

ajoute la valeur du troisième dé. On indique le total au magicien qui, immédiatement, donne les trois valeurs initiales des dés. En effet, le résultat est $10(5(2a + 5) + b) + c$, soit $100a + 10b + c + 250$. Retirant alors 250, les trois chiffres du résultat sont les nombres a, b, c cherchés.

D'autres problèmes de dés utilisent des dés modifiés avec des marquages non standards. Par exemple, sauriez-vous marquer les faces de deux dés en n'utilisant que les nombres 0, 1, 2, 3, 4, 5 ou 6, pour obtenir une paire telle que tous les totaux de 1 à 12 soient équiprobables? (La réponse est indiquée en fin d'article).

LES DÉS NON TRANSITIFS

Le phénomène relatif aux dés le plus contraire à l'intuition est sans doute celui des «dés non transitifs». Numérotez trois cubes A, B, C ainsi :

$A : 3 \ 3 \ 4 \ 4 \ 8 \ 8$

$B : 1 \ 1 \ 5 \ 5 \ 9 \ 9$

$C : 2 \ 2 \ 6 \ 6 \ 7 \ 7$

Si un joueur prend le dé B et un autre le dé A et qu'ils jouent un long moment, vous constaterez qu'en moyenne, le dé B bat le dé A . En fait, B présente un nombre supérieur à A , avec la probabilité $5/9$. De même, C bat B avec la même probabilité. Par suite, il semblerait que C batte A , non? Eh bien non! A bat C , avec la probabilité $5/9$! Le tableau de la page précédente (voir la figure 4) justifie clairement ces assertions. Vous pouvez faire fortune avec un ensemble de trois tels dés! Vous laissez votre adversaire choisir son dé, puis vous sélectionnez le dé qui le bat (à long terme, avec une probabilité supérieure à 0,5). Vous gagnerez 55,55 pour cent des jeux alors que votre adversaire a le libre choix du «meilleur» dé!

Une mise en garde cependant : ne vous fondez pas à l'excès sur la théorie des probabilités sans avoir rigoureusement précisé les règles du jeu. Dans son merveilleux petit livre *Au hasard* (Seuil, 1991), Ivar Ekeland raconte l'histoire de deux rois nordiques qui jouèrent aux dés le sort d'une île convoitée. Le roi suédois lança deux dés et obtint un double six. «Cela, fanfaronna-t-il, est imbattable». Olaf, le roi de Norvège marmonna qu'il pourrait lui aussi faire un double six et lança ses deux dés. L'un donna 6 et l'autre se fendit en deux parties, arborant l'une un 1 et l'autre un 6. Total : 13! Ce qui tend à prouver que ce que vous pensez possible dépend de la manière dont vous modélisez le problème.

RÉPONSE : Pour rendre tous les totaux de 1 à 12 équiprobables, il suffit qu'un dé porte : 1, 2, 3, 4, 5, 6 et l'autre 0, 0, 0, 6, 6 et 6.

Marcher sur l'eau

CAROLINE LOUBET

De la semoule modifie l'écoulement de l'eau.

Certains matériaux ne sont ni liquides ni solides, mais un peu les deux à la fois. Pour les explorer, je vous propose quelques expériences avec de la farine de maïs (couramment vendue dans les épiceries ou dans les grandes surfaces sous le nom de *Maïzena*).

Prenez-en un peu et mélangez-la avec de l'eau pour faire une sauce épaisse. On ne peut dire, en observant le mélange immobile, s'il est solide ou liquide. Si l'on donne un coup de poing à la surface, on se heurte à un solide : rien ne bouge, et la main reste sèche. En revanche, si nous penchons lentement le récipient sur le côté, le mélange coule comme un liquide. Seul le temps de réaction que l'on a laissé au mélange a changé, entre les deux manipulations : court dans la première expérience, long dans la seconde.

Chaque matière possède son propre temps de réaction à une contrainte extérieure ; si nous imposons rapidement une contrainte pendant un temps inférieur au temps de réaction de la matière, les molécules ou les agrégats moléculaires

n'ont pas le temps de réagir, et le matériau a un comportement de solide. Inversement, si la contrainte est appliquée en un temps supérieur à ce temps de réaction, le matériau réagit et la matière s'adapte.

On retrouve cette ambiguïté de la matière dans les cathédrales : les vitraux anciens sont souvent plus épais à la base qu'au sommet, parce que la pesanteur agit sur eux depuis des siècles ; le verre, qui paraît solide à notre échelle, ne cesse de couler comme un liquide, mais très lentement. De même, les câbles des ponts suspendus doivent être retendus périodiquement, parce qu'ils s'allongent lentement. Passons à encore plus grandiose : le Globe terrestre. Est-il vraiment solide ? Les remarques précédentes nous rappellent que l'échelle d'observation détermine la réponse à la question. Les montagnes sont immobiles, à l'échelle de la vie humaine, mais elles se sont formées, et elles se forment encore, par plissements de terrain. Les continents, eux, se déplacent les uns par rapport aux autres à la vitesse d'un ongle qui croît, soit quelques centimètres par an. Les

solides seraient-ils ainsi des liquides auxquels on ne donnerait pas le temps de couler ? Voilà qui confirmerait l'idée d'Héraclite, pour qui « tout coule ».

Les mécanismes de fluage des roches sont toutefois différents de ceux qui rendent solides les mélanges d'eau et de farine de maïs. Dans ce dernier cas, le comportement est plutôt analogue à celui du sable mouillé. Quand on appuie doucement sur un tel sable, la pression se transmet en partie par le sable, dont les grains appuient les uns sur les autres, et en partie par le liquide, dans les interstices. Quand la pression est plus forte, le volume total augmente, parce que les grains doivent se séparer pour bouger (sans contrainte, le sable est compact, parce que les grains sont imbriqués). L'augmentation de volume aspire l'eau alentour. La réaction du système est limitée par l'écoulement du fluide : quand on marche sur une plage, le pourtour du pied s'assèche lentement, parce que la migration de l'eau dans les interstices, sous le pied, n'est pas immédiate.

Ainsi quelqu'un qui marcherait lentement sur du sable mouvant s'enfoncerait, parce que les grains auraient le temps de se réorganiser au poser du pied, mais que le retrait, qui est plus rapide, serait impossible : le liquide n'aurait pas le temps de migrer pour s'adapter aux déformations globales du sable. Ce type de comportement des liquides « dilatants » est caractéristique de dispersions très concentrées, telle celle de la farine de maïs dans l'eau.

Voici enfin quelques expériences pour poursuivre vos explorations rhéologiques : dans un saladier, mélangez un paquet de 350 grammes de *Maïzena* (attention à choisir de la farine sans adjonction) et 0,35 litre d'eau, afin d'obtenir un demi-litre de matière.

