

# “ Daniel Shechtman, prix Nobel de chimie 2011 Mes travaux ont suscité une opposition féroce ”

*Le découvreur des quasi-cristaux explique comment il lui a fallu affronter les préjugés de la communauté scientifique pour finalement imposer sa théorie.*

**DANIEL SHECHTMAN**, né en 1941 à Tel-Aviv, est professeur émérite au Technion, l'Institut de technologie d'Israël, à Haïfa. En 1982, lors d'un séjour de deux ans au National Bureau of Standards à Gaithersburg (Etats-Unis), il découvre une nouvelle sorte de cristaux non périodiques, qui seront appelés quasi-cristaux. Il a reçu le prix Nobel de chimie en 2011 pour cette découverte, après de nombreux prix tout au long de sa carrière.

**On raconte que votre découverte des quasi-cristaux, pour laquelle vous avez reçu le prix Nobel en 2011, doit beaucoup au hasard. Est-ce vrai ?**

Elle doit surtout beaucoup à ma liberté de chercheur ! J'étais assis devant mon microscope électronique en cette journée d'avril 1982 pour étudier un alliage d'aluminium que j'avais préparé. Soudain, j'ai vu cette incroyable figure de diffraction, qui présentait deux caractéristiques théoriquement impossibles à observer en cristallographie : une symétrie de rotation d'ordre dix [on retrouve le même motif lorsqu'on le fait tourner d'un dixième de tour], sans périodicité. Or, depuis la naissance de la cristallographie en 1912, les cristaux étudiés ont toujours été ordonnés et périodiques, au point que c'était même devenu la définition officielle des cristaux : un solide composé d'atomes ordonnés selon un motif périodique à trois dimensions. Ce que j'avais sous les yeux était donc théoriquement impossible... Et pourtant !

Peut-on parler de hasard dans cette découverte ? Disons plutôt que je m'étais donné la possibilité de mener les recherches que je voulais sur des alliages à base d'aluminium et de manganèse, à côté de mes habituelles recherches appliquées. J'avais alors 41 ans, j'étais en congé sabbatique de l'université du Technion en Israël et invité pour deux ans par John Cahn, au National Bureau of Standards à Gaithersburg, aux Etats-Unis. Habituellement, les alliages utiles contenaient au maximum 5 % de manganèse car, au-delà, ils devenaient fragiles. J'avais simplement décidé d'augmenter le taux de manganèse, par pure curiosité scientifique. Et c'est lorsque j'ai atteint 85 % que j'ai fait cette découverte surprenante.

**Quelle a été votre première réaction ?**

J'ai d'abord cru à des cristaux jumeaux, ce qui peut donner ce type de figure de diffraction. Cela m'était déjà arrivé. J'ai donc procédé à plusieurs vérifications le jour même, notamment en focalisant un faisceau d'électrons sur une toute petite zone, afin d'être sûr de ne toucher qu'un cristal. La figure de diffraction restant la même, j'ai compris que j'étais en présence d'un seul cristal et j'ai donc commencé à en parler autour de moi. Immédiatement, les réactions ont été très partagées ! John Cahn m'a dit : « *Dany, ce matériau a quelque chose de nou-*

*veau à nous apprendre : trouve ce que c'est !* » C'était très encourageant. Mais la plupart des réactions ont été hostiles. Le responsable de mon laboratoire m'a ainsi tendu un manuel de cristallographie pour étudiants en me disant : « *Lis ça, tu verras que ce que tu affirmes ne peut pas exister !* » C'était vexatoire. Je lui ai répondu que ma découverte rendait l'ouvrage obsolète, ce qui m'a valu d'être renvoyé de l'équipe car il ne voulait pas que son nom soit associé au mien.

