



Les plaques eutectiques du commerce sont des bouteilles aplaties emplies d'une saumure inoffensive et de concentration bien choisie.

L'AZÉOTROPE, IMITATION DE CORPS PUR

Précieux pour le distillateur, ce mécanisme est gênant pour le frigoriste. L'évaporateur fonctionne comme un alambic et «distille» le mélange binaire qui sert de fluide de refroidissement. Ce dernier s'y appauvrit en celui de ses composants le plus volatil. La composition du fluide réfrigérant varie d'un point à l'autre du circuit, ce qui modifie les températures de fonctionnement. En outre, des échanges gazeux intempestifs tendent à rétablir un mélange de proportion uniforme dans le circuit. Le rendement thermique est dégradé.

Ces désordres sont évités si l'on utilise certains mélanges binaires qui, comme un corps pur, ont une température d'ébullition constante. Les proportions d'un tel mélange binaire nommé azéotrope (du grec *zein* pour bouillir) sont précisément définies. Là encore, le cas du mélange d'eau et d'éthanol est éclairant : pour obtenir un alcool à 55 degrés, les distillateurs pratiquent une seconde distillation à partir du distillat de la première. En général, ils s'arrêtent là, trouvant sans doute la «boisson d'homme» obtenue assez virile. Dans les distilleries qui produisent de l'alcool à usage médical à partir des lies et d'autres résidus de la vinification, on enchaîne au contraire les distillations pour faire monter le degré d'alcool dans le distillat. Toutefois, aussi nombreux que soient les cycles, le mélange obtenu ne dépasse pas 95 pour cent d'alcool.

Pourquoi ? À cette concentration précise, la vapeur de distillation contient autant d'alcool que le mélange alcoolique distillé. La distillation ne modifiant plus les proportions du mélange, celui-ci bout à température constante comme un corps pur : il est azéotrope ! Dans le cas du mélange binaire azéotrope eau/éthanol, la température d'ébullition du liquide vaut 78,15 °C.

Les frigoristes utilisent les azéotropes, car ils garantissent une composition uniforme dans tout le circuit de refroidissement et ont une température de changement de phase fixe. Ils ont obtenu de nombreux fluides de refroidissement intéressants avec des hydrofluorocarbures ou «HFC», inoffensifs pour la couche d'ozone. Très utilisé dans les enceintes frigorifiques, l'«AZ-50» est un azéotrope obtenu à partir des hydrofluorocarbures C_2HF_5 et $C_2H_3F_3$ mélangés à parité. Il bout vers -47 °C sous une atmosphère.

GARDER AU FROID

Le froid produit, les frigoristes cherchent à le conserver. Leur objectif est de maintenir constante la température de l'enceinte frigorifique, sans pour autant faire fonctionner le système de réfrigération en permanence. À nouveau, la solution consiste à exploiter un changement d'état. Toutefois, pour gagner de la place (un gaz en occupe trop), les frigoristes exploitent la transition solide/liquide, plutôt que la transition liquide/gaz. La glace est efficace pour maintenir un espace à 0 °C. Sa chaleur latente de

liquéfaction est de 333 joules par gramme ce qui est considérable par rapport à nombre d'autres solides. Ainsi, tant qu'il subsiste de la glace dans l'enceinte, la chaleur qui y pénètre sert à la fondre et non pas à élever la température. Pour maintenir les enceintes frigorifiques aux températures de congélation, les frigoristes ont besoin de solides qui se liquéfient au-dessous de -18 °C. Une fois de plus, ils utilisent des mélanges.

L'eau salée semble être un bon candidat, car sa température de congélation est inférieure à 0 °C. Pourtant, elle n'est pas optimale, car elle ne gèle pas comme un corps pur : quand on congèle de l'eau de mer par exemple, on obtient des cristaux de glace pure flottant dans une saumure plus concentrée en sel. À mesure que la congélation progresse, la concentration saline augmente et la température diminue. À l'inverse, la température d'une «saumure congelée» augmente lors de sa fusion. Un tel mélange ne saurait maintenir une enceinte frigorifique à une température constante !

CONCENTRATION LIMITE

Remarquons que lors de la congélation d'eau salée, les deux phases en présence sont de compositions différentes et que, comme dans une distillation, la température évolue tout au long du processus. Quels mélanges jouent pour la congélation le rôle des azéotropes dans la distillation ? Ce sont les eutectiques (du grec *eutektos* pour «qui fond facilement»), des mélanges qui gèlent tels des corps purs. Comme eux, les eutectiques gardent une température et une composition constante pendant le changement d'état. Le plus connu des eutectiques est une saumure qui contient 22,4 pour cent de chlorure de sodium (NaCl) en masse et gèle à -21,6 °C. À cette forte concentration, elle prend en masse, donnant une «glace salée» de même composition que le liquide, et non plus une glace pure. On obtient des eutectiques dotés de températures de congélation variées à partir d'eau et de sels divers. Une solution contenant 19,5 pour cent de chlorure de potassium gèle par exemple vers -10 °C.

Pour notre part, nous connaissons les eutectiques sous le terme plus familier de «plaque eutectique». Les plus courantes ont la forme de bouteilles aplaties, dont on solidifie le contenu au congélateur avant de les emporter en pique-nique au fond de la glacière. Quant à eux, les professionnels du froid utilisent des plaques eutectiques dans leurs chambres frigorifiques afin d'espacer les périodes de fonctionnement du circuit de refroidissement. Grâce à elles, la température de la chambre reste constante tant que subsiste de l'eutectique solide à fondre. Quand ce n'est plus le cas, le système de réfrigération s'enclenche. Curiosités de laboratoire aux noms barbares, azéotropes et eutectiques font aujourd'hui partie de la vie quotidienne.

Yves ROCARD, *Thermodynamique*, 2^e édition, Masson, Paris, 1967.

Découpages articulés

JEAN-PAUL DELAHAYE

De nouvelles constructions géométriques posent la question : peut-on passer d'un polygone quelconque à un autre par un découpage articulé ?

Dans certains domaines mathématiques, les démonstrations sont ce que l'on nomme des «ânes qui trottent» : une fois l'énoncé formulé, une méthode s'impose qui amène doucement et sûrement la solution (les élèves moyens adorent et les bons s'ennuient). À l'opposé, d'autres domaines demandent imagination et créativité et aucune garantie de réussite ne peut être donnée. Les découpages géométriques minimaux appartiennent à ce second genre.

