

CHEZ LE LIBRAIRE

The Millennium Problems par Keith Devlin, Granta Books. ISBN 1862076863, relié £20 (\$29,95).

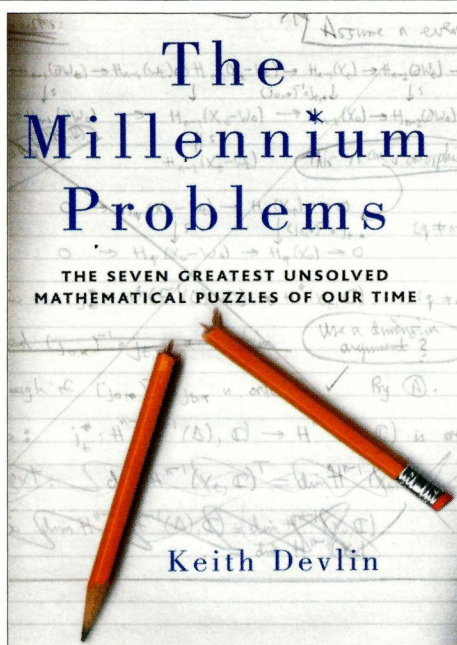
Le 24 mai 2000, dans un amphithéâtre du Collège de France, à Paris, Michael Atiyah (Royaume-Uni) et John Tate (États-Unis) ont annoncé l'attribution d'un prix d'un million de dollars aux premiers à trouver une solution aux sept problèmes mathématiques non résolus les plus difficiles – les "problèmes du millénaire". Ce prix a été institué par le Clay Mathematics Institute (CMI), une institution privée créée un an plus tôt par l'homme d'affaires Landon Clay. La liste des problèmes avait été établie par un comité de mathématiciens de très haut niveau, comprenant, outre Atiyah et Tate, Arthur Jaffe, directeur actuel du CMI, Alain Connes, Andrew Wiles et Edward Witten, seul physicien du groupe, mais titulaire d'une médaille Fields.

Il y a un siècle, également à Paris, David Hilbert prononça le fameux discours où il proposait un programme de travail aux mathématiciens du 20^{ème} siècle – en tout 23 problèmes. Quelques-uns se sont révélés plus simples que prévu ou trop imprécis pour admettre une réponse définitive, mais la plupart étaient d'authentiques problèmes – difficiles et importants – qui ont permis à ceux qui les ont résolus de connaître un moment de notoriété et de gloire (à défaut de la richesse).

Il convient de mentionner certaines des différences entre ces deux séries de problèmes. Alors qu'Hilbert visait à orienter les recherches en mathématiques, les problèmes du millénaire tracent les limites actuelles des connaissances dans ce domaine. Une autre différence importante est qu'en ce qui concerne l'ensemble de problèmes du CMI, deux sont inspirés par des problèmes de physique d'une grande complexité: la dynamique des fluides et la structure des théories de jauge.

Dans ce livre, Keith Devlin, un mathématicien réputé, qui écrit d'excellents articles et ouvrages pour le grand public, relève le défi de taille d'expliquer ces problèmes, le mieux possible, à un lecteur supposé ne pas avoir dépassé le niveau secondaire en mathématiques – et tout cela en seulement 200 pages! Un objectif presque surréaliste, avec pourtant des résultats très satisfaisants! Son livre réussit à communiquer dans une large mesure la complexité et l'importance des problèmes et donne un aperçu de la vive exaltation que ressent celui qui les résout – pour tous ceux qui participent à la recherche, le million de dollars de récompense est presque incongru.

L'auteur a choisi de présenter les problèmes en allant du plus "simple" au plus abscons. Le premier est la conjecture de Riemann. Étroitement lié



à la répartition des nombres premiers, c'est le seul des problèmes proposés par Hilbert qui n'ait pas encore été résolu. Techniquement, il s'agit de situer les zéros d'une certaine fonction (la fonction zêta de Riemann). Des centaines de résultats en théorie des nombres résulteront de la démonstration de la véracité de la conjecture et il est tout à fait probable qu'un sondage auprès des mathématiciens la désignerait comme le problème non résolu le plus important en mathématiques.