**Comment avez-vous réussi à convaincre la communauté scientifique ?**

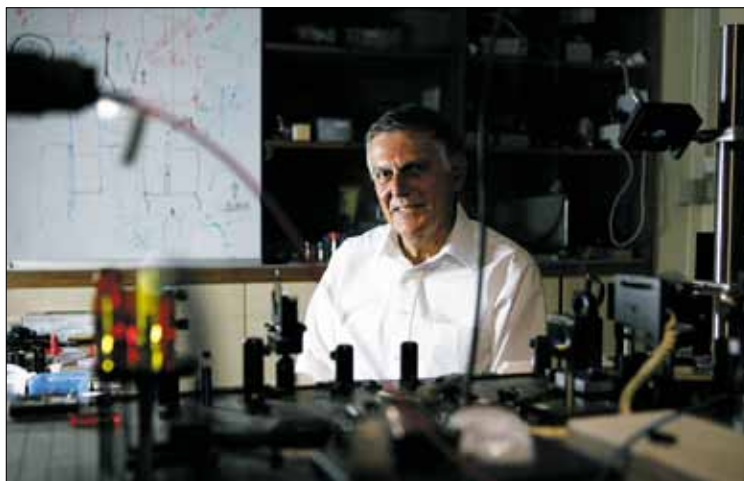
Au début, lorsque je suis retourné au Technion en 1983, personne n'a voulu m'aider à comprendre hormis le professeur Ilan Blech qui a été le premier à me proposer un modèle pour expliquer comment ce matériau pouvait exister. Nous avons donc rédigé un article pour le *Journal of Applied Physics* qui a été rejeté, au prétexte qu'il n'intéresserait pas la communauté des physiciens. J'ai ensuite rédigé un article plus court, avec John Cahn et le Français Denis Gratias, spécialiste de cristallographie, pour *Physical Review Letters*. La publication a été acceptée en novembre 1984. Aussitôt, les réactions ont été énormes ! De nombreux jeunes chercheurs se sont mis à refaire mes expériences, et se sont lancés dans la fabrication de nouveaux alliages. Ils ont ainsi rapidement découvert d'autres structures quasi périodiques avec des symétries de rotation d'ordre 8, 10, ou 12 ! La communauté des sympathisants s'est multipliée et a très vite organisé des colloques internationaux, dont le premier a eu lieu aux Houches, près de Chamoin. Nous avons commencé à parler le même langage entre physiciens, chimistes et mathématiciens. Enfin, je n'étais plus seul !

**L'opposition aux quasi-cristaux s'est-elle tue pour autant ?**

La première phase de rejet, provenant de chercheurs individuels, avait disparu. Mais j'ai dû faire face pendant de longues années encore à l'hostilité de l'Union internationale de cristallographie (IUCr), une organisation qui décide de tout dans ce domaine. C'est elle qui définit ce qu'est un cristal, qui accepte ou non des résultats, etc. Elle rejetait totalement la quasi-périodicité, refusant même d'en entendre parler tant que je n'aurais ●●●







“ Un vrai changement de paradigme : on sait désormais que tous les cristaux ne sont pas périodiques ”

●●● pas de clichés de diffraction X, seule technique qui trouvait grâce à ses yeux. Or, mes cristaux étaient trop petits pour cela, puisqu'ils ne faisaient qu'un à deux micromètres ! Je n'avais que des résultats de diffraction d'électrons, mais les cristallographes n'avaient pas confiance dans cette technique. Il faut dire que la cristallographie est née lorsque le physicien allemand Max von Laue a effectué la première expérience de diffraction des rayons X sur un cristal, qui lui a valu le prix Nobel en 1914. Heureusement, deux amis chercheurs, en France et au Japon, ont finalement réussi à faire croître des cristaux de taille suffisante. J'ai pu ainsi présenter des résultats

tats de diffraction lors d'un congrès de l'UICr à Perth en Australie, et les cristallographes ont accepté de discuter. En 1992, ils ont même – enfin – changé la définition des cristaux à la suite de mes découvertes, ce qui représentait un vrai changement de paradigme ! Ainsi, on sait désormais que tous les cristaux ne sont pas périodiques.

