un découpage géométrique du tableau ou de ses éléments (personnages, objets, etc.) utilisant la divine proportion, mais aucun traité de peinture ou d'architecture de cette époque ne mentionne ce mode de découpage, alors qu'on en cite bien d'autres utilisant des rapports entre nombres entiers $5/8$, $2/3$, etc.

À cette époque aussi, les théoriciens formulent de nombreux canons pour dessiner le corps humain, mais toujours fondés sur des rapports de nombres entiers. Dans son traité des proportions, Lomazzo (1649) indique, par exemple, que le corps doit être 7,5 fois plus grand que la tête. Alberti, dans son ouvrage *Della re aedificatori*, publié en 1485, fonde sa théorie des proportions sur les rapports musicaux : $1/2$, $3/4$, $2/3$, $4/6/9$, $9/6/16$, etc. Les artistes et maçons du Moyen Âge utilisent de nombreux procédés pour structurer les tableaux et les vitraux. Des triangles équilatéraux, des carrés posés sur la pointe, des octogones, des hexagones sont fréquemment utilisés. Plus rarement, on se sert de pentagones, et alors naturellement, apparaissent des rapports utilisant $\sqrt{5}$, et donc la divine proportion, dont la présence n'est que la conséquence naturelle de l'utilisation d'une symétrie d'ordre cinq.

Alberti et Dürer montrent qu'il n'existe pas de règle unique : personne à cette époque ne soutient que la divine proportion doit organiser les compositions géométriques. C'est une affirmation gratuite et infondée que de prétendre qu'au sein de sociétés occultes s'est transmise une «tradition égyptienne» pour composer des œuvres architecturales ou picturales à partir de la divine proportion.

Le mythe d'un secret de la beauté cachée dans Φ apparaît au XIX^e siècle en Allemagne, où Adolf Zeising (1810-1876), professeur de philosophie à Leipzig et à Munich, défend une théorie qui met en avant la section dorée et l'érige en norme esthétique. Il applique sa théorie à la morphologie, aux temples grecs, aux cathédrales, aux tableaux de Raphaël. Sûr de son



2. Quatre des cinq solides platoniciens emboîtés les uns dans les autres. Les coordonnées des cinq polyèdres réguliers peuvent toutes être exprimées uniquement à partir de 1 et Φ (à condition toutefois de choisir une arête de longueur $2\sqrt{2}$ pour le tétraèdre, 2 pour le cube, $\sqrt{2}$ pour l'octaèdre, $2/\Phi$ pour le dodécaèdre, 2 pour l'icosaèdre).

fait, il prévient qu'il ne faut pas se laisser décourager si le sujet ne semble présenter aucun point commun avec cette loi : bien au contraire, recommande-t-il, il faut poursuivre l'investigation. Ce conseil a été largement suivi... d'effets désastreux.

Sa théorie sera reprise et poussée à son paroxysme au xx^e siècle, conduisant aux plus ridicules affirmations et à une révision rétrospective de l'histoire de l'art, que certains voudront repenser uniquement en fonction de Φ . Cette théorie esthétique et bientôt mystique du nombre d'or a un grand prêtre, le diplomate roumain Matyla Ghyka, qui publia plusieurs traités sur la question, ouvrages dont le sérieux historique est aujourd'hui fortement mis en doute.

Cet engouement quasi religieux a donné naissance à une multitude d'ouvrages qui, s'appuyant sur quelques propriétés mathématiques (bien réelles) et une reconstruction historique (elle, imaginaire), en déduisent une vision philosophique et superstitieuse que l'historien de la géométrie Roger Hertz-Fishler qualifie de «numérologie d'or».

Ces ouvrages répètent les mêmes erreurs historiques et les mêmes excès d'interprétation. On y attribue par exemple à Léonard de Vinci une conception esthétique basée sur la divine proportion que rien n'atteste. On propose, à l'aide de découpages arbitraires (rarement simples) et parfois truqués (on arrondit les mesures), de voir dans le plan des monuments antiques ou dans les tableaux des grands maîtres, ou même dans les œuvres de Mozart, des divisions selon la section dorée qui n'y sont vraisemblablement pas.

À propos du Parthénon d'Athènes, j'ai remarqué que certains utilisent trois marches pour en inscrire la façade dans un rectangle d'or (aux proportions $\Phi : 1$). D'autres en prennent quatre, et auraient donc dû échouer, mais miracle, ils réussissent aussi, car ils s'autorisent un peu plus de largeur !

LA GUÉRITE AUSSI

Jean-Pierre Adam, dans son ouvrage *Le passé recomposé : chroniques d'archéologie fantastique* (Éditions du Seuil, 1988), a démontré le manque de fondement et l'absurdité de ces reconstructions *a posteriori* qui contredisent le plus souvent ce qu'on sait par ailleurs. Les *Dix livres d'architecture* de Vitruve écrits sous le règne d'Auguste, au I^er siècle, nous instruisent sur les méthodes et les techniques de l'architecture antique, fondées sur les rapports entiers. Pour tester la technique des décrypteurs de secrets, J.-P. Adam a recher-

ché dans les dimensions de la guérite de la marchande de billets de la Loterie nationale de l'avenue de Wagram, à Paris, s'il n'y avait pas d'intéressantes relations géométriques. Il a ainsi découvert que le rapport entre la hauteur sur la largeur de la fenêtre arrière est miraculeusement 3,142, soit à peu de chose près le nombre π . Il y a aussi trouvé dans l'épaisseur de la tablette 149 le même nombre (aux unités près) que celui qui donne la distance de la Terre au Soleil. Ailleurs encore, il a repéré la date de la bataille de Poitiers et la formule chimique de la naphtaline. Je ne doute pas qu'un peu d'attention lui aurait fait découvrir la section d'or.

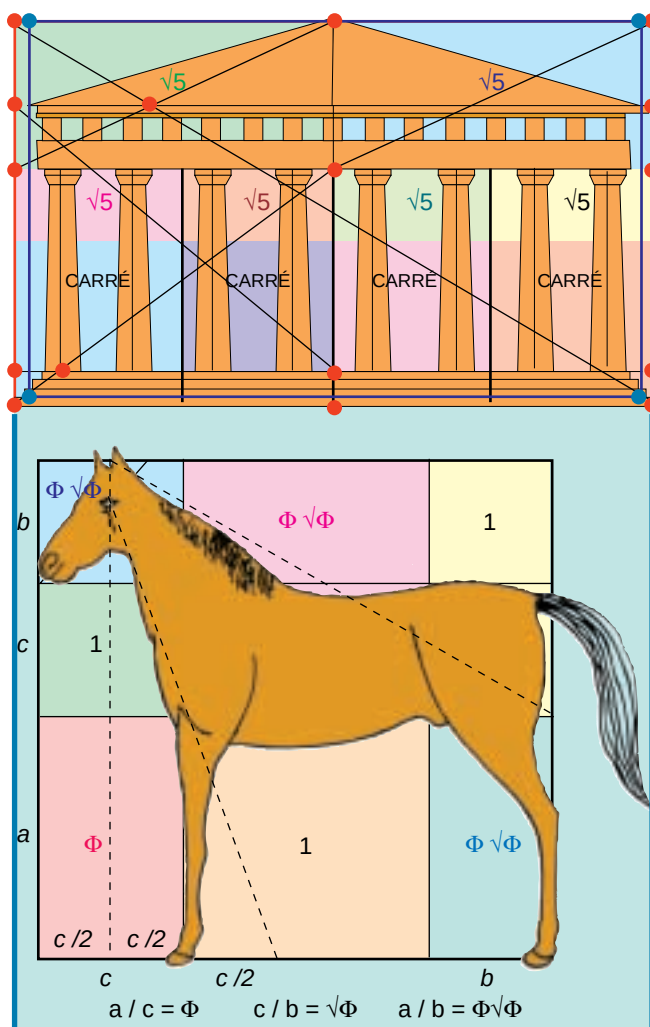
Φ est d'ailleurs dans cette guérite car, d'après Franc Lonc, π vaut exactement $6\Phi^2/5 = 3,141640$ (pour cet illuminé, c'est la vraie valeur de π) : dès qu'on découvre π , on découvre donc Φ et réciproquement, et donc Φ est inscrit dans la guérite. Remarquons que les spécialistes, là encore, ne s'accordent pas

sur le rapport entre Φ et π , car certains prétendent qu'en fait $\pi = 4/\sqrt{\Phi} = 3,14460...$