Les découpages géométriques permettent de passer d'un polygone à un autre de même aire en découpant le premier selon un nombre fini de pièces polygonales qui, correctement agencées, recomposent le second. Les mathématiciens Williams Wallace, Farkas Bolay et P. Gerwien (respectivement en 1831, 1832 et 1833) ont démontré indépendamment que cette redistribution est toujours possible et la démonstration du théorème est constructive, c'est-à-dire permet, dans chaque cas particulier, de construire un découpage. Partant, par exemple d'un triangle équilatéral avec pour objectif un carré de même aire, vous arriverez en suivant la méthode de la démonstration à un découpage du triangle en cinq pièces se redisant en carré. Il se trouve que le même découpage peut se faire avec seulement quatre pièces comme le proposa Henry Dudeney (1857-

1930) en 1902, aidé par C. McElroy un lecteur de sa rubrique d'énigmes mathématiques.

Comme aucun découpage du triangle en carré utilisant moins de quatre pièces n'a été proposé (on n'a cependant pas prouvé qu'un découpage à trois pièces était impossible), le record pour ce problème est donc 4. Des records analogues ont été établis pour de nombreux autres couples de polygones et sont recensés soit dans le classique livre de Harry Lindgren (1912-1992) intitulé *Recreational Problems in Geometric Dissection and How to Solve Them* (Dover Publication, 1972), soit dans le premier livre de Greg Frederickson *Dissection Plane and Fancy* (Cambridge Univ. Press, 1997).

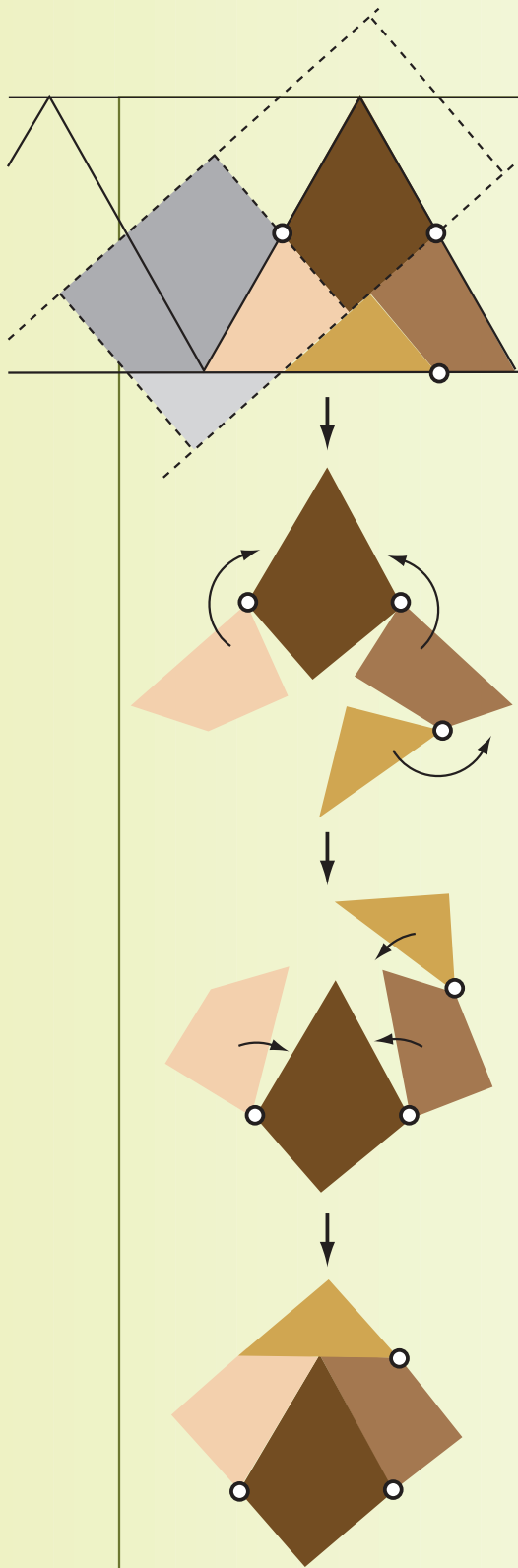
La recherche de ces solutions minimales est difficile et d'une grande subtilité (mais, paradoxalement, les solutions sont compréhensibles par tous d'un seul coup d'œil). L'imagination créatrice est fortement sollicitée lors de la recherche. Cet art minimal des mathématiciens demande du génie, ce qui n'est peut-être pas, à notre avis, le cas de l'art minimal (aussi appelé minimalisme) auquel s'adonnent les peintres des tableaux monochromatiques (Yves Klein par exemple) et les sculpteurs proposant des «œuvres» réduites parfois à de simples demi-sphères (Max Bill).

1. LA TABLE DE JOOP VAN DER VAART est un découpage articulé du triangle équilatéral en carré. Cette table, et une tirelire originale Amro, sont visibles sur le site : <http://www.cs.purdue.edu/homes/gnf/book2/Booknews2/jooppic.html>. Sur le schéma du haut, on a représenté la méthode de Lindgren utilisant des frises pour trouver le découpage.

TABLES TRANSFORMABLES

La dissection pour passer du triangle équilatéral au carré est remarquable, car elle possède une propriété inattendue : certains coins des quatre pièces de la dissection peuvent être liés par des charnières, le tout formant une sorte de collier à quatre grosses perles polygonales. L'assemblage articulé se plie en carré ou en triangle selon la façon dont on fait jouer les articulations, dans un sens ou dans un autre.

Cette merveilleuse propriété a suggéré à Joop Van Der Vaart la construction d'une table qui selon le nombre de vos invités permet de les asseoir autour d'un carré ou autour d'un triangle équilatéral. De petites difficultés pratiques subsistent quant à la disposition des pieds représentés sur la photographie ci-contre. Une



autre question vient immédiatement à l'esprit du mathématicien : peut-on adapter le théorème de Wallace-Bolyai-Gerwien aux découpages articulés ? Autrement dit à chaque fois que deux polygones ayant même aire sont donnés peut-on créer un découpage avec charnières qui se replie au choix en l'un ou en l'autre des polygones. Dit encore autrement, ce que l'on est sûr de savoir faire avec les deux mains, peut-on toujours le faire en s'imposant de garder une main dans le dos ?