Plongez-y un doigt, doucement d'abord, puis rapidement ensuite.

Puis amusez-vous à en faire une boule, en ne cessant pas de malaxer la matière ou de faire sauter la boule dans la main. Si vous cessez d'agiter la boule, vous la verrez couler.

Pour apprécier la dureté du mélange, cassez-le en prenant rapidement un morceau que vous soulevez comme une plaque.

Enfin, si vous voulez reproduire un exploit du Nouveau Testament, faites une quantité supérieure de mélange et remplissez un grand bac : vous pourrez alors courir à la surface sans vous enfoncer.



Ex Nihilo

Des enfants ont couru sur de l'eau additionnée de farine de maïs, pour les caméras d'Archimède, le magazine scientifique d'Arte : ils ne s'y enfonçaient pas.

Caroline LOUBET est coordinatrice de l'Association des ateliers des Petits Débrouillards en Île-de-France.

Les hologrammes

Un hologramme est l'enregistrement sur un film à grain très fin d'une image optique tridimensionnelle réalisée à l'aide d'un faisceau laser. Contrairement à la photographie, qui enregistre uniquement l'intensité d'une onde lumineuse réfléchie par un objet (ce qui produit des zones claires et sombres sur un film), un hologramme enregistre à la fois l'intensité et la direction, ou phase, de la lumière. L'information sur l'intensité et la direction est contenue dans la figure d'interférence entre l'onde réfléchie par l'objet et une

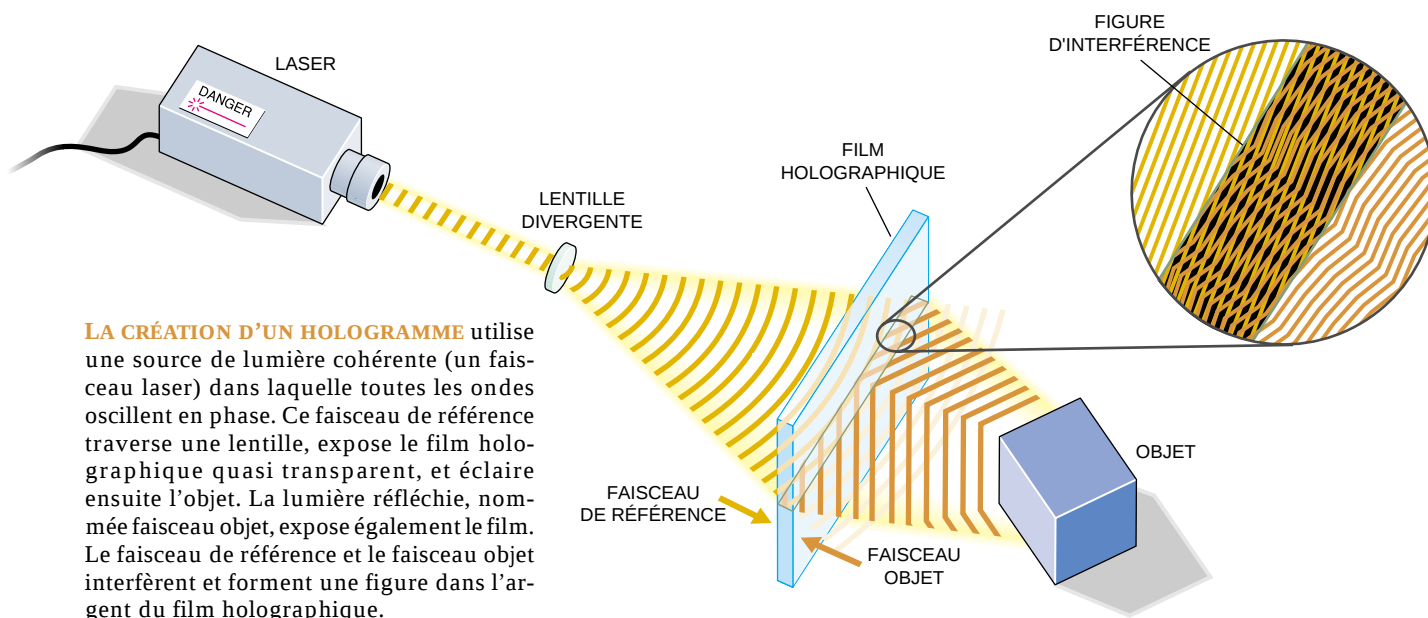
onde de référence. Les deux ondes qui interfèrent créent sur le film des zones brillantes, quand elles sont en phase, et des zones sombres, quand elles sont en opposition de phase.

Après l'enregistrement, lorsqu'on éclaire le film holographique développé avec de la lumière blanche, la figure d'interférence agit comme une multitude de minuscules miroirs placés à des myriades d'angles. Ces miroirs réfléchissent la lumière à la surface de l'hologramme exactement dans la même direction que celle réfléchie par l'objet

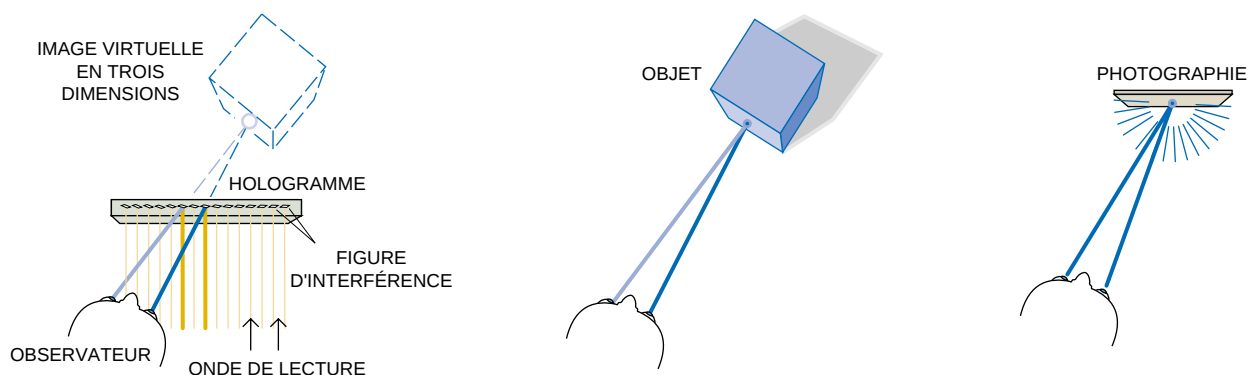
initial. Chaque œil à un angle de vue différent parce que l'intensité des ondes réfléchies varie selon leur direction ; ainsi, l'observateur voit en relief.