Aucune de ces relations bien sûr n'est vraie. D'une part, les développements numériques de tous ces nombres montrent qu'aucune telle égalité n'existe ; d'autre part, si de telles relations étaient vraies, π ne serait pas transcendant (or cela est démontré depuis 1882). Rien de ce que l'on sait ne permet d'affirmer que les dimensions des pyramides et des temples égyptiens sont fondées sur le nombre d'or ou sur π . Tout juste pour certaines constructions peut-on raisonnablement faire l'hypothèse que leur forme géométrique se déduit du triangle rectangle de côtés 3, 4, 5.

Pour les défenseurs des théories du nombre d'or, tout dans l'art s'y ramène, et mieux, tout dans la nature y est secrètement rattaché. Le plus ridicule y côtoie parfois le plus sordide et c'est ainsi que, dans l'un de ces ouvrages médiocres écrit dans les années 1940 (de Neroman, Devry-Livre, 1945, 1981), on trouve une comparaison raciale basée sur la mesure de la hauteur du nombril.

Plus le nombril est situé à une hauteur proche de celle correspondant à la division en extrême et moyenne raison, plus, d'après Neroman, la «race» doit être considérée comme évoluée. L'auteur explique : «Il convient de remarquer que l'écart en dessous signifie que les jambes sont trop courtes par rapport au buste ; or ceci est propre aux adolescents qui n'ont pas atteint leur taille définitive :



3. Le Parthénon et le cheval. H. Huntley propose de faire entrer la face avant du Parthénon dans un rectangle d'or. Pour cela, il ajuste un rectangle qui frôle le toit, mais n'inclut que trois des quatre marches du socle de l'édifice (en bleu). M. Ghyka propose un autre encadrement qui s'ajuste moins bien au toit, mais inclut cette fois les quatre marches (en rouge). Ces deux preuves que le rectangle d'or a été utilisé pour concevoir le plan du Parthénon se contredisent : on ne peut ajuster un rectangle d'or simultanément avec le toit et la base. Pourtant cet exemple est cité dans tous les livres défendant l'idée que le nombre d'or, secret du beau, était utilisé par les Grecs. Les défenseurs de la théorie esthétique du nombre d'or tentent, à toute force, de prouver que la nature utilise Φ pour fixer les proportions des êtres vivants. Les schémas proposés sont souvent compliqués et peu convaincants. La prétendue «analyse harmonique» du cheval utilise non seulement Φ , mais aussi $\sqrt{\Phi}$ et $\Phi\sqrt{\Phi}$, ce qui laisse dubitatif.

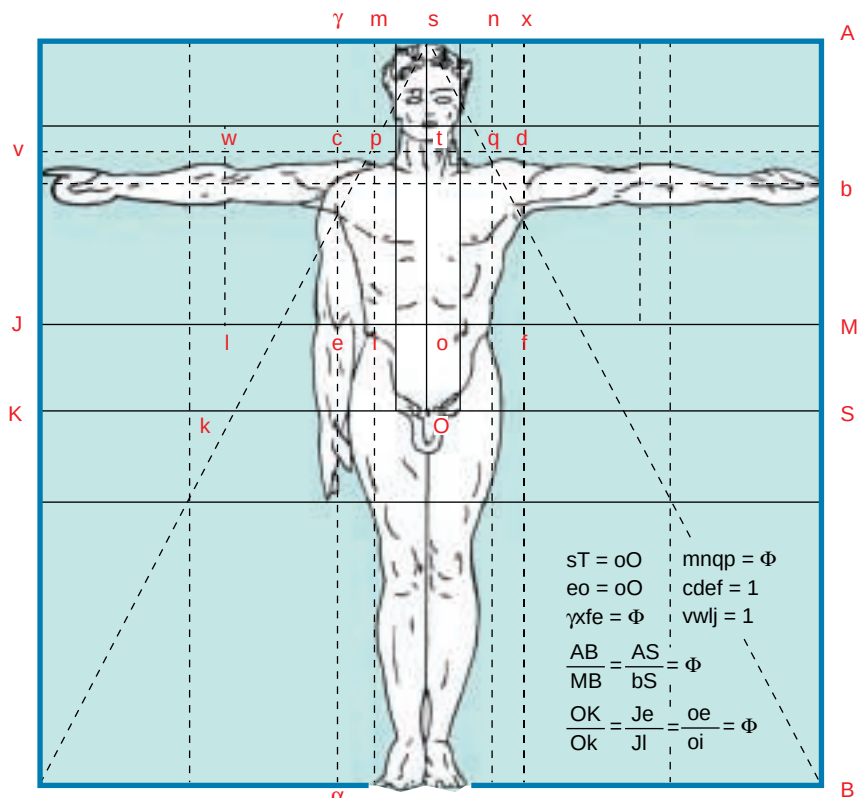
les jambes très courtes croissent plus vite que le buste, jusqu'à ce que la proportion normale soit atteinte, et par conséquent le rapport entre la hauteur du nombril et la taille croît constamment de la naissance à la puberté ; il atteint sa «valeur d'or», celle de la divine proportion, en même temps que sa taille définitive, en sorte que cette valeur apparaît comme une limite vers laquelle la nature tend, pouvant l'atteindre, mais non pas la dépasser. [...] Le symbolisme impose cette conclusion : s'il existe une race dont le nombril est trop bas pour la grande majorité des individus, cette race n'a pas encore atteint l'âge de sa maturité.» Dans le classement par hauteur du nombril, l'auteur en relève trois : «la Hottentote métissée de la tribu Korama, la Tamoule de Ceylan, la Wende de race slave ; toutes les autres ont le nombril trop bas, et cet écart sur la divine proportion est surtout accusé chez la juive, et chez la jeune Négrille de l'Afrique équatoriale». Ainsi, le nombre d'or, manipulé sans précaution dans ce délire que nul mathématicien et nul historien des sciences ne cautionneront jamais, est mis au service des causes les plus sinistres.

LE NOMBRE D'OR DANS LA NATURE ?