Le deuxième a également un parfum de physique. Toutes les interactions fondamentales du modèle standard de la physique des particules sont des interactions de jauge. Considérons la situation idéalisée d'une théorie de jauge pure – nous aimerions alors avoir une preuve mathématique rigoureuse que la théorie quantique entraîne le confinement et que la masse du premier état excité est définie positive (qu'il existe un intervalle de masse). La plupart des physiciens seraient d'accord avec ces propriétés, mais une preuve véritable permettrait de disposer, en théorie quantique des champs, de méthodes complètement nouvelles qui pourraient apporter une révolution semblable à l'invention du calcul infinitésimal par Leibniz et Newton.

Le troisième problème a trait à la complexité algorithmique, et plus précisément à la façon de répondre à la question suivante: parmi des fonctions ou des propositions calculables, comment déterminer celles qui sont "faciles" et celles qui sont "difficiles". Les problèmes qui peuvent être résolus en un temps qui est une expression polynomiale de la longueur de l'entrée (en bits) relèvent de la classe de complexité P, tandis que la

classe NP contient des problèmes qui sont considérés comme difficiles, parce que l'exécution de tous les algorithmes que l'on a utilisés jusqu'à ce jour pour les résoudre demande un temps qui est une fonction exponentielle. Parmi les problèmes de la seconde catégorie, un des plus connus est celui du commis-voyageur. Personne ne sait si les classes P et NP sont équivalentes. C'est un problème central de la théorie algorithmique, dont la résolution peut avoir de profondes répercussions technologiques.

Avec le quatrième problème, nous retrouvons la physique, car il est lié à l'équation de Navier-Stokes qui décrit l'écoulement d'un fluide incompressible et visqueux. Il serait difficile d'exagérer l'importance de cette équation pour la conception des avions et des bateaux. On dispose certes d'un très grand nombre de méthodes d'approximation et numériques, comme dans le cas des théories de jauge, mais il manque toujours une méthodologie rigoureusement mathématique, qui permette une compréhension fine de l'espace des solutions pour des conditions initiales données. Pour apprécier la difficulté du problème, une solution signifierait une compréhension détaillée du phénomène de la turbulence – ce qui n'est pas rien!

Le cinquième problème, la conjecture de Poincaré, nous conduit aux fondements de la topologie moderne. En gros, la topologie est l'étude des espaces que des déformations continues arbitraires laissent stables. Ainsi, un tétraèdre ou un cube peut être transformé par déformation continue en une sphère, alors qu'il est impossible d'en faire de même avec la surface d'un tore. La possibilité d'une telle transformation est une question très intéressante, qu'il est légitime de se poser, en ce qui concerne l'ensemble complet des invariants topologiques de dimension donnée. Cette propriété, dite de connexité simple, caractérise la topologie de la sphère. Poincaré demandait si une propriété similaire caractériserait complètement une sphère tridimensionnelle. Au XX^e siècle, on est parvenu à établir une classification des espaces dont la dimension est différente de trois – curieusement celle pour laquelle la conjecture de Poincaré a été formulée. Le progrès réalisé au cours des deux dernières décennies semble indiquer qu'elle pourrait être résolue dans quelques années.

Les deux derniers problèmes sont vraiment obscurs. Ce sont les conjectures dites de Birch et Swinnerton-Dyer et de Hodge. Pour donner une idée de la difficulté d'expliquer la première, il convient de remarquer qu'une contribution définitive, pouvant conduire à sa résolution, a été la démonstration du dernier théorème de Fermat par Wiles et le progrès qui en a résulté en ce qui

concerne les conjectures dites de Taniyama-Shimura. Le problème est intimement lié à l'étude des solutions rationnelles d'équations de type spécial (les courbes elliptiques), qui relèvent elles-mêmes de l'univers apparemment insondable des équations diophantiennes. La conjecture de Hodge est, selon Devlin, une des plus difficiles à exposer au non-spécialiste. Sa résolution permettrait de profondes avancées en analyse, en topologie et en géométrie, mais sa simple formulation requiert des connaissances évoluées dans ces trois disciplines.

Devlin s'acquitte brillamment de la tâche qu'il s'était fixée, à savoir rendre ces problèmes fascinants accessibles à un large public. Une tâche d'une difficulté telle, que certaines obscurités et quelques inexactitudes sont inévitables. Néanmoins, pour toute personne qui s'intéresse aux frontières des mathématiques et des connaissances scientifiques, ce livre est d'une lecture captivante.