Un unique hologramme équivaut à de nombreuses photographies classiques, chacune prise d'une direction différente et mise au point à différentes profondeurs de champ.

Stephen BENTON, Groupe d'imagerie spatiale du Laboratoire des média, Institut de technologie du Massachusetts



LA CRÉATION D'UN HOLOGRAMME utilise une source de lumière cohérente (un faisceau laser) dans laquelle toutes les ondes oscillent en phase. Ce faisceau de référence traverse une lentille, expose le film holographique quasi transparent, et éclaire ensuite l'objet. La lumière réfléchie, nommée faisceau objet, expose également le film. Le faisceau de référence et le faisceau objet interfèrent et forment une figure d'argent du film holographique.



LA LECTURE D'UN HOLOGRAMME requiert un éclairage sur le film qui provient de la même direction que le faisceau de référence. La figure d'interférence sur le film d'argent diffracte et réfléchit la lumière de façon à recréer l'orientation et l'intensité de l'onde lumineuse du faisceau objet original. Pour un même point de l'objet, chaque œil voit la lumière arriver d'un point différent de la figure d'interférence (à gauche). En répétant cette opération pour chaque point de l'objet, l'observateur voit une

image virtuelle en trois dimensions flotter derrière l'hologramme. L'hologramme imite la manière dont on perçoit un objet réel : la nature de la lumière réfléchie varie avec l'angle de vue. Cette variation est indiquée par la différence de couleur entre les rayons atteignant chaque œil pour l'hologramme et l'observation de l'objet réel (à gauche et au centre). À l'inverse, une photographie en deux dimensions réfléchit la même intensité de lumière dans toutes les directions (à droite).

Illustrations de Boris Starosta



Fractures

H. VAN DAMME • F. DUVAL • Y. ABDELHAYE

On fracture des gels pour étudier la fracturation de la roche.

L'industrie pétrolière se préoccupe des fracturations : afin de mieux récupérer les combustibles fossiles piégés dans les roches, elle injecte de l'eau sous pression et espère une dilatation des interstices créés par les fracturations, dilatation qui facilitera la circulation du pétrole vers les stations de pompage.

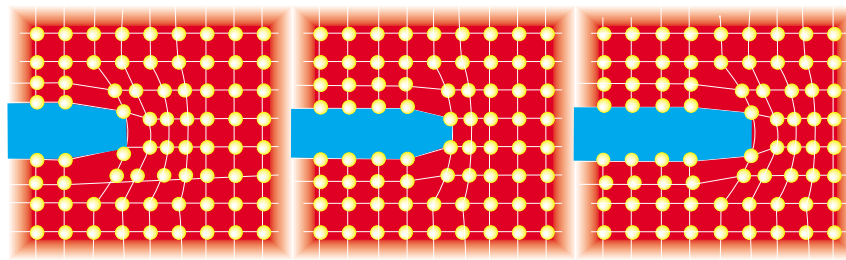
Comment la roche se fissure-t-elle ? La rupture s'amorce au point d'injection du liquide quand la pression du liquide est supérieure à la limite de rupture de la roche. La fissure est un plan vertical, parce que c'est dans cette direction que l'ouverture de la fissure est le moins contrecarrée par le poids des couches supérieures qui la refermeraient.

Une fois créée, la fissure continue de se propager presque sans consommation d'énergie, parce que de l'énergie est récupérée lors de son ouverture. En effet, le liquide qui ouvre une fissure déforme d'abord le matériau, ce qui dépense de l'énergie ; puis, quand le fond de la fissure s'ouvre, la déformation cesse à l'endroit initialement déformé, ce qui restitue l'énergie «élastique» : celle-ci déforme alors le matériau plus avant (voir la figure).

Pour modéliser ce phénomène, nous avons utilisé une argile de synthèse, la laponite, en suspension dans de l'eau : cette suspension forme un gel, qui simule la roche. Un tel gel réagit élastiquement quand on lui applique un effort modéré : quand on cesse de lui appliquer des forces de déformation, il reprend sa forme initiale. En revanche, quand les déformations sont excessives, le gel s'écoule. Nous y injectons une résine époxy, qui reproduit l'eau, et nous observons que la fracturation est différente selon les viscosités respectives de la résine et du gel.

Quand la résine est bien plus visqueuse que le gel, à la vitesse d'injection, elle forme une goutte (ci-dessus à gauche). Au contraire, quand la résine est peu visqueuse, le gel est fracturé. À faible vitesse d'injection (quelques millimètres par seconde), plusieurs plans de fractures apparaissent, et chaque plan de fracture se divise, au bout d'un certain parcours en plusieurs plans de fractures secondaires (voir la figure de la page ci-contre).

Ces expériences révèlent trois phénomènes. Le premier concerne le front d'invasion : stable sous la forme d'une goutte qui gonfle lorsque c'est le fluide le plus visqueux qui envahit l'autre (pensons à du miel qui coule dans de l'eau), il devient instable dans le cas inverse, et le front devient irrégulier.



Un liquide qui comprime le fond d'une fissure déforme le matériau : de l'énergie mécanique est stockée. Quand les liaisons entre atomes lâchent, sous la contrainte appliquée, cette énergie de déformation est libérée et se propage, sous la forme d'une onde de pression (non représentée ici) le long des flancs de la fissure. La pression se reporte ensuite au fond de la fissure, qui poursuit sa propagation.

D'autre part, bien que les gels de laponite soient bien moins rigides que des métaux ou que des roches, le fluide injecté peut les fracturer, parce que, comme dans les solides tels les roches, l'énergie élastique est restituée lorsqu'une fissure s'ouvre et se propage. Ce type de propagation était inattendu dans le cas des gels.

Enfin, le troisième phénomène est le plus étonnant : c'est la très grande instabilité de la fracture, quand sa vitesse augmente. Dans les métaux ou dans les roches, la théorie de la mécanique des milieux continus prévoit un changement de direction des contraintes en pointe de fissure, lorsque la vitesse de la pointe atteint environ la moitié

de la vitesse du son dans le matériau : le son, en effet, est la propagation de variations de pression, et sa vitesse est la vitesse maximale de propagation des variations de pression dans le matériau. Or une fissure qui s'ouvre s'accompagne de variations de pression (des compressions, puis des détentes ; lors de la rupture) ; comme ces variations de pression ne peuvent se déplacer à vitesse supérieure à la vitesse du son, et comme le liquide est injecté de force dans le matériau, la fissure est bloquée, et elle se poursuit alors latéralement, dans des directions où elle ne se propageait pas encore à la vitesse du son. C'est l'explication de ces plans de fracture inclinés par rapport au plan de fracture initial, vertical. À leur tour, ces plans de fractures secondaires peuvent se diviser en plans du troisième

ordre, et ainsi de suite : ainsi se forme la structure divisée que l'on voit sur la photographie.