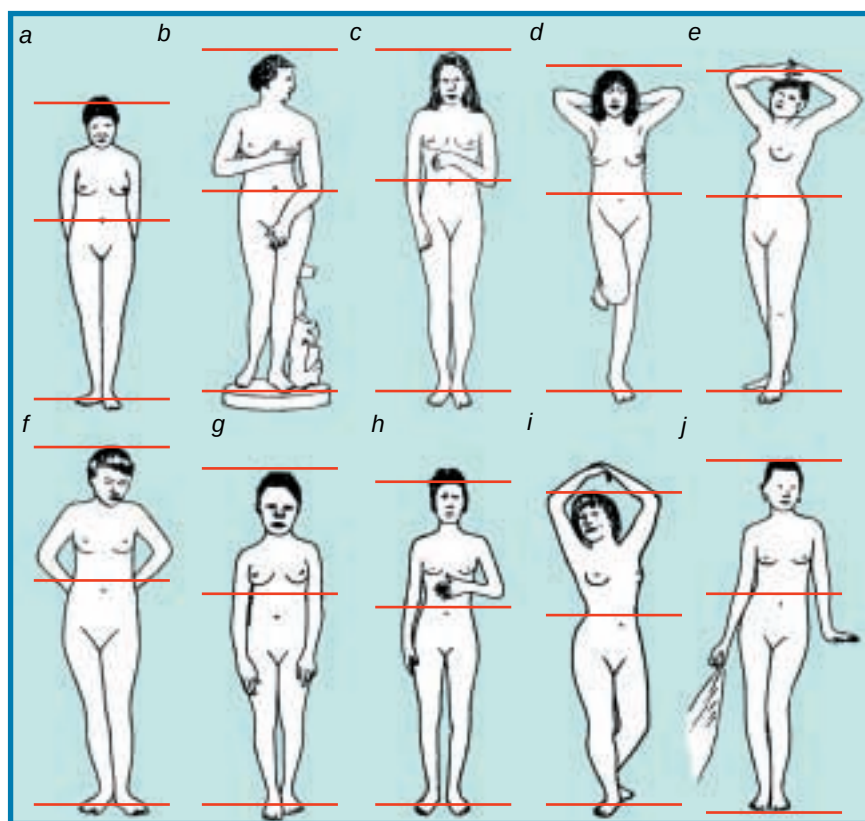
Malgré tout, faut-il se poser la question de savoir si le nombre d'or possède une valeur esthétique particulière ? Pourrait-on mener des expériences objectives ? Est-il vrai par exemple qu'un rectangle ou une croix ayant des proportions $1 : \Phi$ sera considéré comme plus beau ?

Des expériences faites sur cette question montrent que la réponse est non. La croix préférée d'après des études de Gustav Fechner est la croix où la barre verticale recoupe la barre horizontale à la moitié, les rapports venant ensuite étant $4/7$, $5/9$, $5/8$. Pour les rectangles, l'étude des tableaux présents dans les musées européens montre que le châssis le plus employé est le châssis $4/3$ pour les tableaux en largeur, et le châssis $4/5$ pour les tableaux en hauteur. Récemment, George Markowsky a mené une expérience systématique dans laquelle il présentait 48 rectangles différents à des sujets qui devaient indiquer celui qu'ils trouvaient le plus beau. Le rectangle le plus souvent retenu est celui de proportion $1,83 : 1$, loin devant ceux correspondant à Φ et $1/\Phi$ qui étaient aussi proposés.

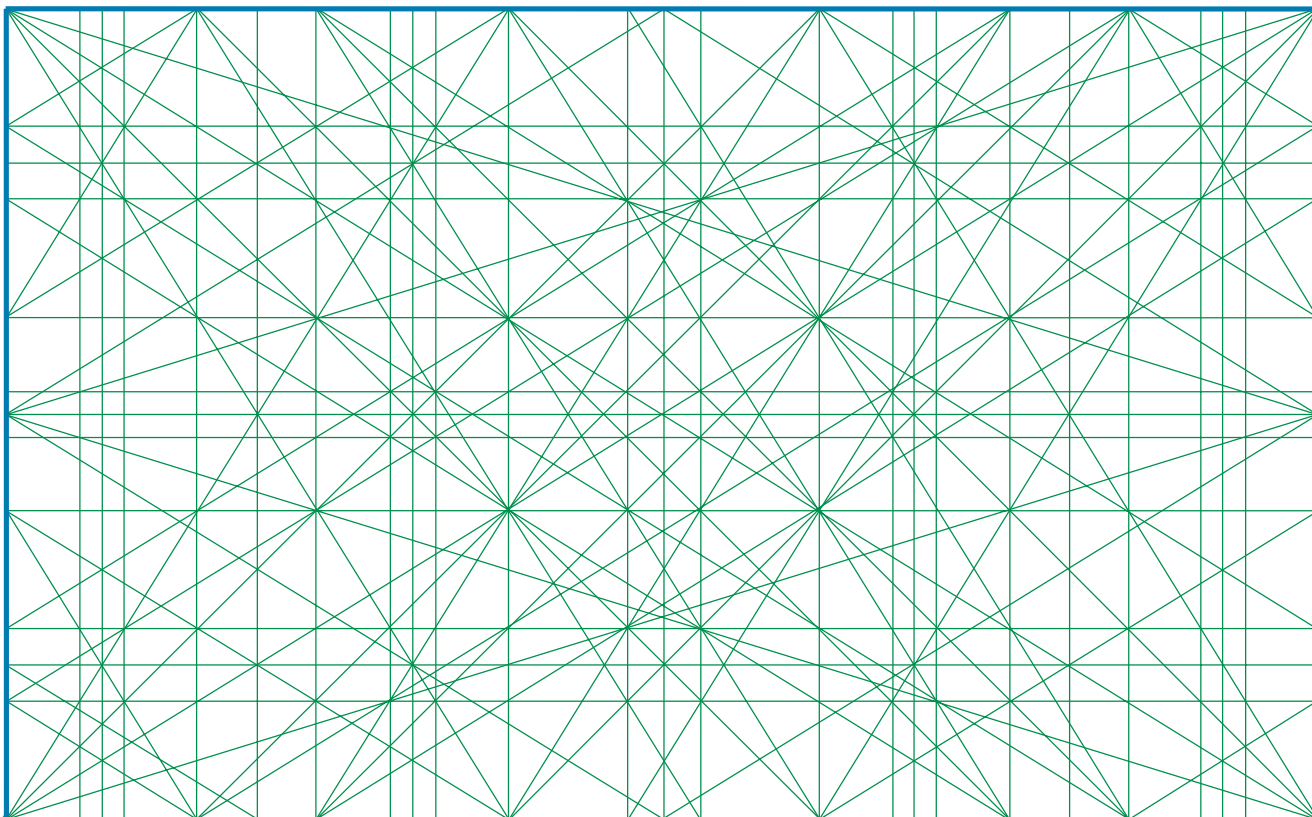
Les objets quotidiens confirment que le rectangle d'or n'est pas préféré. Les formats normalisés des papiers européens A1, A2, A3, A4 (le fameux $21/29,7$ que nous utilisons tous) correspondent à un rectangle de proportion $\sqrt{2} : 1$. Ces formats se déduisent les uns des autres par décou-



4. «Analyse harmonique» du corps humain : on trouve Φ partout en traçant des traits ad hoc.



5. Des mathématiques au racisme : où peut mener Φ ! La théorie esthétique de la divine proportion permet à ceux qui y croient non seulement de lire le secret de la nature, mais aussi d'évaluer le degré de perfection de ses créatures. D. Neroman pensait que le nombril devait diviser la hauteur d'un être humain exactement selon la divine proportion. Sa théorie devient inquiétante lorsqu'il l'utilise pour évaluer le degré de maturité des «races». (a) Femme hottentote métissée, (b) La Vénus de Médicis, (c) Femme tamoule (Ceylan), (d) Jeune femme arabe de Tunis, (e) Femme wende (slave), (f) Cinghalaise de Ceylan, (g) Jeune Négrille (Afrique équatoriale), (h) Femme amahara (Abyssinie), (i) Femme juive, (j) Jeune siamoise.