Cette question de géométrie élémentaire n'est pas résolue aujourd'hui, mais les nombreux découpages articulés découverts ces dernières années par Greg Frederickson et quelques autres passionnés suggèrent que oui. G. Frederickson a force de découvrir des solutions à tous les problèmes qu'il se posait est aujourd'hui persuadé que cette conjecture des découpages articulés doit être vraie. Qui la démontrera ?

Un point complet sur ces dissections est présenté dans le livre que vient de publier G. Frederickson intitulé *Hinged Dissections : Swinging and Twisting* (Cambridge University Press, 2002). Ce livre admirablement illustré est un trésor de beautés géométriques prouvant à ceux qui en doutaient que la géométrie du plan est toujours vivante et que les mathématiques divertissantes sont susceptibles

de produire des formes inattendues et des objets mécaniques nouveaux et inespérés. Certaines animations de découpages avec charnières peuvent être admirées sur le site internet de G. Frederickson : <http://www.cs.purdue.edu/homes/gnf/book2/hingdanim.html>

Assez étrangement G. Frederickson, spécialiste incontesté des découpages articulés, n'est pas géomètre, mais informaticien spécialisé dans l'analyse d'algorithmes et les algorithmes de graphes. Il enseigne aujourd'hui à l'Université de Purdue dans l'État d'Indiana aux États-Unis. Comme l'écrit à son sujet Brian Colombo, il n'aime pas du tout les figures géométriques... puisqu'il en fait systématiquement le découpage. J'ignore si c'est parce qu'il était lassé de reconstituer les divers puzzles – modèles en bois ou en carton – que l'on obtient à partir des découpages classiques. Toujours est-il qu'il s'est spécialisé dans les découpages articulés, plus faciles à ranger.

UN PEU DE MÉTHODE

Comment découvre-t-on ces découpages articulés qui semblent miraculeux ? Une première voie est bien sûr de reprendre les découpages sans charnières et d'essayer de les munir de charnières. Pour chacun des découpages classiques et

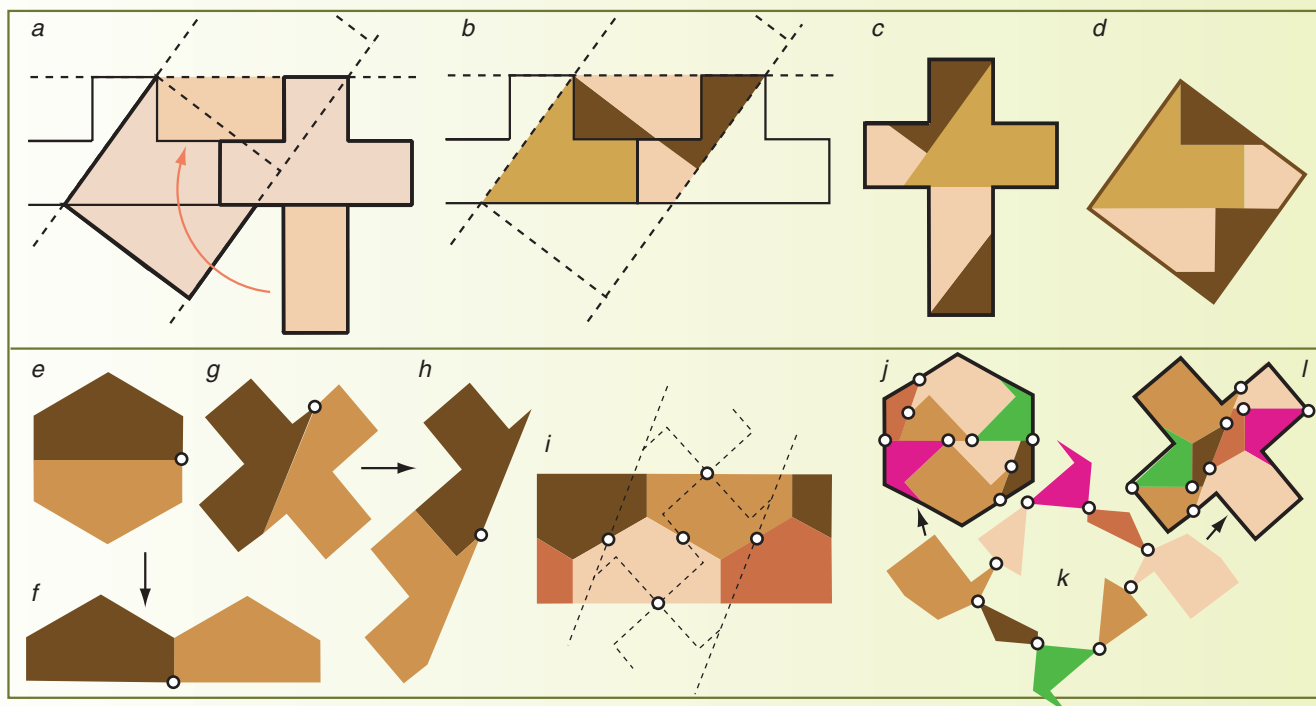
en particulier pour ceux établissant des records de minimalité, G. Frederickson s'est posé la question : peut-on lier les pièces d'une façon qui autorise un double repliement ? La réponse est oui dans un nombre surprenant de cas.

Bien sûr, les cas intéressants sont ceux où le découpage minimal ne peut pas être muni de charnières, car alors se posent les deux questions suivantes :

- Le découpage avec charnière est-il possible ? (puisque aucun équivalent du théorème de Wallace-Bolyai-Gerwien n'a été démontré, la réponse n'est pas connue d'avance) ;
- S'il est possible, quel est le minimum de pièces liées par des charnières permettant le découpage ?