Dans une roche ou dans un métal, la vitesse du son est très élevée (environ 1 000 mètres par seconde), de sorte que le phénomène de déviation de fissures est rare. Dans un

gel, toutefois, la vitesse des ondes n'est que de quelques centimètres ou décimètres par seconde : on atteint bien plus facilement les régimes d'instabilité de fractures.

Des phénomènes d'instabilité des fractures se produisent-ils à grande profondeur, dans les roches ? C'est peut-être l'étude de matériaux mous, en laboratoire, qui le dira.

Henri VAN DAMME est directeur du Centre de recherche sur la matière divisée du CNRS et de l'Université d'Orléans. Franck DUVAL et Yehdid ABDELHAYE sont chercheurs dans ce centre.



Géologie

Volcans

Bernhard Edmaier et Angelika Jung-Hüttl. Éditions Nathan, 1997.

Ce beau livre rassemble de superbes photographies de volcans qui soulignent leurs relations avec les hommes et les éléments naturels : eau, glace, végétation. On peut y admirer des volcans dans tous les environnements : sommets montagneux, vallées encaissées, désert, savane, steppe, glacier. On nous montre différents édifices et structures volcaniques, dont certaines sont spectaculaires, comme ces gigantesques tunnels naturels formés par une coulée de lave qui se refroidit au contact de l'air et laisse une carapace solidifiée. On comprend que les volcans créent leurs propres paysages et qu'ils sont sources de richesses pour l'homme. La beauté des paysages volcaniques et le ballet des couleurs dues aux éruptions sont illustrés intelligemment. Le texte est agréable et les quelques paragraphes techniques sont illustrés par des schémas clairs. Ce livre est dans la lignée «classique» de Haroun Tazieff, de Katia et Maurice Krafft. Il ne renouvelle pas le genre, mais se distingue par la grande qualité artistique de ses photographies.

Toutefois, il présente les volcans tels qu'un explorateur isolé peut les voir. Cette vision limitée ne correspond plus à la volcanologie telle qu'elle est pratiquée aujourd'hui. Les volcanologues actuels sont plus intéressés par les dépôts d'éruptions anciennes qu'à courir aux quatre coins du monde chaque fois qu'un volcan se réveille : le nombre de dépôts disponibles est bien plus grand que celui des éruptions qu'ils peuvent espérer observer de leur vivant.

Les recherches volcanologiques nécessitent des moyens importants et mettent en jeu les parties cachées du système volcanique : la plomberie interne, qui canalise le magma jusqu'à la surface ; le réservoir qui est comme une usine chimique où le magma cristallise ; la source profonde de magma qui alimente le réservoir plus ou moins régulièrement. La volcanologie, c'est aussi l'analyse des principes physiques qui régissent les différents régimes éruptifs et la quantification des phénomènes.

La fascination naturelle que nous éprouvons pour les volcans n'interdit pas de montrer qu'ils obéissent à des lois simples et en nombre limité. Observer et décrire les phénomènes ne suffit

plus ; il faut illustrer les principes physiques à l'œuvre et montrer comment les volcans fonctionnent. Une éruption, qui est le résultat ponctuel d'une longue série de processus, ne se comprend que si on la replace dans l'histoire du volcan, c'est-à-dire si l'on détermine à quel stade de son évolution elle se déclenche. Un volcan naît et finit par mourir, et l'on ne peut le comprendre que si on l'imagine en train de changer. On doit le représenter à la bonne échelle, aussi bien dans le temps que dans l'espace. L'enregistrement «objectif» que constitue une photographie restitue une image partielle et instantanée. Il reste ensuite à interpréter l'image, à gommer les aspects accessoires et à faire ressortir les traits significatifs. Pour voir le volcan dans son ensemble, on doit se placer à la bonne distance et dans la perspective adéquate. Je me limiterai à deux exemples.

Sur l'île d'Hawaii, au beau milieu de l'océan Pacifique, le volcan Kilauea est alimenté en magma par un conduit plus ou moins vertical, situé au droit de la caldeira qui marque son sommet. Le magma peut sortir directement par le sommet, mais aussi par des fissures s'ouvrant sur les flancs du volcan à plusieurs dizaines de kilomètres. Le magma suit donc parfois un cheminement souterrain quasi horizontal qui se révèle à la surface par de multiples lézardes «en échelon». Seule une photographie prise d'avion dans l'axe du «rift» peut illustrer ce fantastique réseau de conduites internes.

Un autre exemple est celui des éruptions pliniennes, comme celle qu'a connues le Vésuve en 79 de notre ère. Ces éruptions se développent dans l'atmosphère en un jet, puis en un panache convectif, jusqu'à des altitudes de plus de 30 kilomètres. À de telles altitudes, les cendres et les aérosols volcaniques sont pris par les vents stratosphériques et sont transportés sur des distances de plusieurs milliers de kilomètres. Montrer un tel panache n'est possible que grâce à un satellite en orbite.

Quel serait le livre «idéal» que voudrait feuilleter un volcanologue ? Ce dernier rêve de voir l'île d'Hawaii sortir du Pacifique et s'élever jusqu'à plus de 4 000 mètres d'altitude, de suivre les étapes principales de ses quelques centaines de milliers d'années d'histoire. Examiner les gigantesques cicatrices qui parcourent ses flancs, sous la mer, et témoignent de monstrueux glissements de terrain. Voir ses fissures et ses cratères se multiplier à la surface. Assister aux grandes catastrophes qui ont laissé les grandes caldeiras du sommet. Suivre le magma, de sa source, à des profondeurs de plusieurs dizaines de kilomètres, jusqu'au réservoir, puis jusqu'à la surface. Voir,

sous la surface, le magma hésiter entre la verticale et un long cheminement horizontal. Observer les métamorphoses successives du magma lors de son ascension, l'apparition de bulles de gaz lorsque le seuil de solubilité des composés volatils est atteint, la formation d'une mousse volcanique, enfin la fragmentation qui pulvérise le magma et libère la phase gazeuse. Tout cela est possible, mais pas sur un seul volcan ni pendant une éruption. C'est un puzzle que l'on peine à reconstituer à partir de pièces que l'on recueille en différents endroits du Globe, où l'érosion et le hasard géologique les ont préservées, d'abord, puis mises au jour. La volcanologie apprend à lire les roches et à rassembler ces informations éparpillées. Ce travail mériterait un livre d'un nouveau genre. Des structures volcaniques fossiles, figées depuis des millions d'années, peuvent se révéler tout aussi spectaculaires qu'une fontaine de lave incandescente, quand on en comprend la signification.