6. Lorsque qu'on découvre les possibilités du rectangle d'or de D. Wiener, on comprend qu'on réussira toujours l'analyse harmonique

de tout : des ribambelles de rectangles et de lignes du même genre construits avec n'importe quel nombre feraient aussi bien l'affaire !



National Gallery of Art, Washington, Chester Dale Collection - ADA/GP, Paris, 1999

7. Des peintres qui croyaient aux vertus esthétiques de Φ l'utilisèrent délibérément. C'est là un exemple d'une théorie autoréalisatrice : le fait d'y croire tend à la rendre vraie. Un exemple incontestable

d'utilisation du nombre d'or est le tableau de Salvador Dali *Sacrement de la dernière cène* (National Gallery Washington Collection Chester Dale). Dans le cas de Dali, cette utilisation est un jeu.

page en deux (le rectangle $\sqrt{2} : 1$ est le seul qui, lorsqu'il est coupé en deux par le milieu, donne deux rectangles semblables au rectangle initial). Pas plus que le format de papier américain, ou celui de cette revue, les rectangles utilisés pour les écrans de cinéma et de télévision etc., ne sont des rectangles d'or. Le format des cartes de crédit s'en approche, mais reste une exception.

Même si, objectivement, le rectangle d'or ne possède pas de propriétés esthétiques exceptionnelles, rien n'interdit à ceux qui pensent le contraire de les utiliser comme des canevas préparatoires à leurs toiles ou aux plans de leurs constructions. C'est d'ailleurs ce qui se produit, et c'est pourquoi de nombreuses œuvres d'art utilisent le nombre d'or. Le tableau de Salvador Dali *Sacrement de la dernière cène* est l'une de ces œuvres bâties sur le nombre d'or (il contient d'ailleurs un dodécaèdre). D'autres comme *Le repas chez Levi* de Véronèse, *La résurrection* du Tintoret, par exemple, semblent aussi conçus en utilisant aussi un découpage fondé sur Φ . Au début du siècle, Φ a d'ailleurs été explicitement au centre des préoccupations des peintres Maurice Denis, Paul Sérusier, Juan Gris, Seurat, Puvis de Chavannes qui l'utilisèrent. La théorie esthétique du nombre d'or en peinture est un bel exemple de théorie auto-réalisatrice : le seul fait de l'énoncer et d'y croire fait qu'on l'applique et donc la rend vraie, du moins partiellement.

Les théories esthétiques du nombre d'or gênent par leur côté totalitaire et exclusif. D'autres théories esthétiques plus ouvertes, comme celles de Jay Hambridge et d'Edwards B. Edwards aux États-Unis, ont accordé autant d'importance aux autres nombres irrationnels élémentaires $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$ ou $\sqrt{5}$ et ont suggéré d'exploiter les propriétés spécifiques clairement identifiées des rectangles fondés sur ces nombres. De telles théories, à conditions qu'elles ne prétendent pas interdire l'utilisation de divisions par des rapports entiers (eux aussi intéressants), sont utiles et conduisent incontestablement à d'intéressantes réussites picturales. Ces considérations esthétiques ne sont pas absurdes, ramenées à leurs justes, mais non divines, proportions.

CONSTANTES FRÉQUENTES

Finalement, en mathématiques et en science, le nombre d'or est-il important ? Le nombre d'or est naturellement associé à certaines figures géométriques simples, mais aussi à d'autres situations qui n'ont rien à voir avec la géométrie. Comme chacun le sait, la suite de Fibonacci 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13... (chaque terme est obtenu

8. LE NOMBRE D'OR ET FIBONACCI

La suite de Fibonacci est définie par $F_1=1$, $F_2=1$, $F_3=2$, $F_4=3$, $F_5=5$, $F_6=8$, $F_7=13$... Chaque élément est la somme des deux précédents.

Cette suite possède de nombreux liens avec le nombre d'or.

(a) La limite

La limite, quand n tend vers l'infini, de F_{n+1}/F_n est Φ : une bonne approximation de Φ est donnée par le quotient F_{n+1}/F_n . Ainsi $13/8 = 1,625$, alors que $\Phi = 1,6181339$...

(b) Les formules donnant Φ^n

$\Phi^2 = \Phi + 1$; $\Phi^3 = \Phi^2 + \Phi = 2\Phi + 1$; $\Phi^4 = \Phi^3 + \Phi^2 = 3\Phi + 2$; $\Phi^5 = \Phi^4 + \Phi^3 = 5\Phi + 3$; $\Phi^6 = \Phi^5 + \Phi^4 = 8\Phi + 5$. La formule générale est : $\Phi^{n+2} = \Phi^{n+1} + \Phi^n = F_{n+2}\Phi + F_{n+1}$.

(c) La formule de Binet

$F_n = (\Phi^n - (-1/\Phi)^n) / \sqrt{5}$.

(d) La formule avec la partie entière

$F_n = [\Phi^n / \sqrt{5} + 1/2]$ ($[x]$ désigne la partie entière de x).

comme la somme des deux précédents) est fortement liée à Φ .

Certains résultats mathématiques font intervenir Φ en dehors de tout contexte géométrique. Ainsi, un résultat d'optimisation indique que, pour connaître le maximum d'une fonction continue, croissante puis décroissante, une méthode très efficace consiste à l'évaluer en des points qui découpent le segment auquel on s'intéresse selon le rapport Φ .

La plus simple des fractions continues est celle de Φ :

$$\Phi = 1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \dots}}}}$$

Cela ne signifie pas que Φ est le plus simple des irrationnels : $\sqrt{3}$ pourrait aussi revendiquer ce titre, puisqu'il est présent dans le plus simple des polygones réguliers (le triangle équilatéral). Le nombre $\sqrt{2}$ lui aussi peut revendiquer ce titre (2 vient avant 3, $\sqrt{2}$ est associé à l'angle droit, le plus simple des angles) : il n'y a pas d'irrationnel le plus simple. La formule :

$$\Phi = \sqrt{1 + \sqrt{1 + \sqrt{1 + \sqrt{1 + \sqrt{1 + \dots}}}}}$$

est certes très belle, mais plus compliquée que $\sqrt{2} = \sqrt{1+1}$. D'autres occurrences de Φ apparaissent ici et là en mathématiques, mais nul mystère à cela : Φ est solution d'une équation simple et les choses simples se retrouvent partout ; il en va de même des autres constantes mathématiques e , π , $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$, qui, chacune à sa façon, est simple (la définition de chacune tient en quelques mots).

Le nombre π est évidemment bien mieux représenté dans la nature que Φ puisque dès qu'on rencontre un cercle ou une sphère, le nombre π est implicitement donné : mesurez la longueur du

périmètre du premier arbre venu et divisez-le par le diamètre vous trouverez une valeur proche de π ! De même, $\sqrt{2}$ apparaît dès que des carrés sont présents (il y en a dans les cristaux) et $\sqrt{3}$, dès qu'on a des réseaux triangulaires ou hexagonaux (cristaux, nids d'abeilles, par exemple), etc.