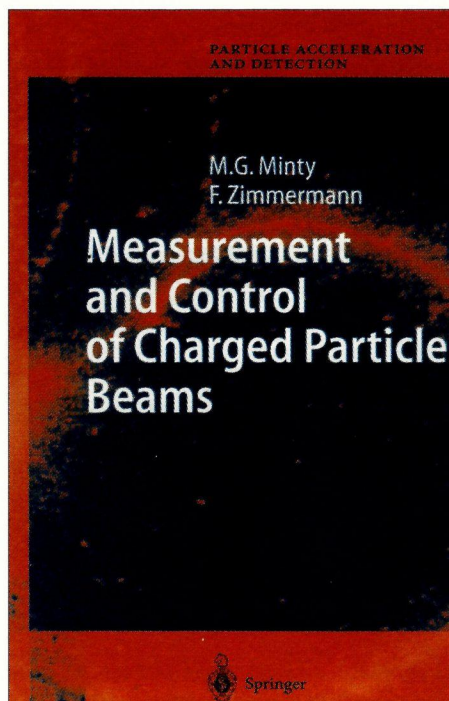
Luis Alvarez-Gaume, CERN.

Measurement and Control of Charged Particle Beams par M G Minty et F Zimmermann, Springer. ISBN 3540441875, relié, € 74,85 (£54, \$79,95).

Cet ouvrage spécialisé s'adresse principalement aux milieux concernés par les accélérateurs de particules de haute énergie. Les auteurs y présentent un état des lieux de la mesure et de la commande des faisceaux de particules chargées. S'intéressant à la nouvelle génération de ces machines, ils traitent de façon assez détaillée les travaux d'avant-garde accomplis, partout dans le monde, sur les collisionneurs linéaires électron-positon.

La matière et les références proviennent de ressources du monde entier. Les références sont particulièrement abondantes et les auteurs ont rendu un service louable en extrayant les articles-clés des comptes rendus de plus en plus volumineux des conférences et des écoles. Le livre comprend 172 figures, qui sont fréquemment des exemples "réels" provenant des laboratoires de physique des hautes énergies les plus avancés. Les auteurs se sont attachés à développer la théorie dans les domaines les plus pointus ou les moins connus. Chaque chapitre est étayé par des exercices, dont la solution est l'occasion, pour eux, de fournir des explications plus théoriques et des points de vue différents qui s'intégreraient mal dans le corps du texte. Toutefois, il convient que le nouveau venu tienne compte de l'avertissement de la page 5, précisant que le lecteur est supposé connaître l'optique de base – ainsi que, pourrions-nous ajouter, les mathématiques supérieures appliquées.

Le lecteur expérimenté peut omettre le premier



chapitre d'introduction, tandis que le novice aura avantage à se mettre à niveau en prenant connaissance des références plus élémentaires qu'indiquent les auteurs. Le livre alors se lit sans difficulté. Partant de l'optique à une particule, il passe progressivement à l'émission, aux photoinjecteurs, à la collimation, à l'optique longitudinale, aux manipulations longitudinales, à l'injection et à l'extraction, à la polarisation et au refroidissement. D'une façon générale, les auteurs examinent d'abord les méthodes de mesure, puis les moyens de commande.

Le chapitre 2 commence par la mesure des paramètres optiques transversaux. Beaucoup des techniques décrites sont relativement récentes et reposent sur les progrès spectaculaires de l'électronique numérique et de la puissance informatique en ligne. La commande "orthogonale" de l'accord bêta-tron et de la chromaticité est généralisée à un nombre plus grand de paramètres en mettant en œuvre des techniques matricielles pour les systèmes quasilineaires et de puissants algorithmes de minimisation pour les cas nettement non linéaires.

L'important sujet de la correction de l'orbite fermée fait l'objet du chapitre 3, où le lecteur pourra mettre à jour ses connaissances et découvrir des expressions telles que le "lissage des correcteurs" (p87). Y sont également traités des thèmes plus récents, tels que les déformations d'orbite dues au champ de sillage, le guidage sans dispersion, l'asservissement d'orbite et les orbites oscillantes excitées par un dipôle à courant alter-

natif. Le chapitre 4 concerne la tâche difficile qu'est la mesure de l'émission, dans les plans transversal et longitudinal, l'équilibrage des émissions et la commande de l'amortissement par rayonnement synchrotron. Au chapitre suivant, les auteurs abandonnent, pour un temps, le moule adopté pour les chapitres précédents. Ils présentent un examen des photoinjecteurs à faible émission et de la production de faisceaux plats utilisant un solénoïde, deux sujets qui ensemble revêtent une grande importance pour les collisionneurs linéaires.