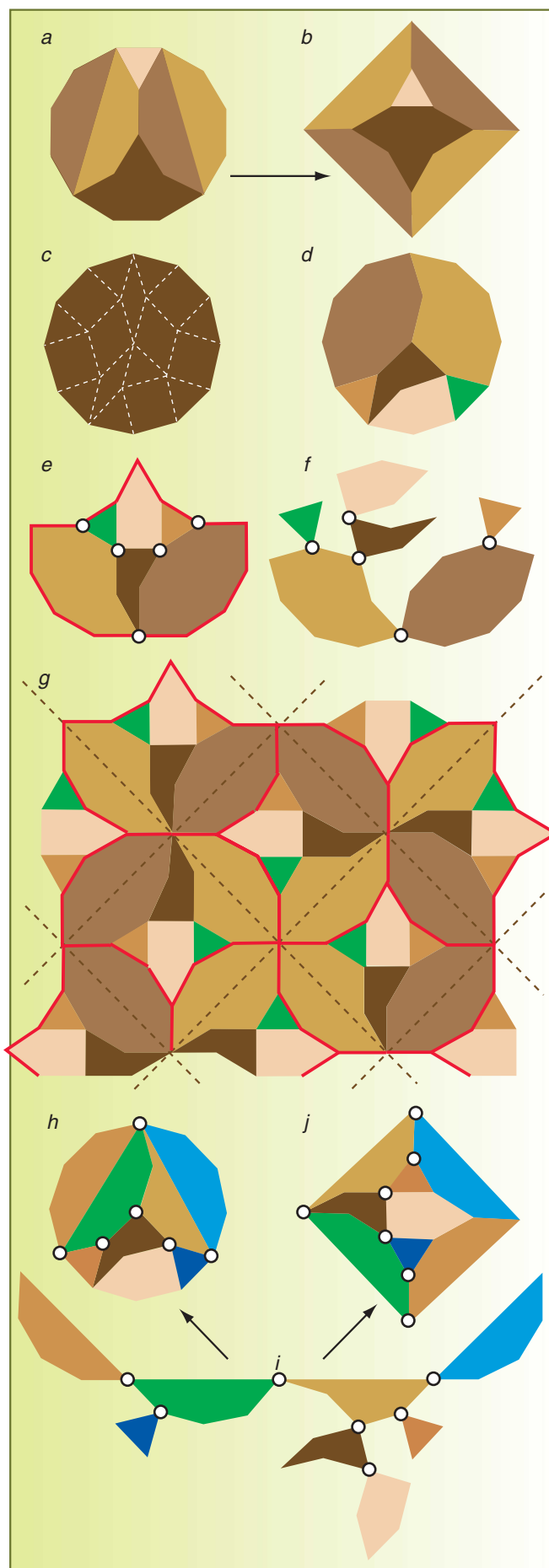
Avant d'examiner ces questions, nous allons voir comment Lindgren obtenait ses découpages. Bien sûr, on peut procéder par tâtonnement et espérer que la patience et la familiarité qu'on finira par acquérir avec l'énigme conduiront à une solution ; cependant plusieurs techniques générales se sont révélées utiles.

La première méthode est la méthode des frises explicitée sur la figure 2 et la seconde qui la généralise, la méthode des pavages du plan, illustrée sur la figure 3. Le découpage proposé par Lindgren sépare en six morceaux le dodécagone régulier et permet de recomposer un carré



2. LA MÉTHODE DE LINDGREN résout ou améliore grandement les découpages. Elle consiste à disposer les deux figures de même aire en deux «frises», puis à superposer ces deux frises en les orientant de façon à tirer avantage des «coins» des figures. Ici on a d'abord transformé une croix latine (c) en carré (d). La frise du carré est naturelle, il suffit d'aligner des carrés jointifs. La frise de la croix latine est obtenue en coupant le pied et en le tournant de 90 degrés (a). L'aire de l'intersection des deux frises (b) est constante, ce qui explique la validité de la méthode.

Le découpage donne ici une transformation «record» en cinq pièces. Ce découpage ne permet hélas pas de système articulé. Examinons maintenant la transformation de l'hexagone en croix grecque. Après avoir créé deux découpages articulés, l'un de l'hexagone (e-f), l'autre de la croix grecque (g-h) dont les versions dépliées servent à constituer des frises, on superpose les deux bandes pavées (j). Cela détermine la forme des pièces du découpage articulé (k) permettant de transformer un hexagone régulier en croix grecque (fk-l).



(voir les figures 3a et 3b). Aucun système de charnières reliant ces six pièces n'autorise le double repliement espéré. G. Frederickson a proposé un nouveau découpage avec charnières (voir les figures 3 h-i-j) pour le même problème utilisant deux pièces de plus. Il n'y a rien d'étonnant à ce que des pièces supplémentaires soient nécessaires, ce qui l'est peut-être est que deux pièces supplémentaires suffisent.

Les figures de cet article présentent quelques-uns des découpages remarquables de G. Frederickson. Les exemples que nous avons choisis concernent des figures très simples : triangles équilatéraux, carrés, étoiles, etc. Il apparaît qu'à chaque fois que G. Frederickson a essayé de trouver un découpage articulé, il a réussi et cela sans avoir à utiliser un très grand nombre de pièces. La variante conjecturée du théorème des découpages est expérimentalement vérifiée pour les découpages articulés.

PAVAGES ET FRISES

Revenons à la méthode du pavage de Lindgren ainsi qu'à sa variante mise au point par G. Frederickson qui aide à la découverte des découpages articulés.

L'idée est de dessiner deux pavages périodiques du plan, l'un pour la première figure à laquelle on s'intéresse et l'autre pour la seconde. Les parties des pavages qui se répètent doivent être compatibles (les deux mêmes translations doivent laisser invariant chacun des pavages), ce qui est rendu assez facile par le fait que les figures dont on est parti ont la même aire. Toute figure ne peut pas être utilisée directement pour paver le plan (sans chevauchement ni interstice), par exemple les polygones réguliers à plus de six côtés ne sont pas des paveurs. C'est pourquoi Lindgren propose de prédécouper les pièces qui ne pavent pas bien le plan de façon à ce qu'un arrangement de ces pièces prédécoupées pavent le plan. Lindgren a découvert de nombreux prédécoupages des polygones réguliers se recomposant en motifs pavant le plan. Sur les figures 3 e-f-g, un prédécoupage pour le dodécagone est proposé ainsi que le pavage du plan correspondant.

Les deux pavages constitués (l'un au moins sur une feuille de papier calque), on les superpose, ce qui donne de nouveaux traits de coupe subdivisant un polygone en pièces de plus petite taille (voir la figure 3 g). En faisant glisser le calque, on recherche une superposition qui ne crée pas un trop grand nombre de pièces et surtout on s'assure – ce qui demande une certaine attention, mais est facilité par les dessins des pavages initiaux – que les pièces proposées vont correctement s'assembler pour donner les deux figures recherchées. Les subtilités et les variantes de cette technique sont nombreuses et c'est dans son utilisation que le génie géométrique de chacun pourra s'exprimer.