La découverte des quasicristaux (ayant une symétrie d'ordre cinq), des molécules dont la forme est celle d'un dodécaèdre, et des virus ayant aussi cette forme montre que la symétrie d'ordre cinq est plus fréquemment utilisée par la nature qu'on ne l'imaginait il y a 20 ans. Cela accroît légèrement l'importance en science de la constante mathématique Φ , qui cependant reste loin derrière $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$, π ou e .

Le mythe du nombre d'or plaît, car il procure à ceux qui l'adoptent l'illusion agréable de détenir un secret essentiel du monde. On peut parier que ce sentiment survivra longtemps encore : ni les travaux de Gustav Theodor Fechner qui, dès le XIX^e siècle le réfutait, ni ceux de Marguerite Neveux, qui dénonçant l'inconsistance de sa base historique, montrent le peu de sérieux de ses thuriféraires, ni bien sûr cet article, ne suffiront à l'éteindre.

J.-P. ADAM, *Le passé recomposé : chroniques d'archéologie fantasque*, Seuil, Paris, 1988.

C. BOULEAU, *Charpentes. La géométrie secrète des peintres*, Seuil, Paris, 1983.

M. GHYKA, *Le nombre d'or. Rites et rythmes pythagoriciens...*, Gallimard, 1931.

Roger HERZ-FISHER (1987, 1998, Dover Publication, New York)

H. E. HUNTLEY, *The Divine Proportion : A Study in Mathematical Beauty*, Dover Publications, New York, 1970.

M. NEVEUX. *Le nombre d'or. Radiographie d'un mythe (suivi de La divine proportion de H. Huntley)*, Seuil, 1995.

Les feux d'artifice

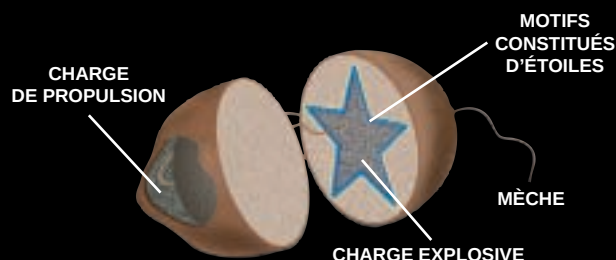
GEORGE ZAMBELLI

Aucune application de la chimie ne suscite autant d'émerveillement que les feux d'artifices. Aujourd'hui, lors des plus grands feux d'artifices, les ordinateurs synchronisent les mises à feu des fusées très bien temporisées avec la musique d'accompagnement. Les explosions elles-mêmes résultent de l'agencement précis (mais souvent secret) de poudre, de résine, de gomme, de papier et de ficelle. Cette structure des fusées a peu évolué pendant cinq siècles de pyrotechnie.

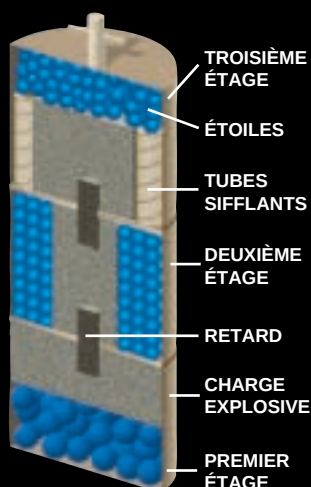
LES TUBES DE LANCEMENT, en métal ou en plastique, sont fixés au sol et chargés avant le spectacle. Un contacteur électronique commandé par ordinateur allume la mèche, qui enflamme de la poudre noire composée de nitrate de potassium, de charbon et de soufre – jusqu'à 170 grammes pour une fusée de 15 centimètres de diamètre et constituée de trois niveaux – chargée de propulser les fusées.

TUBES DE MORTIER

CERTAINES FUSÉES libèrent des motifs lumineux variés : étoiles, cœur, etc. Ces motifs proviennent de boulettes chimiques, disposées à la périphérie d'une enveloppe à la forme voulue et emplies de poudre explosive. L'ensemble est contenu dans une coquille sphérique pleine de sciure ou de cosses de riz.



UNE FUSÉE de 15 centimètres de diamètre peut exploser en plusieurs étapes au cours de son ascension jusqu'à plusieurs centaines de mètres d'altitude. L'étincelle passe d'un étage à un autre grâce à de petites mèches rigides, nommées retards. La quantité de poudre dans ces mèches détermine le laps de temps qui sépare deux explosions (entre une et huit secondes).



LES FUSÉES SIFFLANTES contiennent des tubes en carton qui renferment du perchlorate de potassium, de la gomme accroïque (une sécrétion végétale) et du benzoate de sodium ; ils sont bouchés par de l'argile à leur extrémité supérieure. Lorsque le mélange brûle, il libère des gaz qui sont injectés avec un sifflement aigu.

LES CHARGES EXPLOSIVES, à l'intérieur des fusées, enflamment des «étoiles» sphériques composées d'un mélange de poudre métallique, de sels chimiques et de colle. Les étoiles incandescentes peuvent changer périodiquement de couleurs selon les couches qui se vaporisent à leur surface et en libèrent d'autres de composition différente.

Paléontologie

L'âge du monde

Pascal Richet. Éditions du Seuil, 1999.

Jusqu'à la fin du XVIII^e siècle, l'Occident admettait que la Terre était âgée de 5 000 ans environ. Aujourd'hui, on a révisé cet âge à la hausse : il serait de 4,5 milliards d'années. Comment deux siècles d'études ont-ils conduit à une telle révision ? C'est le thème du livre intéressant de Pascal Richet, qui embrasse une histoire longue (elle commence chez les philosophes de la Grèce antique) et complexe (les approches successives qui ont été employées pour estimer l'âge du monde vont de l'exégèse biblique à la physique nucléaire, en passant par la géologie, l'astronomie et la thermodynamique).

On découvre, à la lecture de ce livre, combien de penseurs, parfois éminents, parfois un peu oubliés, se sont penchés sur ce problème. Plus longue encore est la liste de ceux dont les travaux ont contribué, de façon indirecte mais essentielle, à la résolution du problème, en établissant les principes de la thermodynamique, en mettant en évidence le rôle de la sélection naturelle ou en découvrant les rayons X. Au fil des pages, on rencontre aussi bien Aristote qu'Ernest Rutherford ou Jean Buridan, Pierre et Marie Curie que Léonard de Vinci, Thomas Huxley, Gottfried Wilhelm Leibniz ou Sadi Carnot... La question de l'âge du monde n'était pas simple, même pour ceux qui cherchaient la réponse dans la Bible (en témoignent les résultats discordants tirés des généalogies bibliques, y compris par des savants de l'envergure de Newton). D'ailleurs, pouvait-on vraiment donner un âge au monde ? N'était-il pas éternel, comme le pensaient Aristote ou James Hutton, qui ne trouvait « nul vestige d'un début – nulle perspective d'une fin » ? On ne doute plus, aujourd'hui, que la Terre ait eu un commencement, mais la question se pose pour l'Univers.