Le chapitre 6 traite de la collimation, mais en sept pages seulement, et le lecteur n'a qu'un aperçu relativement limité de ce sujet critique. La collimation est importante dans les machines à haute intensité et basse énergie, dans les machines supraconductrices à haute énergie et dans les collisionneurs linéaires électron-positon, le problème et les paramètres étant différents dans chacun de ces cas. Un aperçu sur les méthodes proposées pour la collimation des collisionneurs linéaires eut été adapté au contexte de ce livre, car le propos des auteurs est clairement de préparer à la prochaine génération, et il est permis de penser que la collimation à haute efficacité pour des machines telles que LHC est un sujet encore plus important, qui aurait pu y trouver sa place.

Ensuite, l'ouvrage revient à son moule de base, avec, au chapitre 7, un excellent exposé de la mesure des paramètres optiques longitudinaux, suivi logiquement, au chapitre 8, de l'examen de la manipulation de l'espace de phase longitudinal. Une petite déception est que la mesure tomographique de l'espace de phase longitudinal, bien que mentionnée dans un des exemples et référencée, n'est pas traitée dans une section distincte, comme un moyen de diagnostic à part entière.

On pourrait soutenir que le chapitre 9 trouverait mieux sa place dans un ouvrage sur l'étude de la maille et qu'il contient des excursions, un peu surprenantes, dans le domaine de la conception des aimants à septum et de déflexion rapide. Toutefois, le lecteur trouvera sans aucun doute très intéressante l'extraction par îlots de résonance et cristaux courbes. Le chapitre 10, sur la polarisation, comble une lacune au sein des publications, et les auteurs y ont donc réservé plus de place à la théorie. Les possibilités de mise en œuvre de la correction harmonique des résonances dépolari-santes, du renversement de spin adiabatique, des sauts d'accord et les serpents sibériens des types complets et partiels sont tous traités. Le dernier chapitre concerne des sujets fascinants: les refroidissements stochastique, par électrons, par laser et par ionisation, les faisceaux cristallins et les

échos de faisceau, dont beaucoup méritent à eux seuls une monographie.

En résumé, cet ouvrage vient bien à propos et il représente un enrichissement précieux de la bibliographie sur les accélérateurs. Comme le signalent les auteurs, la matière concernant les machines à basse énergie y est relativement peu développée, mais les utilisateurs de l'industrie pourront cependant trouver utile de lire ce livre et d'adapter ou de perfectionner les idées qu'ils y trouveront, plutôt que de les appliquer directement.

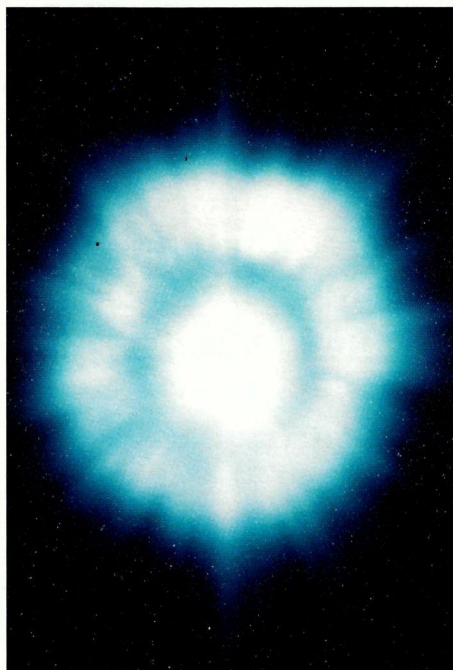
Philip Bryant, CERN.

Supernovae and Gamma Ray Bursters par Kurt Weiler (éd), Springer. ISBN 3540440534, relié, €89,95 (£69, \$115,80).

Depuis leur découverte par le satellite Vela en 1967, on soupçonne que les sursauts gamma (GRB) sont associés aux explosions d'étoiles, les supernovas (SN). Cependant, ce n'est que 30 ans plus tard, par accident, que l'observation a fourni la première preuve d'une association GRB-SN avec la découverte des traînes dans les GRB. La mise en œuvre rapide d'une recherche de la traîne optique du GRB980425 devait permettre la découverte deux jours après le sursaut d'une supernova relativement proche, SN1998bw, dont la position dans le ciel et le temps estimé d'explosion étaient compatibles avec ceux du GRB980425. L'association physique des deux phénomènes suggérait que ce sursaut correspondait à un jet hautement relativiste et finement collimaté éjecté par la SN1998bw et vu hors axe, son énergie semblait inhabituelle pour une SN parce qu'elle était vue presque dans l'axe.