G. Frederickson a remarqué que lorsqu'on procédait ainsi, on obtenait souvent des découpages attachables par charnières à condition que les pièces du prédécoupage soient elles-mêmes attachables entre elles par un jeu de charnières (voir la figure 3f) et que les points d'intersection des réseaux soient des centres de rotation des réseaux, c'est-à-dire des points qui lorsqu'on fait tourner le réseau d'un angle donné (par exemple 60 degrés) le laissent invariant. Voilà qui aide la recherche. Avec cette méthode,

3. DÉCOUPAGE ARTICULÉ DU DODÉCAGONE EN CARRÉ. Un dodécagone peut être découpé en 6 pièces qui s'assemblent en carré (a-b), mais ce découpage ne donne pas une chaîne articulée. Pour obtenir cette chaîne, on conçoit un assemblage articulé de six pièces qui fait passer du dodécagone à une pièce pavant le plan (e). Les pointillés du schéma (c) identifient les angles et les longueurs utilisées dans le découpage (d) de la pièce articulée (f) qui se replie en un polygone (e) pavant le plan (g). La superposition d'un pavage du plan par des carrés (pavage en pointillé sur le schéma (g)) détermine alors un découpage articulé de l'octogone et du carré (h-j).

G. Frederickson a découvert le découpage articulé de l'octogone en carré que vous pouvez admirer sur la figure 3 *h-i-j*.

Une autre technique, explicitée sur la figure 2, à base de frises pavées (et qui peut être vue comme un cas particulier de la technique des pavages périodiques) permet de belles découvertes. Le découpage d'un pentagone en carré, qui *a priori* semble difficile, car la symétrie d'ordre 5 du pentagone s'accorde mal avec celle du carré, ne demande au bout du compte qu'un assemblage articulé de 7 pièces (voir la figure 6).

Parfois une adaptation subtile d'un découpage classique est possible. À l'aide de découpages supplémentaires et éventuellement de fusions soigneusement choisies, on rend articlable un découpage qui ne l'est pas. La figure 5 montre la délicate transformation du classique découpage en 5 pièces de l'octogone en carré (non articlable), qui permet d'en déduire un découpage articulé en 7 pièces.

En plus des découpages articulés avec charnières, G. Frederickson s'est intéressé à des découpages articulés avec point de fixation pivotant : les deux pièces attachées chacune par le centre d'une arête pivotent dans l'espace de 180° , l'une se retournant dessus-dessous par rapport à l'autre. Là encore de merveilleux découpages et une conjecture irrésolue (que vous devinez) attendent les amateurs (voir la figure 7).