Claude JAUPART

Physique

Granites et fumées

Étienne Guyon et Jean-Pierre Hulin. Éditions Odile Jacob, 1997.

S'il est aisé de définir un milieu pur, tels l'eau, l'huile ou un cristal de quartz, de mica, il est beaucoup plus complexe de décrire précisément une émulsion ou un granite, dont l'homogénéité varie selon la taille de l'échantillon observé. En effet, la mayonnaise est un produit, apparemment homogène, dont le goût et la consistance diffèrent de ceux des éléments constitutifs que sont l'œuf ou l'huile. Le mélange de ces deux derniers ingrédients n'est qu'apparent : au microscope, on observe d'immenses gouttes d'huile séparées par de minces interfaces. La composition hétérogène de la mayonnaise réapparaît, à l'œil nu, quand on chauffe : c'est la preuve que des phénomènes de ségrégation et de mélange sont régis par les mêmes lois, notamment pour ces objets fragiles, décrits avec passion par Pierre-Gilles de Gennes.

Étienne Guyon et Jean-Pierre Hulin nous montrent, dans leur livre *Granites et fumées*, sous-titré «Un peu d'ordre dans le mélange», que le mélange est omniprésent et que sa maîtrise est particulièrement recherchée, pour sa propriété

magique de faire naître de nouveaux produits (au sens large du terme).

Les auteurs commencent leur étude du mélange par des notions philosophiques, en ouvrant le débat aux sciences humaines. Si le mélange a été longtemps opposé à la pureté, et continue de l'être dans de nombreuses cultures, la notion de mélange a permis de remplacer la dualité entre le pur et l'impur par la notion de pluralité, avec une variation continue d'états de mélange. Mêlant les descriptions scientifiques et sociologiques, les auteurs décrivent les phénomènes d'instabilité et de turbulence comme une succession de choix au hasard, de bifurcations qui écartent ou rapprochent irrémédiablement deux particules ou deux individus au cours de leurs rencontres tout aussi riches en réactions et créations de nouveaux ensembles (familles, entreprises...).

De toute évidence, É. Guyon et J.-P. Hulin ont une réflexion qui dépasse le cadre scientifique et qui devrait intéresser sociologues, philosophes (parfois en quête d'analogies scientifiques) et simples curieux... Ces qualités pédagogiques se retrouvent dans les titres suggestifs des dix chapitres : Les nombreuses facettes du mélange, La longue histoire du mélange, Mélange et marche au hasard, Le mélange figé, Mélanger sans fatiguer, Convection et mélange, Turbulence et mélange, Le mélange non miscible, Grains et mélange, Réaction chimique et combustion.

Le premier chapitre nous emmène dans un tourbillon de situations industrielles, culinaires ou de laboratoire qui nous guide dans le labyrinthe des chapitres suivants. Le tourbillon peut, en effet, tour à tour, promouvoir le mélange, comme dans la turbulence, ou, au contraire, séparer un écoulement intérieur au tourbillon du reste du liquide. Le labyrinthe est l'image même d'un écoulement dans un milieu poreux ou d'une marche au hasard, qui peuvent, selon le cas, produire le mélange le plus efficace ou l'inhiber.

Ce livre nous conte aussi des histoires, telles celles des mélangeurs industriels, qui démontrent l'importance de la réflexion, de la ruse de l'ingénieur face à ce problème apparemment simple. Ainsi, de la «diffusion moléculaire qui mélange tout», mais dans un temps infini, aux mélangeurs statiques composés de «nombreuses lames qui découpent et dévient» l'écoulement comme dans un milieu poreux, en passant par le «mélangeur Kénics», formé d'une suite de lames en hélices décalées, qui étirent et replient l'écoulement et, en terminant par le mélangeur chaotique, «composé de tubes tournés de 90 degrés d'une section à l'autre» (voir la figure), le lecteur

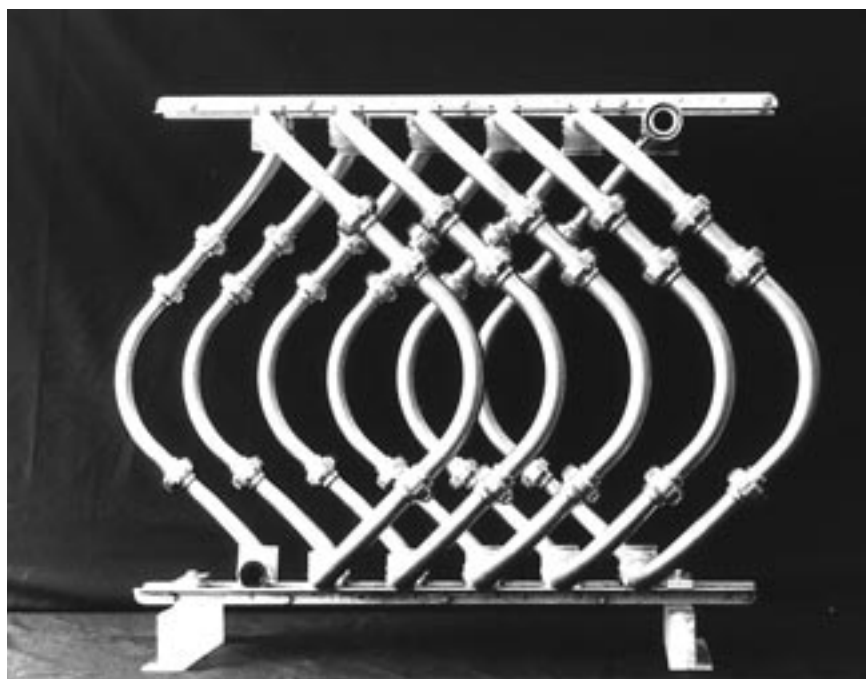
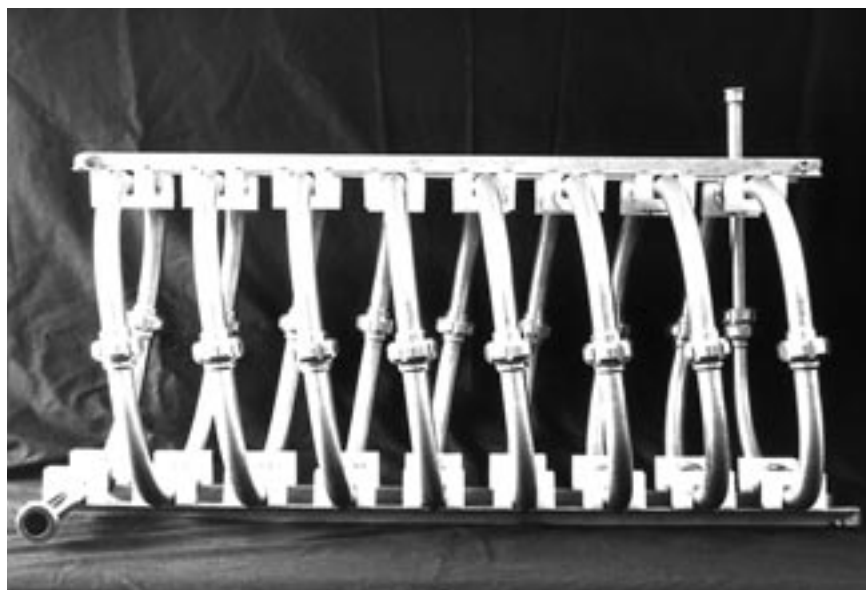
comprend le progrès apporté par les études fondamentales sur le chaos à des applications dont les résultats ne sont pas toujours intuitifs. L'efficacité de la configuration alternée des coudes du mélangeur chaotique peut, en effet, être remarquable pour des fluides très visqueux et fragiles. La multitude d'exemples donnés par les auteurs, aux résultats parfois antagonistes, engendre une vision novatrice dans de nombreux domaines où le mélange et la ségrégation sont deux aspects d'un même ensemble de phénomènes.