Quand la recherche de l'âge du monde se révéla un objectif scientifique légitime, beaucoup s'attaquèrent au problème. P. Richet a le grand mérite d'envisager l'évolution des idées en la matière dans un cadre très large. Il ne craint pas les digressions utiles, pas plus que les anecdotes révélatrices, qui rendent plus vivante, plus humaine, la kyrielle de personnages qu'il fait défiler devant le lecteur. L'auteur montre bien que les recherches qui visent à déterminer l'âge du monde,

que ce soit dans les astres, les strates ou les isotopes, sont le fait de chercheurs individuels, pas d'équipes, pas même d'écoles. Certes, ils travaillent dans un contexte, dans un environnement scientifique, mais les découvertes et les progrès fondamentaux sont dus à des individus. Ils font parfois fausse route, certains se trompent lourdement, leurs découvertes sont parfois fortuites, ou réalisées à une tout autre fin que celles auxquelles elles serviraient finalement, ils se heurtent à des oppositions diverses, peu scientifiques et parfois vigoureuses (qui viennent, suivant le lieu et l'époque, de l'Inquisition, de l'Université de Paris, du NKVD ou de la Gestapo !). Bref, ils sont humains. P. Richet nous les décrit d'ailleurs avec beaucoup de sympathie, sans aucun manichéisme : il n'y a pas de méchants réactionnaires qui auraient tenté de faire obstacle au progrès de la science, confrontés à de lumineux bienfaiteurs de l'humanité. Il y a des chercheurs qui tâtonnent, se fourvoient parfois, ont souvent des opinions divergentes et ne font pas de cadeaux à leurs adversaires – mais c'est la réalité de la science, sur laquelle il ne sert à rien de vouloir porter un jugement.

Bien sûr, les efforts de tant de talents divers ne font pas une histoire linéaire, un progrès continu des connaissances. Ce livre réserve donc quelques surprises : on verra comment Buridan, au XIV^e siècle, envisageait sans être inquiet des durées de centaines de millions d'années, position qui deviendra plus difficile dans une Renaissance troublée par l'intégrisme protestant et catholique, et empêtrée dans la théorie des correspondances entre microcosme et macrocosme. On verra aussi comment les tenants des « sciences dures » n'ont pas toujours raison. L'exemple le plus démonstratif est celui de William Thomson (qui devint lord Kelvin), dont les calculs (mathématiquement irréprochables) imposaient à la Terre un âge ne dépassant guère une vingtaine de millions d'années. Les biologistes contemporains, Darwin et Huxley en tête, ne se contentaient pas d'une si courte durée comme cadre de toute l'évolution des êtres vivants. Le conflit dura jusqu'à ce que la découverte de la radioactivité montre que Kelvin avait ignoré une source de chaleur fondamentale dans ses calculs sur le refroidissement de la Terre et l'évolution du Soleil.

Cette histoire aux multiples rebondissements est aussi une célébration de la science, d'autant plus efficace qu'elle est subtile. Pas de triomphalisme, pas de glorification d'un illusoire progrès inexorable des connaissances. L'avancement de la connaissance se fait par à-coups, la chance et le hasard y jouent un rôle notable, et les scientifiques sont

des hommes comme les autres. Toutefois la connaissance progresse.

C'est certainement là un des meilleurs livres d'histoire des sciences publiés en France ces dernières années.

Eric BUFFETAUT

Astronomie

Soleil noir. Histoire et mécanique des éclipses

Leïla Haddad et Alain Cirou. Coéditions le Seuil-Association française d'astronomie, 1999.

L'éclipse totale de Soleil, phénomène naturel grandiose, est un événement commercial et médiatique. De nombreuses revues ou livres décrivent ce spectacle, joignant parfois, pour les lecteurs, une paire de lunettes, en Mylar, afin de protéger efficacement leur vue lors de l'observation de l'éclipse partielle, très dangereuse pour la rétine. Les productions littéraires sont de qualités très diverses : du banal au très bon.

Le livre publié par les Éditions du Seuil et l'Association française d'astronomie est avant tout original par sa présentation : l'ouvrage est tout rond, comme le Soleil ou la Lune. Le texte est en blanc sur fond noir, entouré d'une marge circulaire avec, parfois, des photographies ou des schémas qui viennent le masquer partiellement... comme lors d'une éclipse.

Cette maquette a ses inconvénients : quelques illustrations sont trop petites pour être bien lisibles, et certains mots de vocabulaire scientifique auraient gagné à être mis en valeur par de la couleur, qui aurait ainsi facilité la lecture.

Le contenu de ce livre de bonne vulgarisation, au style attrayant, plus journalistique que didactique, est très bien documenté. On n'y trouve pas les erreurs historiques, hélas habituelles, concernant, par exemple, les légendes du *saros* (un cycle des éclipses, égal à 18 ans environ) qui aurait été « connu des Chaldéens » (suite à une erreur d'interprétation de Edmond Halley en 1692), ou de l'éclipse survenue en l'an 585 avant notre ère et qui aurait été « prévue » par Thalès (d'après Hérodote, un siècle plus tard), ou encore des malheureux Chinois Hi et Ho, exécutés il y a 45 siècles pour n'avoir pas su « prévoir » une éclipse. Au contraire, le livre mentionne clairement que ces anecdotes sont erronées. Les éclipses de Soleil ne sont réellement prévisibles que depuis Hipparque, un siècle seulement avant notre ère.

Les deux auteurs, journalistes de l'Association française d'astronomie, cherchent à faire partager leur passion de spectateur attentif et de photographe, et ils y réussissent plutôt bien. Quelques coquilles (de dates, notamment) n'empêcheront pas d'apprécier les cartes détaillées de l'éclipse, dessinées d'après celles de la publication de référence de Fred Espenak et de Jay Anderson, de la NASA, ou les très belles photographies d'éclipses en chapelet, ainsi que celles de la magnifique couronne solaire que beaucoup attendent de voir prochainement.

Ce livre permettra de mieux apprécier le spectacle.

Michel TOULMONDE

Zoologie

Fonds sous-marins de la Bretagne

Yves Turquier, Camille Lusardi et Maurice Loir. Éditions Ouest-France, 1998.

A moins d'être un plongeur confirmé, le visiteur sensible à la diversité des milieux naturels sur les côtes maritimes de l'Ouest de la France en ignore souvent la «face cachée» : l'étage marin infralittoral. Immergé en permanence, mais encore pénétré par la lumière, celui-ci est compris entre le niveau inférieur de l'estran et une profondeur d'environ 40 mètres. Seules les plus grandes marées basses en révèlent, pour un court instant, au naturaliste «terrien» la frange supérieure et lui font pressentir la prodigieuse richesse d'un «monde sans pesanteur et sans limites, plein d'une vie ignorée dont le chalut et la drague lui ont si peu appris». S'il existe de nombreux documentaires sur des milieux analogues, la plupart sont consacrés à la faune marine des régions tropicales et s'attachent le plus souvent à ses aspects spectaculaires, mettant en valeur la singularité des formes et la richesse polychrome d'espèces animales maintes fois présentées. Qui soupçonnerait que les fonds sous-marins proches des côtes bretonnes offrent, par rapport à ceux des tropiques, une égale splendeur multicolore, une diversité analogue et la même occasion d'insolites rencontres ? Issu de la collaboration d'un spécialiste de la faune et de la biologie marines et de deux photographes dont les superbes images sous-marines ont acquis une réputation

internationale, cet ouvrage nous en apporte la plus brillante démonstration.