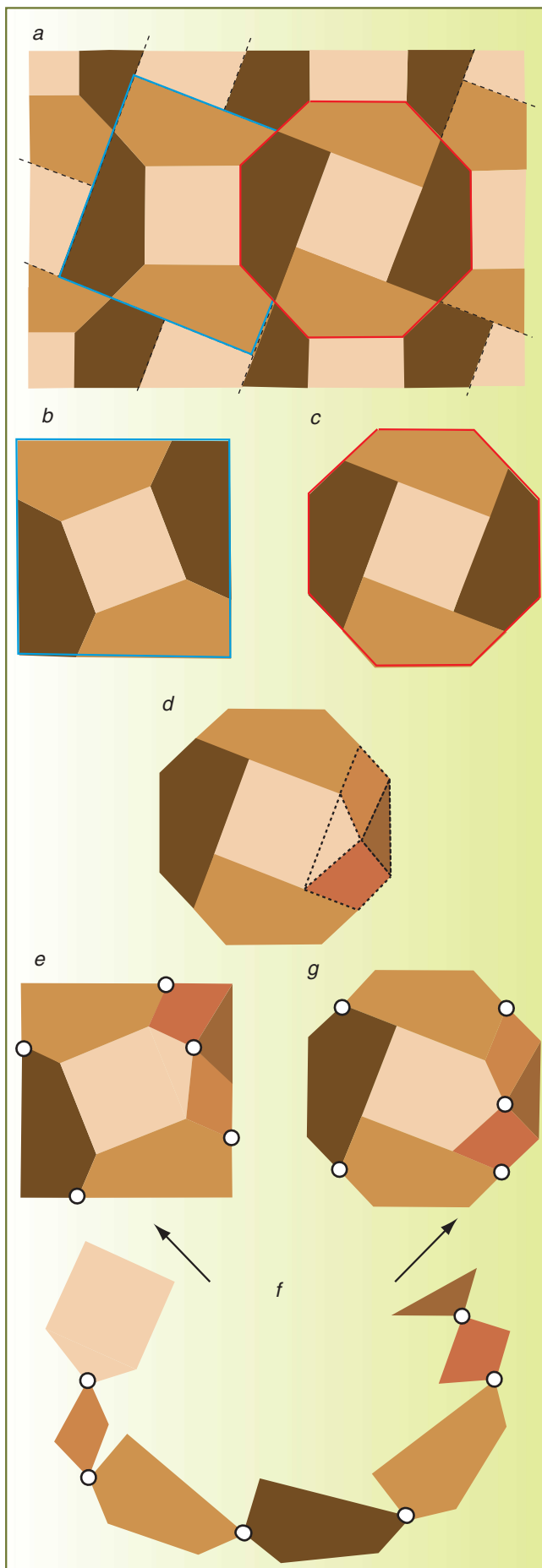
PREUVES DE JUSTESSE

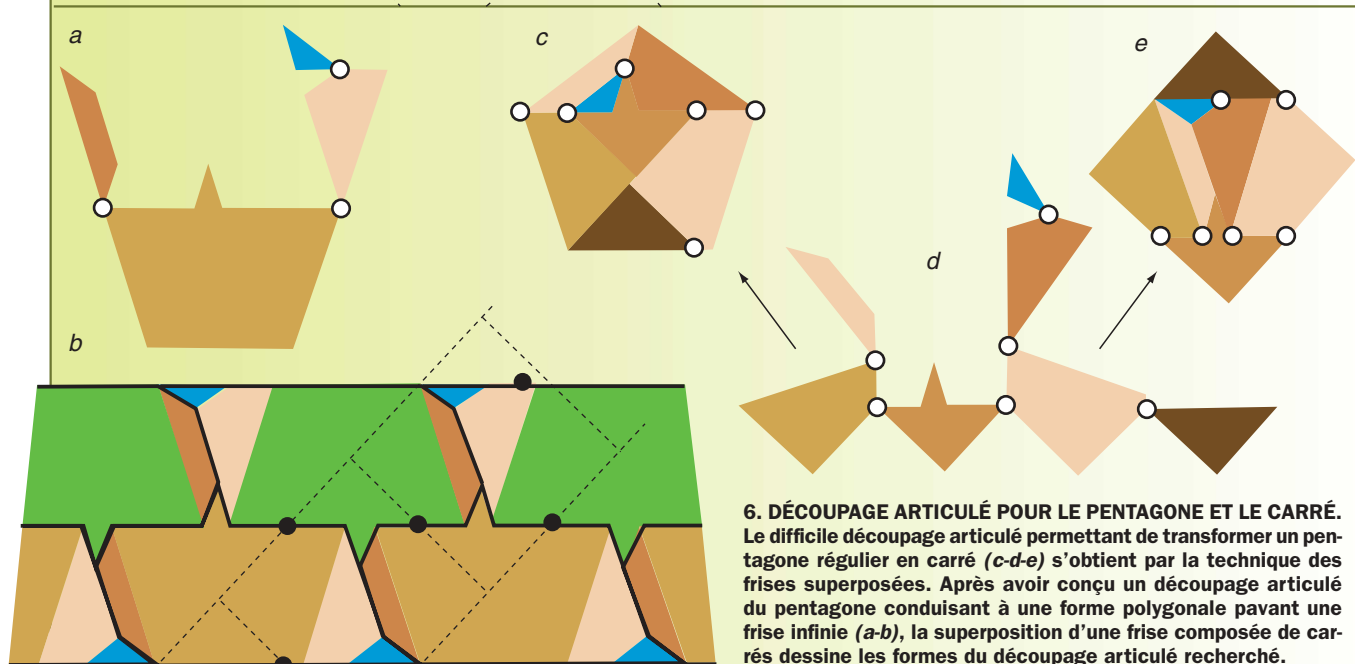
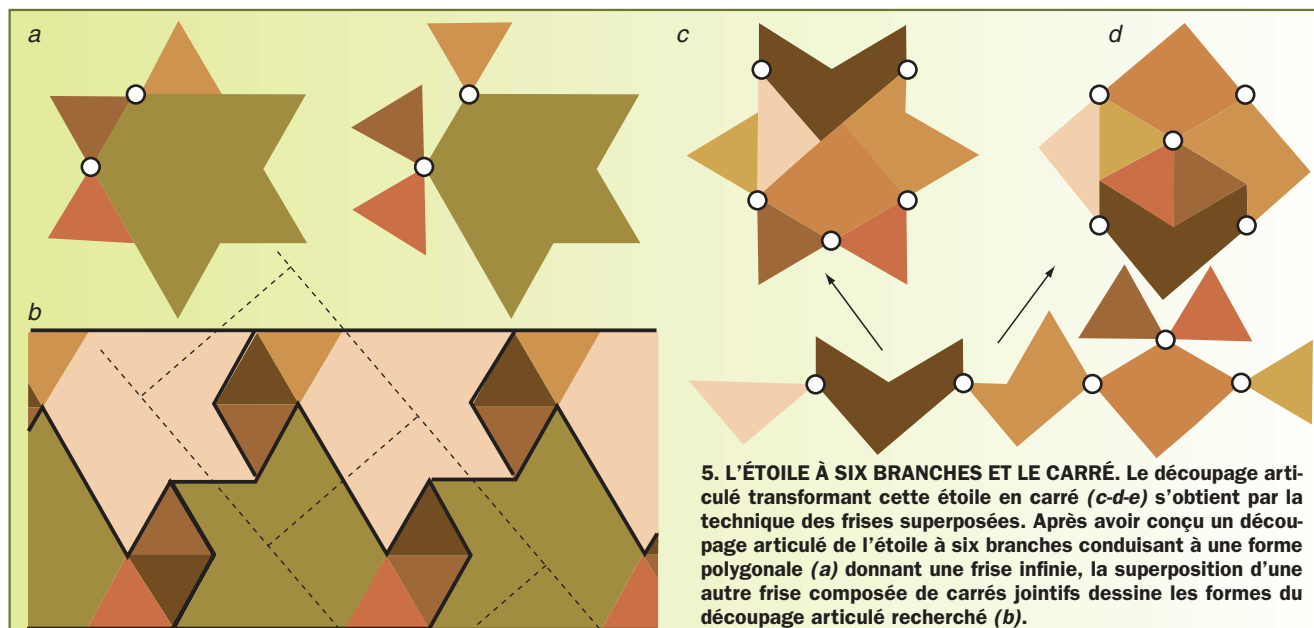
Lorsqu'on regarde un découpage (avec charnières ou non) une question se pose : où passent exactement les droites et quels sont précisément les angles utilisés ? Pour réaliser de grands modèles, vous devrez avoir correctement répondu à ces questions. Si l'ajustement est seulement approximatif, cela signifie que le découpage est faux, car nous sommes ici dans le monde pur des formes géométriques et seuls les découpages qu'on peut agrandir mille fois et qui tombent encore parfaitement nous intéressent. La réponse à la question de la mesure précise des longueurs et des angles et la preuve de la justesse totale des découpages proposés peuvent souvent être obtenues par le simple examen des figures, à la condition d'y inclure le schéma de superposition des réseaux (ou des frises) ayant conduit au découpage.

La preuve de l'exactitude du découpage se réduit donc en général à quelques dessins que l'on comprend sans rien écrire. Nous sommes dans l'un de ces domaines mathématiques où les preuves ne demandent aucun mot, et où celui qui voudrait formaliser les raisonnements risquerait de se compliquer la vie stupidement, car la longue démonstration à laquelle il aboutirait serait à la fois plus compliquée et moins claire, sans être plus persuasive, que l'examen attentif des dessins.