Grâce à un effort d'illustration important et à une volonté de dépouiller l'ar-

gumentation de formule mathématique, les auteurs permettent à un large public d'accéder aux recherches actuelles dans des domaines aussi variés que la diffusion moléculaire, la physique statistique, le chaos, la turbulence, le mélange de fluides non miscibles ou celui de grains solides et la chimie. Les outils mathématiques sont ainsi introduits à partir de la *physique* des phénomènes.

Ce livre constitue ainsi une lumineuse relecture de nombreux domaines de la physique moderne et une introduction efficace à ces domaines.

Hassan PEERHOSSAINI
et Pascal DUPONT



Deux systèmes mélangeurs : hélicoïdal (en haut) et chaotique (en bas). Après seulement dix coudes, deux liquides sont bien mélangés par le mélangeur chaotique, pas par le mélangeur hélicoïdal classique.

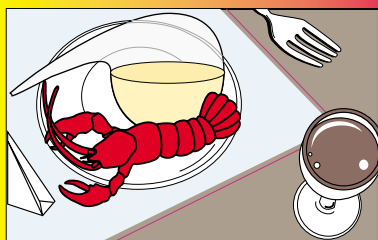
Illustrations de Hassan Peerhossaini

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 27 mars 1998.

FRANCE

info

Dictionnaire

Le Trésor, dictionnaire des sciences

Sous la direction de Michel Serres et
Nayla Farouki. Éditions Flammarion,
1997.

Les dictionnaires scientifiques sont à la mode : j'en ai compté trois nouveaux l'année dernière (à la rédaction desquels j'avoue avoir plus ou moins participé). À l'exemple d'un des plus célèbres, on sème désormais le savoir à tout vent. Le dernier d'entre eux vient de paraître, sous la direction de Michel Serres et de Nayla Farouki. En fait, il ne s'agit pas d'un simple dictionnaire des sciences, mais d'un Trésor, comme, en lettres dorées, nous en avertit la page de titre. La «quatrième de couverture» renchérit : «Ce dictionnaire des sciences est un Trésor qui donne à chacun le privilège de comprendre la beauté du monde, il réunit la quintessence des idées de la science d'aujourd'hui, il rend accessible les notions les plus ardues, il suscite la curiosité et l'envie de savoir, il autorise l'appropriation de ce savoir.» Comment ne pas s'arrêter devant une devanture si brillamment illuminée ?

Il faudrait évidemment un monstreux toupet pour oser rendre compte en quelques lignes d'un ouvrage de plus de 1 000 pages, consciencieusement rédigé par une équipe de neuf collègues parmi les plus honorables et les plus instruits, et destiné à être dégusté à petites gorgées, au rythme des curiosités et des lacunes de tout un chacun. D'autant que «si de rares entrées furent rédigées par un spécialiste seul, l'immense majorité le fut par deux, trois, voire par tous les auteurs». Un critique isolé n'a donc droit qu'à un temps de parole limité : il l'utilisera avec la modestie qui convient.

Plongé au hasard dans quelques-uns des articles (anonymes) qui concernent la discipline qu'il connaît le moins mal, le chimiste que je suis en ressort rafraîchi et enrichi. Le souci du style, de l'image qui frappe et du point de vue original y est constamment présent. Un appel «à lire après ou avant», en tête de chaque article, permet de mieux le resituer dans un contexte général. Un spécialiste plus exigeant que moi notera toutefois qu'à l'article *cristaux liquides*, on ne parle pas de la découverte inattendue et importante des molécules mésomorphes en forme de disques.

Ailleurs, à l'entrée *reconnaissance moléculaire*, il s'étonnera d'entendre affirmer que la «fabrication des circuits plus miniaturisés encore que l'électronique actuelle» est déjà à l'actif de la chimie supramoléculaire (la formulation sera sans doute plus d'actualité dans une prochaine édition).

Toutefois, les remarques mineures de ce genre, qu'on pourrait sans doute pouvoir multiplier, n'entament en rien la bonne impression que je retire de ce nouveau dictionnaire, pardon ! De ce *Trésor*.

Depuis Jean Le Rond d'Alembert et son discours préliminaire de l'*Encyclopédie*, en passant par Adolphe Wurtz et cet autre discours préliminaire du *Dictionnaire de chimie pure et appliquée*, sans oublier E. Littré et la préface de son *Dictionnaire de la langue française*, etc., la tradition veut que les auteurs ou les responsables de ces grands inventaires des connaissances de leur temps ouvrent la marche en exposant leurs méthodes, leur philosophie et leurs ambitions. M. Serres répond présent à cet appel de l'histoire en nous offrant les xxxix pages d'une préface de son *Trésor*.