Son introduction montre comment les peuplements littoraux et infralittoraux sont liés à la pétrographie côtière de la péninsule armoricaine et, fait moins connu, aux glaciations quaternaires qui ont fragmenté les roches et accumulé les sables sur les côtes. Les communautés marines qui peuplent ces substrats sont fortement influencées par le régime thermique et par l'hydrodynamique vigoureuse des marées, de la houle et des tempêtes auxquelles la pointe bretonne, «figure de proue», est particulièrement soumise. Ces influences s'exercent d'ailleurs de façon inégale entre le littoral de la Manche et celui de l'Atlantique : les cartes des températures de l'eau de surface en été et en hiver sont à cet égard particulièrement significatives. Outre l'occultation progressive de la lumière en profondeur, ces facteurs écologiques commandent l'organisation des communautés vivantes. Bien que soumises à une sélection impitoyable, la faune et la flore infralittorales présentent une prodigieuse diversité : les côtes bretonnes sont les plus riches d'Europe en algues, avec 750 espèces ; quant à la faune, il faut renoncer à la dénombrer, puisque chaque décennie apporte son lot de découvertes (ainsi celles de 37 espèces de vers minuscules, nouvelles pour la science, près de Roscoff, dans les 25 dernières années).

De splendides illustrations, toutes prises dans les eaux armoricaines, nous font connaître et admirer un nombre considérable de ces espèces au sein de leurs biocénoses. Le texte, au style particulièrement vivant, très évocateur en dépit

de sa rigueur scientifique (ou à cause de lui ?), conduit agréablement le lecteur le moins informé à un haut niveau de connaissances sur les multiples aspects de la biologie marine, qu'il s'agisse de la complexité des relations entre espèces (les réseaux trophiques : «des banquets sous la mer» ; commensaux, symbiotes et parasites : «vivre ensemble»), de leurs modes de reproduction («du clone au couple», «qui fait un œuf fait du neuf», formule qui résume admirablement les conséquences génétiques de la sexualité et sera sans doute souvent reprise).

Il faudrait aussi citer en totalité le texte éloquent et inspiré «en guise de conclusion», qui dénonce les multiples agressions subies par les océans et, se démarquant «du catastrophisme systématique [comme] des propos lénifiants» sur le prétendu pouvoir épurateur de la mer, dresse un constant objectif des actions anthropiques sur les milieux océaniques. Ces pages font prendre pleinement conscience de la nécessité de préserver l'espace maritime, gravement menacé par les innombrables agressions d'origine humaine en dépit de ses dimensions (longtemps imaginées sans limites). Elles appellent à une attitude responsable, aussi bien ceux qui vivent et travaillent sur la mer et ses rivages que les décideurs économiques ou politiques, en vue de promouvoir l'exploitation rationnelle du milieu marin, condition de sa survie et de celle de l'homme.

Souhaitons une large audience à cette magnifique invitation à la découverte prudente et respectueuse du si proche et si fragile pays des merveilles sous-marines.

Marcel BOURNÉRIAS



Ce crabe (*Inactus* sp.) vit en association avec une anémone de mer (*Anemonia viridis*). Comme d'autres espèces d'«araignées de mer», il se camoufle avec des algues ou des éponges, qu'il bouture sur sa carapace.

Évolution

Évolution biologique

Mark Ridley. Éditions De Boeck Université, 1997.

A la fin du XIX^e siècle, Darwin procurait aux hommes le plus grand choc affectif de leur histoire. Ils ne descendaient pas de Dieu, mais du singe ! Un siècle plus tard, on ne doute plus guère que nous ayons un ancêtre commun non seulement avec le singe, mais aussi avec les escargots et les mille-pattes, et le choc est bien digéré. Ceux qui croient que l'homme a été créé par Dieu et ceux qui ne le croient pas acceptent que nous soyons, de toute manière, les produits de l'évolution biologique. L'évolution est un processus si grandiose, si écrasant, si mystérieux, si envoûtant, si magique que notre orgueil se félicite finalement d'en être les enfants.

À l'aube du troisième millénaire, l'heure n'est plus aux querelles qui ont entouré la publication de *L'origine des espèces* et de *La descendance de l'homme*. De tout autres préoccupations s'imposent : l'espèce humaine est la première qui ait détruit un nombre si considérable d'autres espèces vivantes en si peu de temps (quelques décennies), la première qui ait tant bouleversé le fonctionnement des écosystèmes naturels, la première qui s'apprête à modifier les plans de sa propre structure en cisillant et en recollant l'ADN.

La période d'extinction biologique que nous vivons n'est pas la première. On connaît bien l'extinction de masse de la limite Crétacé-Tertiaire, lors de laquelle disparurent notamment les dinosaures et dont certains supposent qu'elle résulte de la chute d'un aérolithe ou peut-être, comme le pense Claude Allègre, qu'elle fut la conséquence des éruptions gigantesques qui se sont produites alors dans le Dekkan indien. On connaît moins les autres grandes extinctions de l'évolution, à l'Ordovicien supérieur, au Dévonien supérieur, à la fin du Permien, à la fin du Trias.

La perturbation des écosystèmes qui cause ces extinctions est due à l'exploitation excessive des ressources (la destruction de la forêt tropicale, notamment) et au rejet de résidus de cette exploitation (la pollution). La fragmentation des écosystèmes (par les autoroutes, le développement des villes, l'extraction des richesses du sous-sol) engendre de nouveaux types de paysages, où des écosystèmes de nature différente interagissent de plus en plus fortement et où des espèces vivantes, notamment pathogènes, se

trouvent soudainement en contact avec des partenaires inconnus. D'où, peut-être, les maladies émergentes.

Enfin les modifications de génomes engendrent des phénomènes nouveaux qu'il est important de bien comprendre. Ces modifications ont longtemps résulté d'une sélection artificielle qui ne faisait qu'imposer la volonté de l'homme aux variations naturelles nées des mutations. De là sont nées les races de chiens, les vaches à lait et les melons succulents de nos tables. Aujourd'hui, les biologistes interviennent directement sur les génomes, avec tous les avantages et les craintes que soulève le ménage à trois entre les rêves du sorcier, la raison du savant et les intérêts du marketing.

Le livre de Mark Ridley ne traite pas directement de ces trois questions, mais il en donne une approche conceptuelle correcte. C'est un ouvrage destiné avant tout aux étudiants, et sa volonté de pédagogie va loin, puisque chaque chapitre se termine non seulement par un résumé, mais aussi par deux rubriques intitulées «Pour approfondir» et «Pour réviser». Pour ceux qui préparent licences ou maîtrises, le livre est une excellente synthèse sur l'état actuel des connaissances concernant l'évolution.

Toutefois, ce livre «destiné aux étudiants» permet aussi à chacun de voir, tout d'abord, ce qui a changé depuis Darwin et, tout spécialement, depuis la révolution de la biologie moléculaire. Ensuite, le livre nous donne à réfléchir à cette aventure incroyable commencée par une molécule et parvenue jusqu'à l'homme actuel en trois milliards et demi d'années. Enfin, il procure les outils conceptuels pour réfléchir à la façon qu'a l'humanité de faire aujourd'hui trembler l'arbre dont elle n'est que l'un des fruits.

L'ouvrage commence par un historique des idées où l'on retrouve les grands noms du siècle, Ronald A. Fisher, J.B.S. Haldane, Sewall Wright, Julian Huxley, Theodosius Dobzhanski, Ernst Mayr, et surtout des résumés précis de leurs contributions à l'état actuel de la théorie. Il consacre un développement important à la génétique des populations, sans laquelle la théorie moderne de l'évolution ne peut être comprise, aux mécanismes de la sélection naturelle et de l'adaptation, au problème encore trop mal saisi de la formation de nouvelles espèces, à la coévolution, par exemple entre parasites et hôtes. Il énonce les principes généraux et les difficultés de construction des arbres phylétiques fondés sur les séquences d'ADN (le nombre d'arbres possible pour les 30 millions probables d'espèces vivantes est un nombre qui s'écrit avec un 1 suivi de 300 millions de zéros). Il fait (sans la nommer !) une critique simplifiée, mais constructive et com-

plète, de l'hypothèse de l'Ève mitochondriale des années 1980 : on a suggéré alors que tous les hommes descendaient d'une unique femme qui aurait vécu en Afrique il y a trois millions d'années.