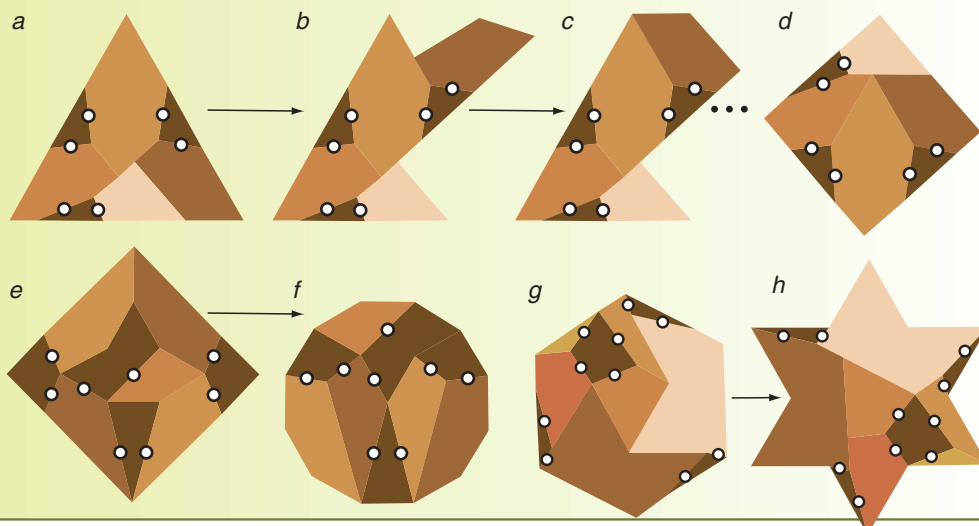
Contrairement à ce qu'on croit parfois en sortant d'un cours de mathématiques, produire de bonnes démonstrations ne consiste pas à décomposer un raisonnement en petits morceaux dont les liens deviennent impossibles à appréhender globalement, mais consiste à produire chez son interlocuteur une conviction totale qu'il pourra transmettre et qui lui donnera le sentiment profond de voir ce qui se passe. La formalisation est certes utile (voire inévitable dans certains domaines), mais il serait stupide lorsque les figures parlent d'elles-mêmes (même s'il faut les regarder longtemps) de procéder autre-

4. DÉCOUPAGE ARTICULÉ TRANSFORMANT UN CARRÉ EN UN OCTOGONE. Un classique découpage du carré en octogone est obtenu par une variante de la technique de superposition de pavages du plan (on pave en associant à chaque pièce un carré de plus petite taille, voir les schémas *a-b-c*). Hélas, aucun système de charnières ne permet d'articuler ce découpage. Après avoir découpé l'une des quatre pièces en quatre et avoir recollé deux des morceaux du nouveau découpage (*d-g*), G. Frederickson a obtenu cette chaîne polygonale à double repliement (*e-f-g*) qui fait passer de l'octogone au carré et inversement.





7. NOUVEAU TYPE DE DÉCOUPAGES étudié par G. Frederickson : les points de contacts entre les pièces sont des pivots situés au milieu des arêtes des éléments du découpage. Les mouvements faits pour passer d'une forme à l'autre sont des retournements successifs d'une pièce relativement à sa voisine (a-b-c). On passe du triangle équilatéral (a) au carré (d) par un découpage à pivots en 7 pièces. On a ainsi représenté le passage du carré au dodécagone (e-f) et de l'hexagone à l'étoile (g-h).



ment que par figures. Regardez attentivement le découpage articulé pour le dodécagone et le carré (voir la figure 3), en repérant les segments de mêmes longueurs, en évaluant les angles (dans cet exemple c'est particulièrement facile car tous sont multiples de 15 degrés), et en analysant la figure de superposition des réseaux, vous serez alors certain que le découpage est parfaitement correct et non pas approximatif. Pour cette raison, les livres sur les découpages géométriques ne comportent aucune démonstration longue et pénible, tout y est exclusivement graphique... de la beauté à l'état pur.

NOTES SUR L'ARTICLE DU MOIS D'AOUT

Dans le numéro du mois d'août, nous présentons plusieurs conjectures concernant les jeux de *Ping* et *Pong*. L'une d'elles a été démontrée par plusieurs lecteurs (Daniel Delay, Jean-Marie Droz, Claude Frasnay, André Lamotte, Frédéric Meunier, Charles Payan) : tout échiquier possède soit une solution pour le jeu de *Ping*, soit une solution pour le jeu de *Pong*. On savait que pour chaque échiquier au plus l'un des deux jeux possédait une solution, on sait donc maintenant qu'à chaque fois l'un au moins des deux jeux en possède une. Des généralisations et de nouvelles propriétés ont aussi été communiquées à Nicolas Vaillant qui poursuit donc l'étude du jeu. Achim Clausen, de l'Université de Münster, nous a aussi fait parvenir un article paru en allemand l'année dernière sur le jeu de *Ping* dans lequel il présentait le principe de *Ping-Pong* (sous un autre nom bien sûr). Ce principe a donc été découvert simultanément et indépendamment par Nicolas Vaillant et Achim Clausen. Merci à tous les lecteurs qui nous ont communiqué leurs idées et qui contribuent à faire avancer la compréhension des jeux de *Ping* et *Pong*.

J.-P. DELAHAYE, *Les découpages artistiques, Pour la Science*, n° 257, pp.100-105, 1999.

G. FREDERICKSON, *Découpages : Plane and Fancy*, Cam. University Press, 1997.

G. FREDERICKSON, *Geometric Découpages Now Swing and Twist*, in *The Mathematical Intelligencer*, vol. 23, n° 3, pp.9-19, 2001.

G. FREDERICKSON, *Hinged Découpages : Swinging and Twisting*, Cam. Univ. Press, 2002

H. LINDGREN, *Recreational Problems in Geometric Découpages and How to Solve Them*, Dover Publications, New York, 1972.

I. STEWART, *Découpages et métamorphoses, Pour La Science*, pp. 96-97, janvier 1998.

République Française L'État et la Région d'Ile-de-France lancent un appel unique et exceptionnel à candidatures pour **2 Bourses Jeune Chercheur «Blaise Pascal»** de **75 000 Euros TTC** chacune

- Chaque bourse permettra à un **chercheur confirmé de moins de 40 ans, français ou étranger**, de toutes disciplines, de réaliser un projet novateur pour la recherche.
- Les candidats devront proposer un **projet de recherche interdisciplinaire** mené, en France ou à l'étranger, en liaison étroite avec un ou plusieurs laboratoires franciliens.
- Un jury, composé des lauréats des Chaires Internationales de Recherche Blaise Pascal et du Conseil Scientifique des Chaires, sera chargé de choisir les dossiers les plus intéressants.
- Les deux bourses Jeune Chercheur «Blaise Pascal» seront décernées lors du colloque qui réunira les titulaires des Chaires Internationales de Recherche Blaise Pascal les 14, 15 et 16 mai 2003 à Paris sur le thème de «la mobilité dans la recherche».