Oserais-je, pour citer le présentateur lui-même, relever que le bilan de ce gros ouvrage est «légèrement incliné» et qu'«une sorte de diagonale divise [...] secrètement [ses] pages, non pas tout à fait à l'axe droit que devrait tracer l'équilibre d'un bilan. D'un côté s'accumule le volume immense des notions assez stables, reçues de siècles passés ou récents, renforcées par les critiques pertinentes que le temps y ajouta ; édifice puissant dont les fondations assurent encore notre raison et sans doute pour longtemps ; cet héritage a formé savants et non-savants parce qu'il se compose non seulement de résultats et de méthodes, mais aussi d'une philosophie que nous avons reçue en même temps que nos langues et nos cultures, notre vision du monde et de la connaissance. De l'autre côté de la diagonale s'annoncent les inventions que notre génération produisit, fragiles parfois et destinées, peut-être, à disparaître ou, au contraire, annonciatrices d'un temps si nouveau qu'il rendra en partie illisible la colonne d'en face et qu'il devra redresser les perspectives de l'histoire des sciences pour assurer la compréhension du monde d'aujourd'hui et sa cohérence avec celui de naguère et jadis [etc., etc.].» Tout cela pour dire qu'on trouvera dans ce dictionnaire du «classique», du «moderne» et même du «postmoderne».

Suivent quatre chapitres, eux-mêmes divisés en 30 sous-chapitres,

qui visent à conférer à l'ensemble le mystérieux éclairage qui convient. Parmi leurs sous-titres, on citera, à titre d'exemple : *Abondance et rareté... Lire, ne pas lire ou lire autrement... Le vide élimine le paysage : l'Univers élimine le divers... Du singulier au singulier... L'ancienne et double vision du monde, pagus et pages...* Bref, à la lumière de cette préface-viatique, «pris par la main, le lecteur peut enfin comprendre les lignes de force de la pensée scientifique, aujourd'hui, enracinées qu'elles sont dans une histoire bimillénaire de tâtonnements et de fulgurances». Une telle littérature ne se pastiche pas!

Rassurons-nous : les auteurs des articles de ce dictionnaire n'ont pas tous le même goût du bavardage étincelant et futile.

Jean JACQUES



Mercure debout sur le Globe terrestre. À côté de lui, le caducée qu'ont adopté comme insigne les professions de santé.

Pharmacie

Un pharmacien raconte

Paule Fougère. Éditions Buchet-Chastel, 1997.

Reconnaissons-le : nous sommes tous pharmacodépendants ! Quand nous sommes malades, nous guérissons (le plus souvent), mais presque toujours en ayant pris des médicaments. D'où une association qui crée une forme de conditionnement... Pour combattre la plupart de nos maux, le médecin ne dispose, en effet, que d'une arme, le médicament, et d'un rituel, la prescription ; ce qui fait du pharmacien son acolyte habituel. Or s'il existe une abondante littérature sur la médecine et les médecins, la pharmacie et les pharmaciens sont déshérités. Une absence qui serait chargée de sens ?

Ce que raconte ce pharmacien – une pharmacienne qui réserve le féminin à l'épouse du détenteur d'officine – vise à... remédier à ce déséquilibre. C'est un témoignage vivant, parfois même touchant, d'une lecture facile, sur une longue pratique d'officine et sur la bonne société des gens de lettres qu'elle a fréquentés avec son mari, écrivain. D'où un continuel mélange entre la substance réputée active (les enjeux et les étapes de la vie professionnelle) et l'excipient (la vie familiale et mondaine).

Hélas, bien peu d'humanisme authentique se dégage de ce mélange, pourtant nourri des bouleversements

des pratiques médicales, depuis les années 1940. Le discours est souvent convenu, qu'il s'agisse de la motivation initiale (le désir de combattre la mort), de l'estime teintée de condescendance à l'égard des préparateurs et des assistants, de la compassion restreinte pour les clients ou pour les réfugiés espagnols que, jeune étudiante, elle côtoie en 1938. On ne trouve pas non plus d'allusion à une quelconque concertation avec les médecins prescripteurs. Les pharmaciens ont du mal à sortir de «l'ombre de M. Homais»...

P. Fougère rappelle que c'est un même mot du grec ancien qui désigne à la fois le remède et le poison. En conséquence, elle détaille la dramatique histoire du Stalinon (92 décès), qui illustre bien cette dualité et qu'ont fait un peu oublier d'autres affaires moins anciennes, telles celles de la Thalidomide ou du Distilbène. Cependant elle utilise surtout cette relation d'un drame pour déplorer la tentative de remise en ordre de la profession qui s'en est suivie, dans les années 1960. Refus d'être payé à l'acte, comme les médecins, et volonté de maintenir la confusion entre profession libérale et commerciale, ainsi que le monopole de la parapharmacie. L'extension des «selves» de cosmétiques et produits variés, qui ont transformé les pharmacies en bazars, ne semble pas lui poser de problème. On nous indique la part du fabricant, du grossiste, de la TVA dans le prix des médicaments, mais pas celle du détaillant... On saura pourtant qu'elle est soumise aux restrictions de la «marge lissée».

Une bonne place est faite à l'explosion de la psychopharmacologie et aux

«médicaments du bien-être», après le succès de la Chlorpromazine, dans les années 1950. En revanche, l'enthousiasme général pour les effets quasi miraculeux des antibiotiques ne semble pas avoir exagérément gagné la jeune pharmacienne de l'immédiat après-guerre, pas plus que les «splendeur et misères des cortisones». L'étrange voisinage entre drogues légales et illégales dans les officines les désignent pour des agressions répétées : l'auteur n'y a pas échappé, mais elle accuse d'abord «le laisser-aller qui succède aux guerres»...

Réticente à l'égard de la pilule et de l'interruption volontaire de grossesse, elle accepte assez bien qu'on soit brusquement passé de la prohibition à la quasi-obligation des préservatifs, sauf s'il faut les avoir parfumés... Au terme d'une vie professionnelle longue et réussie, insérée dans une vie familiale et bourgeoise accomplie, l'auteur garde une foi intacte en la médecine et en ses pratiques, ainsi qu'un optimisme sans remise en cause dérangeante. Une lecture de détente, genre «bonnes soirées».

Maurice PASDELOUP

Physique

Électrostatique et magnétostatique. Ampère, Coulomb, Maxwell et les autres...

Michel Saint-Jean, Jean Matricon et Janine Bruneaux. Éditions Diderot Multimédia, 1997.

Un bon manuel de physique destiné aux premiers cycles universitaires, ainsi qu'aux préparations aux grandes écoles, doit répondre à deux exigences contradictoires. Tout d'abord, il doit, évidemment, contenir de la Physique, avec un grand «P». C'est-à-dire qu'il doit être pragmatique, fonder ses raisonnements sur le réel, laisser une part importante à l'expérimentation, montrer le cheminement des idées sans cacher les aspects intuitifs, etc.