Cependant, habituées au modèle sphérique des explosions d'étoiles et des "boules de feu" des sursauts gamma, les communautés des GRB et des SN ne sont pas immédiatement arrivées à cette conclusion. Aussi, la preuve mentionnée ci-dessus d'une association GRB-SN a d'abord été écartée comme étant une coïncidence céleste accidentelle entre un GRB lointain et une SN proche, ou encore une association physique entre un nouveau type de GRB peu lumineux (voir p293 du livre) et une nouvelle classe de SN, beaucoup plus énergétiques que les supernovas ordinaires (SNe), les "hypernovas" (voir p243-281).

Ces interprétations ont commencé à fléchir avec l'accumulation des données d'observation des traînes optiques d'autres GRB. Ces dernières montraient que les GRB et leurs traînes apparaissent dans des régions de formation d'étoiles de leurs galaxies-hôtes. Surtout, les traînes des GRB relativement proches montrent que les sursauts de longue durée correspondent bien à des jets étroits



Vue d'artiste d'un sursaut gamma. (Illustration par ESA/ECF.)

d'éjectats au cours de supernovas du type de SN1998bw et non pas à des boules de feu produites dans la fusion d'étoiles à neutrons de systèmes binaires sous l'effet des ondes gravitationnelles émises. Mais c'est la découverte spectaculaire le 8 avril 2003, par spectroscopie, de la SN2003dh dans la traîne tardive du GRB030329 (*Courrier CERN* juin 2003 p5, p13; septembre 2003 p15) qui a convaincu la majorité des communautés GRB et SN que les sursauts ordinaires de longue durée sont produits dans des explosions d'étoiles du type de SN 1998bw.

Le livre *Supernovae and Gamma Ray Bursters*, édité sous la direction de Kurt Weiler, un spécialiste des SNe radio, est paru peu avant la découverte du GRB030329 et de SN2003dh. Il réunit des contributions sur les SNe et les GRB. Beaucoup d'entre elles sont très informatives, bien écrites, et remplissent l'objectif déclaré des *Notes de cours de physique de Springer*: "destinées à un large lectorat, en particulier aux doctorants et chercheurs non spécialisés souhaitant se familiariser avec le sujet".

Parmi ces contributions, signalons celle d'Enrico Capelaro, "Fréquence d'occurrence des supernovas", et l'article de Saul Perlmutter et Brian Schmidt, "Mesures de cosmologie à l'aide de supernovas", dans la première moitié du livre consacrée aux supernovas et dans la seconde moitié, consacrée aux sursauts gamma, les articles de Kevin Hurley sur l'"Observation des propriétés des GRB cosmologiques", de Filippo Frontera sur

l'"Observation des rayons X dans les traînes de GRB" et enfin d'Elena Pian sur l'"Observation optique des traînes des GRB".

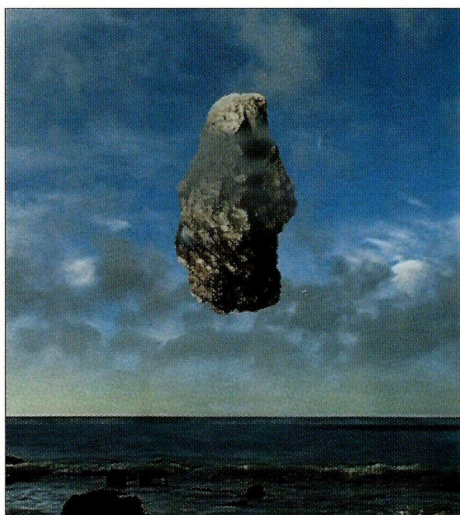
Cependant, dans l'ensemble le livre manque d'impartialité, aussi bien dans son traitement des SNe et des GRB que dans celui d'une association possible entre GRB et SN, le thème principal annoncé de l'ouvrage. La première moitié traite en détail (sept chapitres sur dix) du feu d'artifice produit par l'interaction des éjectats de SN avec le milieu environnant, mais il y manque une discussion détaillée des différents précurseurs des SN, des phénomènes qui mènent à l'explosion et des résidus compacts qu'elles laissent derrière elles. Il n'est guère nécessaire de souligner l'importance et la pertinence de ces sujets dans l'association GRB-SN. La seconde partie du livre, consacrée aux sursauts et à leurs traînes, se concentre sur les observations des traînes des GRB (quatre chapitres longs de plus de 100 pages), tandis qu'un seul chapitre (de 16 pages) traite de l'émission prompt de rayons gamma. Notre "compréhension théorique" actuelle des GRB est résumée en un seul chapitre, exclusivement consacré à la "ligne du parti": le modèle de la boule de feu présenté comme s'il s'agissait d'un dogme. Il ne discute pas des graves difficultés, ni de futurs tests possibles, de ce modèle. Il ne mentionne même pas les autres théories viables, comme le "modèle du boulet de canon", basé dès l'origine sur une association GRB-SN, un modèle non seulement réfutable, mais en outre plus prédictif et fécond que les modèles à boule de feu.