M. Ridley discute aussi de nombreuses questions qui sont en relation étroite avec l'impact de l'homme sur le monde vivant. Par exemple, la périodicité apparente des grandes extinctions d'espèces sur un cycle de 26 millions d'années, la troublante accumulation d'iridium dans les sédiments déposés lors des périodes d'extinction, la sélectivité des extinctions avec des groupes entiers qui disparaissent ou s'affaiblissent fortement, tandis que d'autres résistent. Ces notions enrichissent toute spéculation sur les conséquences possibles des pressions de l'homme sur la biosphère actuelle. L'ouvrage est suivi d'un glossaire qui donne l'exacte définition de plus de 150 mots indispensables pour développer, discuter (ou critiquer) la théorie de l'évolution.

Un ouvrage «pour étudiants» donc. Un ouvrage bien fait, complet, critique, illustré de schémas nombreux et clairs. Comme tel, il fera du lecteur non étudiant, un nouvel étudiant, attentif certainement, passionné peut-être.

Claude COMBES

Écologie

Itinéraires sauvages. Le guide du voyage nature et de l'écotourisme

Christian Weiss. Éditions Balland, 1999.

Où partir pour observer, dans la nature, les animaux en liberté ? Ce petit guide répond à la question. Avec la multiplication des films et des émissions télévisées animaliers, on a suscité l'envie d'observer *de visu* ce qui nous est si bien montré ou décrit. Le public réclame donc des voyages «de tout repos» pour découvrir la faune sauvage dans son milieu. Des voyageurs spécialisés s'y consacrent ; ce guide se veut le manuel de ce nouveau type de voyages.

Cinquante-sept itinéraires dans le monde entier sont proposés, permettant d'approcher (souvent de loin !) des animaux emblématiques, présentés dans le livre avec un titre accrocheur : «la flamboyance des aras rouges» ; «les koalas, des peluches au sacré caractère» ; «les bouquetins des Alpes, seigneurs du roc» ;

«le ballet stellaire des globicéphales tropicaux», etc.

Pour chacun d'entre eux, le guide indique le site et les périodes d'observation, puis il donne un portrait, qui apprend à reconnaître l'animal ; il précise la vie sociale et donne un aperçu des mœurs ; quelques indications regroupées sous le titre «préservation» signalent la rareté des animaux ; puis une section indique comment observer, quels autres animaux on peut rencontrer quand on sera en chemin ; enfin une rubrique «partir» signale l'équipement et les précautions nécessaires au voyage : gîtes et couverts, hébergements...

Ce livre, pour être le bréviaire du voyageur naturaliste, rappelle les préceptes d'une éthique fondée sur une approche compréhensive des hommes et de la nature, avec cet aphorisme : «La Nature nous émerveille, respectons la Nature.»

Ouvrage grand public, il met essentiellement l'accent sur les «grosses bêtes» ; le seul insecte présenté est le monarque (*Danaus plexippus*), ce papillon d'Amérique aux migrations imposantes. Or si les vertébrés (parce que très visibles) sont souvent le symbole zoologique d'un milieu, on attendrait qu'ils soient l'occasion de découvrir quelques-unes des autres composantes de cet environnement, même lorsqu'elles sont moins notoires ou moins spectaculaires.

Premier guide de ce genre, il devrait, tout en contentant la soif de curiosité, aider à préserver la biodiversité.

Jacques d'AGUILAR

Chimie

Les dendrimères

Coordination Dominique Antoine.
Association CRIN (32, boulevard de Vaugirard, 75015 Paris), 1998.

L'Association des clubs CRIN vient de publier un ouvrage rédigé par des chercheurs français associés dans le Club CRIN Hétérochimie. Ce livre est une très bonne compilation des travaux des équipes françaises qui préparent et qui étudient les dendrimères, ces molécules étoilées que l'on obtient, par exemple, en branchant des ramifications sur une «graine» centrale, les extrémités de ces ramifications servant à leur tour de point de départ pour de nouvelles ramifications.

Le premier chapitre présente les principales études des dendrimères phos-

phorés. Le phosphore, en raison de sa place en biologie et de son comportement chimique particulier, est un élément de choix pour les constructions envisagées.

La contribution des chimistes français, plus particulièrement celle de l'équipe de Jean-Pierre Majoral et d'Anne-Marie Caminade, est essentielle dans ce domaine. Ils indiquent de nombreuses synthèses originales, ainsi que des méthodes de caractérisation de ce type de composés.

La résonance magnétique nucléaire (RMN) du phosphore 31 est une de ces méthodes : quand on place dans un champ magnétique un échantillon contenant certains isotopes (le phosphore 31 est l'un de ceux-ci), il se produit une multiplication des niveaux d'énergie du noyau qui dépend de l'environnement chimique de l'atome. L'utilisation d'une onde radio permet de provoquer des transitions entre ces niveaux d'énergie et d'en déduire certains éléments structuraux de l'échantillon.

Stables thermiquement, les dendrimères ont une réactivité prometteuse, non seulement par leurs groupes fonctionnels de surface, mais aussi parce qu'on peut loger des groupes spécifiques à l'intérieur de ces macromolécules.

La même équipe présente ensuite les dendrimères constitués d'autres éléments : germanium, bore ou silicium. Les deux premiers ont été peu utilisés, tandis que le silicium a donné lieu à de nombreux travaux. Soulignons cependant que les seuls dendrimères à germanium qui ont été confectionnés (à des fins purement fondamentales) sont ceux d'une équipe française, celle de P. Mazerolles.

Les dendrimères au bore, au contraire des précédents, ont été préparés en vue d'une utilisation dans le traitement des tumeurs cancéreuses par capture de neutrons. On a également utilisé des extrémités aminées ($-NH_2$) des dendrimères afin de les fonctionnaliser par l'acide boronique : les interactions possibles de ce dernier avec les sucres semblent prometteuses.

Enfin, les dendrimères siliciés existent sous trois formes : ceux de type polysiloxane, avec des liaisons entre des atomes de silicium et des atomes d'oxygène ; ceux de type carbosilane, où le carbone est lié au silicium ; et les polysilanes, dont le squelette est formé de liaisons entre atomes de silicium.

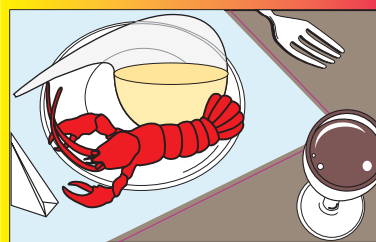
L'obstacle principal au développement des dendrimères restant la mise au point de réactions quantitatives, il n'est pas étonnant que les dendrimères les plus étudiés soient ceux de type carbosilane ; les acquis de la chimie organique du silicium mettent à la disposition du chimiste des réactions classiques, très efficaces, qui ont permis d'obtenir des dendrimères stables jusqu'à des générations élevées

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 15 heures 41,
17 heures 10,
20 heures 12,
22 heures 12,
et 23 heures 42



Les prochains
résultats présentés
dans la rubrique
Science et Gastronomie
seront annoncés sur
France Info
le 30 août 1999.

FRANCE

info