D'autre part, il doit satisfaire sa clientèle, surtout constituée d'étudiants dont le but essentiel est de réussir leurs examens ou leurs concours. Ceux-ci, par souci d'efficacité, se tournent plutôt vers des manuels formels et emplis de calculs, car ils croient perdre leur temps

POUR LA SCIENCE

8, rue Férou 75278 PARIS CEDEX 06
Tél : 01-55-42-84-00
<http://www.pourlascience.com>

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

Ont également collaboré à ce numéro : Antoine Andrement, Paloma Cabeza-Orcel, Elisabeth Crawford, Bettina Debû, Paul Decaix, Philippe Ferrando, Évelyne Host-Platret, Marie-Thérèse Landousy, Philippe Machetel, R. Marsden, Claude Olivier, Guy Paulus, B. Perrin, J.-P. Reverseau.

SCIENTIFIC AMERICAN Editor : John Rennie. Board of editors : Michelle Press, Timothy Beardsley, Wayt Gibbs, Marguerite Holloway, John Horgan, Kristin Leutwyler, Madhusree Mukerjee, Sacha Nemecek, Corey Powell, Ricki Rusting, David Schneider, Gary Stix, Paul Wallich, Philip Yam, Glenn Zorpette. Publisher : Joachim Rosler. Chairman and Chief Executive Officer : John Hanley. Corporate Officers : Robert Biewen, Frances Newburg, John Moeling, Anthony Degutis.

PUBLICITÉ France

Chef de Publicité : Susan Mackie, assistée de Anne-Claire Ternois, 8 rue Férou 75278 Paris Cedex 06
Tél. : 01 55 42 84 28.
Télex : LIBELIN 202978F.
Télécopieur : 01 43 25 18 29

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

SERVICE ABONNEMENTS

Ginette Grémillon : 01 55 42 84 04.

SERVICE DE VENTE RÉSEAU NMPP

Henri Gibelin.

DIFFUSION DE LA BIBLIOTHÈQUE POUR LA SCIENCE

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

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

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

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

© Pour la Science S.A.R.L.

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

En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement la présente revue sans autorisation de l'éditeur ou du Centre Français d'exploitation du droit de Copie (3, rue Hautefeuille - 75006 Paris).

Nos lecteurs trouveront des bulletins d'abonnement en pages 18A, 18B, 98A et 98B.

avec des discours qui leurs paraissent inutiles. Bref, l'enseignement, en France, surtout à ce niveau, est encore victime de la classification d'Auguste Comte, qui place les mathématiques au dessus de tout. Pour bien des étudiants, la physique apparaît comme une «sous-mathématique», une sorte d'application des mathématiques aux approximations douteuses. Cet état d'esprit est malheureusement encouragé par le système d'évaluation, qui favorise trop les raisonnements purement logiques et déductifs.

D'année en année, on voit certains manuels de physique pour classes préparatoires devenir de plus en plus formels, de plus en plus abstraits, de plus en plus calculatoires. Certains livres de cours ressemblent même à des recueils d'exercices... dont les étudiants raffolent bien souvent. Du temps où j'étais en classe préparatoire, j'avais découvert un manuel de mécanique du point, petite merveille bourrée de remarques judicieuses et de raisonnements astucieux. Je l'ai retrouvé récemment chez un libraire, entièrement réécrit et considérablement enflé. De réédition en réédition, il a dû se conformer aux exigences du marché.

Comme bien des collègues, j'ai toujours été frappé par la différence d'esprit entre les manuels anglo-saxons, plus pragmatiques, et les documents français, plus formels. Malheureusement, un étudiant qui préparerait un concours en ne se fondant que sur des manuels anglo-saxons aurait peu de chance de le réussir. Moi-même, en charge d'une préparation à l'agrégation de physique, je conseille aux étudiants de préparer leur concours en utilisant les livres français pour «bachoter» et de réserver les manuels anglo-saxons aux lectures vespérales, pour parfaire l'ouverture d'esprit.

Dans ce paysage, l'ouvrage de Michel Saint-Jean, Jean Matricon et Janine Bruneaux apparaît comme très original, notamment par la façon dont il résout le dilemme que je viens de présenter. Avec un corps du texte de facture «classique», il ressemble à bien d'autres ouvrages français, tout en restant assez sobre dans les développements mathématiques et en essayant de ne pas en rajouter du point de vue formel. En particulier, il évite toute présentation «exotique» qui pourrait perturber les étudiants.

L'électrostatique et la magnétostatique sont fondées sur les lois de Coulomb et de Biot et Savart. Un cheminement progressif est ensuite adopté dans les deux cas : propriétés générales des champs, lois globales et locales, phénomènes de déplacement et d'in-

duction, propriétés des milieux, pour déboucher en fin d'ouvrage sur les équations de Maxwell.

Je préfère nettement cette approche à celle qui consiste à poser comme des postulats les équations de Maxwell, puis à éliminer les termes de dérivée par rapport au temps pour traiter l'électrostatique et la magnétostatique. Dans une telle approche formelle, adoptée par certains manuels, les lois de l'induction apparaissent comme une conséquence des postulats (voire comme un exercice d'application) et perdent le caractère créateur qu'elles ont eu historiquement.

Plutôt que de s'encombrer d'un formalisme fallacieux, la concession à la modernité se traduit par l'utilisation des moyens informatiques. En effet, l'ouvrage est vendu accompagné d'un logiciel sur CD-ROM destiné à tester, de façon interactive, les connaissances du lecteur. Il se présente ainsi comme un outil de travail pratique et efficace qui, j'en suis persuadé, séduira les étudiants et les aidera dans leurs études.

La découverte de la «vraie physique» intervient à l'occasion d'encadrés historiques, ajoutés au corps du texte. Ce sont des bijoux. On y apprend comment la pensée des grands savants dut cheminer pour engendrer ces lois célèbres qui portent aujourd'hui leurs noms. Au-delà de l'anecdote, ces encadrés ont une vertu pédagogique : on découvre que même ces physiciens célèbres ont souvent douté et qu'ils ont eu des intuitions fausses avant d'arriver à mettre en place les concepts aujourd'hui enseignés.

Enfin, l'ouvrage est d'apparence agréable, et les figures sont nombreuses et claires. Des icônes, placées dans la marge, indiquent les passages fondamentaux (principes, lois...), les phrases particulièrement importantes qui incitent le lecteur à une réflexion approfondie, ainsi que les fameux encadrés historiques dont je viens de parler.

Je souhaite du succès à cet ouvrage d'électromagnétisme qui se présente comme le premier d'une série, et j'attends la parution des tomes suivants avec impatience, notamment pour y découvrir la suite des passionnantes aventures contées par Toth (Dieu égyptien du calcul, de la science et des arts).

Rémi JULLIEN

La liste de tous les livres reçus en service de presse par la rédaction de Pour la Science est donnée sur notre site Internet, à l'adresse :
<http://www.pourlascience.com>