En bref, le livre contient des résumés utiles des données d'observation de SNe et de GRB, mais n'apporte rien sur le processus de production des SNe et GRB, ni sur l'association GRB-SN.

Arnon Dar, Technion - Institut israélien de technologie, Haïfa.

Chercheurs entre rêve et réalité, un film de Samy Brunett (versions française et anglaise), Blue in Green Productions. DVD ou VHS PAL, €20. (Disponible directement sur commande à samy.brunett@village.uunet.be.)

C'est un exercice très difficile que de mettre à la portée du grand public les recherches fondamentales en physique qui se déroulent ou se sont déroulées ces 30 ou 40 dernières années. Je crois même que pour être complètement honnête c'est une mission quasi impossible qui requiert de la part du public une culture scientifique préalable et de la part du ou des auteurs une grande maîtrise du sujet. Cela étant dit la difficulté de l'exercice ne signifie pas, bien au contraire, qu'il ne faille pas le tenter c'est ce que fait Samy Brunett dans son



DVD sur la théorie du tout.

Le parti pris choisi est l'entrevue et la discussion avec des physiciens du ou au CERN connus ou non (de toute manière le grand public ne devrait pas faire la différence), jeunes et moins jeunes. Ces physicien(ne)s sont assez représentatifs du milieu et cela est déjà un bon point, ils s'expriment tous et toutes avec dynamisme et passion.

Les images de synthèse précèdent les entrevues et ne sont pas toutes à la hauteur de l'enjeu qui est et reste l'origine de notre Univers, tout simplement, ce qui est quand même autre chose que la désormais célèbre potion d'Astérix "le gaulois". Cela dit, une fois ce préambule achevé, voici le temps des rencontres avec les acteurs de la physique – on regrettera peut-être le décor un peu terne de la cafétéria du CERN (pour ceux qui la connaissent), mais le discours est bien senti et il est assez convaincant, qu'il s'agisse d'un des "ténors" de la discipline ou d'un(e) jeune physicien(ne).

Alors, évidemment, ce n'est pas en visionnant une fois ce DVD que l'homme de la rue pourra prétendre avoir vraiment compris ce que "nous" entendons aujourd'hui par la théorie du tout, les dimensions supplémentaires ou les tous premiers instants de l'Univers et la masse des particules, d'autant plus que les transitions entre chapitres ne sont pas toujours bien faites. Cependant, son grand mérite, et ce n'est sans doute pas le seul, est d'exister et de permettre de se faire une idée des protagonistes vivants de la recherche fondamentale.

En ces années de commémorations diverses, Centenaire de la Radioactivité, des premiers articles d'Einstein, les 50 ans du CERN... ce genre de publication à support moderne ne peut que faire du bien à l'image un peu décatie de notre discipline si difficile à rendre populaire.

Alain Méric de Bellefon, PCC-Collège de France.

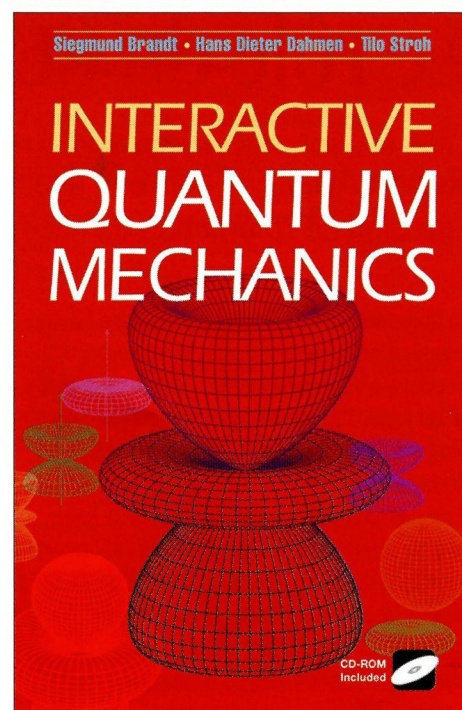
Interactive Quantum Mechanics par Siegmund Brandt, Hans Dieter Dahmen et Tilo Stroh, Springer-Verlag. ISBN 387002316, relié, € 69,95 (£54, \$69,95).