Dépôt des dossiers : avant le 15 février 2003

Dossiers de candidature disponibles à l'adresse suivante :
Fondation de l'Ecole Normale Supérieure
45 rue d'Ulm - 75005 PARIS

Renseignements :

Tél. : 33 (0) 1 44 32 35 81/39 13

Fax : 33 (0) 1 44 32 31 83

E-mail : fondation@ens.fr

www.chaires-blaise-pascal.org

Astronomie

Pleine Lune

Michael Light,
Éditions de la Martinière, 2002
(323 pages, 29 euros).

Pleine Lune est un ouvrage exclusivement composé de photographies et de dépliants réalisés à partir de l'assemblage de plusieurs photos, parmi les plus belles prises par les astronautes des missions *Apollo*, entre 1967 et 1972. L'auteur a scanné les négatifs originaux de la NASA et il présente 128 photographies selon l'ordre chronologique du déroulement d'une mission lunaire. Il accorde une part importante aux images prises depuis la surface de la Lune lors des parcours des astronautes autour des modules lunaires. Outre sa très grande qualité sur le plan de la reproduction des photographies, cet ouvrage montre des images inconnues du public, tels des paysages spectaculaires.

Ces photos de paysages sont d'un très grand intérêt pédagogique, pour montrer à quoi ressemblent la surface et l'environnement lunaires, ainsi que pour comprendre certains phénomènes géologiques qui ont façonné cette surface, par exemple la formation et l'évolution des cratères et du régolite (ou sol lunaire). En effet, de nombreux détails sur les clichés montrent

comment se répartissent les matériaux éjectés lors de la formation d'un cratère d'impact ou comment évoluent les roches en surface sous l'effet du bombardement des micrométéorites. Tous ces phénomènes ont été mieux compris grâce aux missions *Apollo* et à ces clichés. Ils sont toujours étudiés de nos jours par d'autres méthodes, de télédétection par exemple.

Malheureusement, l'auteur ne donne aucun commentaire technique ou scientifique approfondi des photos. Seul un bref descriptif est donné à la fin du volume. Par rapport à la première édition, parue en 1999, on voit disparaître un intéressant texte d'Andrew Chaikin, l'auteur de *A man on the Moon* (1994), qui précisait le contexte dans lequel les photos avaient été prises. On regrettera aussi la réduction du format initial, bien que ceci n'enlève rien à la qualité du livre.

Pleine Lune est un magnifique et vivant exposé en images de la plus grande des aventures consacrées à l'exploration spatiale. Le lecteur ne doit cependant pas penser que le bilan du programme *Apollo* se limite à des photographies et que l'exploration de la Lune appartient au passé. Ainsi, les échantillons lunaires prélevés en six différents endroits de la Lune lors des missions *Apollo* sont encore étudiés : ils servent de référence pour la spectroscopie optique, gamma et neutron qui fournit des renseignements sur la nature chimique et minéralogique des roches présentes à la surface de la Lune, par des moyens télescopiques depuis la Terre et par des sondes orbitales (*Clémentine* en 1994 et *Lunar Prospector* en 1998). Grâce aux données ainsi récoltées, nous avons progressé dans la connaissance de la croûte et du volcanisme lunaires (une croûte planétaire primaire s'est formée et a évolué, notamment en relation avec un volcanisme ancien). Les données récoltées soulèvent aussi des questions sur la nature exacte et sur l'origine des matériaux qui forment le bassin South Pole-Aitken, situé sur la face cachée de la Lune et qui est le plus grand bassin d'impact du Système solaire (son diamètre mesure 2 500 kilomètres). Les matériaux proviennent-ils de la croûte profonde et/ou du manteau? La NASA programme actuellement une mission avec retour d'échantillons pour répondre à cette question. La Lune est en outre un objet important pour comprendre les planètes du Système solaire. Son étude reste aussi vivante et passionnante que lors des premières explorations *Apollo*, dont je ne peux que vivement recommander le témoignage photographique, *Pleine Lune*.

Serge CHEVREL,
Laboratoire de dynamique
terrestre et planétaire, Toulouse

Apprendre avec Redshift

Alslyd Multimédia, 2002
(CD-Rom, 55 euros).

En découvrant la gravitation universelle, Newton a unifié la physique terrestre et la physique céleste, séparées depuis 20 siècles par Aristote. Puis sont apparus l'analyse spectrale, l'électromagnétisme et la physique nucléaire. La physique constitue aujourd'hui un ensemble de lois régissant l'Univers entier.

Cette vaste science est enseignée de la maternelle à l'université. Toutefois, certaines expériences sont délicates à effectuer : il n'est pas simple de faire interagir sur demande deux galaxies par effet de marée! La simulation informatique justifie alors sa place en présentant une copie fidèle de la réalité. On peut ainsi visualiser des phénomènes se produisant sur Terre ou très loin dans l'Univers.

La lumière, messagère des astres, fournit le moyen de déterminer la température externe des étoiles, leur composition chimique, leur masse et leur rayon, à partir de leur luminosité, de leur spectre et de leur distance (déterminée par parallaxe pour les plus proches). Jusqu'à présent, l'astrophysique n'était pas abordée par les logiciels d'astronomie. Avec ce CD-Rom, l'enseignant, l'élève ou l'amateur, disposent d'un grand nombre de simulations interactives, de vidéos, d'animations et de photographies pour visualiser et comprendre l'astrophysique.

Ce logiciel constitue d'abord un manuel bien structuré, avec une navigation aisée. Il comporte près d'une centaine de simulations remarquables, parmi lesquelles celles des phases de la Lune, que l'on comprend d'un simple mouvement de souris, la réplique de la détermination du périmètre de la Terre par Ératosthène au III^e siècle avant notre ère, la détermination de la masse de Jupiter à partir de l'observation des mouvements de ses satellites, etc. Afin de vérifier ses progrès, l'utilisateur dispose de questionnaires avec correction : chacun avance à son rythme selon son goût et son intérêt culturel pour l'histoire des découvertes ou pour les applications des lois physiques qu'il maîtrise peu à peu. Ce CD-rom est ensuite un excellent planétarium sur écran, précis et facile à utiliser. L'interface a encore été améliorée et quelques outils, tels un radar Doppler et un spectrographe, ont été ajoutés. Superbe, ludique et très pédagogique.

Michel TOULMONDE,
Université d'Évry, Observatoire de Paris