L' "intuition physique" est une ressource précieuse pour tous les physiciens. Richard Feynman, à qui on demandait qu'elle était son intuition concernant un certain problème, répondit qu'il n'en avait aucune, car il n'avait pas encore fait le calcul. Le bon sens est souvent un mauvais guide, même dans le domaine classique, où pourtant nous pouvons mettre en œuvre notre intuition en nous appuyant sur des interprétations raisonnées de phénomènes, dont nous pouvons avoir une expérience directe et pour lesquels il est possible de faire beaucoup de calculs relativement simples et réalistes. Il est nettement plus difficile d'avoir une intuition du monde quantique: nous n'en avons qu'une perception réduite, si ce n'est nulle, et peu de problèmes réalistes sont faciles à résoudre mathématiquement. Les étudiants ont beaucoup de mal à "penser la physique" quand ils sont confrontés à des problèmes quantiques.

Les ordinateurs devraient sûrement pouvoir nous aider. Des problèmes très complexes peuvent être résolus rapidement par des méthodes numériques et – ce qui est le plus important – les résultats peuvent être présentés sous des formes graphiques très diverses. Plusieurs ouvrages de mécanique quantique, destinés aux étudiants du premier cycle, comprennent, effectivement, des disques de démonstration des solutions de problèmes standard. Généralement, ils n'offrent à l'étudiant que de faibles possibilités de "jouer avec les paramètres", mais on ne trouve rien de plus franchement interactif. Ce livre est le premier à combler cette lacune.

En fait, il serait plus exact de le décrire comme un programme informatique sur un CD-ROM, accompagné de notes explicatives détaillées, plutôt que comme un livre complété par un cédérom. Le programme, appelé "INTERQUANTA", ou IQ en bref, est doté d'une interface autoexplicative écrite en Java. Il est facile à installer et simple à utiliser – les directives sont même adaptées à un analphabète de l'informatique comme l'auteur de ces lignes. En mode passif, l'utilisateur peut regarder (et écouter) les démonstrations qui illustrent les principaux points du texte; mais dans le deuxième mode, interactif, il dispose d'une liberté considérable quant au choix des problèmes à résoudre et à la forme d'affichage des réponses. Comme les auteurs l'affirment, les utilisateurs peuvent entrer dans un "laboratoire informatique de mécanique quantique".

Huit sujets de physique sont traités, articulés en de nombreux chapitres: mouvement de la particule



libre, états liés et diffusion, d'abord en une seule, puis en trois dimensions, et, enfin, fonctions spéciales de la physique mathématique. Chaque chapitre commence par une section appelée "Concepts physiques", où les principes de base et les formules appropriés sont énoncés sans démonstration. Chaque section du texte renvoie à la partie correspondante du programme et les sorties graphiques sont bien conçues et faciles à lire. Le lecteur y trouvera plus de 300 exercices numériques, visant à l'inciter à explorer la matière présentée, et de nombreuses invites l'encourageront, utilement, à suggérer une explication physique de résultats particuliers. Le dernier chapitre propose des conseils pour la résolution de certains exercices et un guide systématique de parcours du programme IQ figure en annexe.

INTERQUANTA contient beaucoup de matière utile et il faut féliciter les auteurs d'offrir un produit aussi facile à utiliser. Mais je crois qu'une extension significative de l'éventail des sujets traités représenterait une amélioration considérable. Par exemple, toutes les présentations sont statiques, alors qu'il existe beaucoup de phénomènes transitoires – fascinants et importants – pour la compréhension desquels un "film" serait d'une aide précieuse. Et quel dommage que les auteurs aient omis tout le domaine crucial de la théorie des perturbations, qui se prête si bien à un enseignement numérique! Un programme qui traiterait de tels sujets serait sûrement une ressource importante pour les étudiants et les enseignants.

Ian Aitchison, Oxford.