**Toute la communauté scientifique a donc entériné votre découverte ?**

Non ! Restait un dernier adversaire, de taille : Linus Pauling, deux fois prix Nobel, père de la Société américaine de chimie qui compte des centaines de milliers de membres. C'était un orateur flamboyant, impressionnant, offensif, farouchement opposé à la quasi-périodicité. C'est à lui que je dois l'attaque la plus virulente : « *Il n'y a pas de quasi-cristaux, il n'y a que des quasi-scientifiques !* » Toute la Société américaine de chimie le soutenait. Au début, j'étais très inquiet car, en tant que scientifique « junior », tout cela risquait de freiner considérablement ma carrière. C'est d'ailleurs ce qui s'est passé : ma promotion au poste de professeur associé a été retardée de plusieurs années. Puis, peu à peu, j'ai commencé à aimer ce combat car j'étais sûr à 100 % d'avoir raison. Linus Pauling m'a proposé que nous rédigeons un article commun sur le sujet, mais j'ai posé en préalable le fait qu'il reconnaisse l'existence des matériaux quasi périodiques. Ce qu'il a refusé. Il est mort en 1994, et avec lui toute opposition à mes travaux.

**Pourquoi a-t-il fallu tant de temps pour découvrir les quasi-cristaux alors qu'il en existe en réalité des centaines ?**

Pour des raisons techniques d'abord. Ces cristaux étant minuscules, il fallait disposer d'un microscope électronique pour les déceler, or peu de personnes maîtrisaient alors cette technique. Mais ce retard s'explique aussi tout autrement. En fait, des scientifiques avaient déjà observé des symétries d'ordre 10 bien avant moi ! Mais ils avaient stoppé leurs recherches, de peur de voir leur carrière entravée. Pour découvrir les quasi-cristaux, il fallait donc avant tout être tenace... et croire en soi ! Je me suis d'abord fait le critique le plus féroce de ma propre expérience, j'ai tout essayé pour me prouver que j'avais tort.

REPÈRES

**QUASI-CRISTAL** : matériau ordonné, mais qui ne contient pas un motif qui se répète périodiquement, contrairement aux cristaux « classiques ».

**FIGURE DE DIFFRACTION** : lorsqu'une onde interagit avec un matériau ordonné, on observe des interférences, des zones où les ondes sont intenses, d'autres où elles apparaissent affaiblies. Ces motifs, appelés figures de diffraction, permettent de connaître la structure cristallographique des cristaux, c'est-à-dire la position des atomes les uns par rapport aux autres.

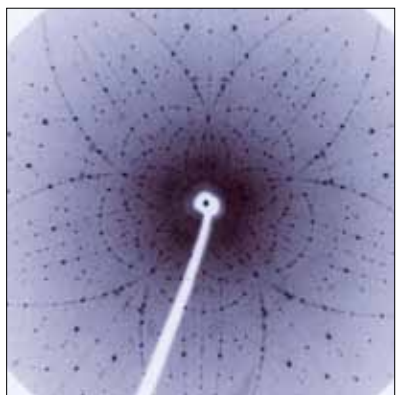


Figure de diffraction aux rayons X d'un cristal de symétrie 5 réalisée par An-Pang Tsai.

**SYMÉTRIE** : un objet est symétrique par rotation si, lorsqu'on le fait tourner autour d'un point central, on retrouve le même aspect. Un hexagone a ainsi une symétrie d'ordre six : si on le tourne d'un sixième de tour, ce que l'on voit est identique à l'image d'origine. Jusqu'à la découverte de Daniel Shechtman, en 1982, seuls les cristaux possédant une symétrie d'ordre 1, 2, 3, 4 ou 6 étaient connus.

**PÉRIODICITÉ** : un matériau est périodique si, lorsqu'on le parcourt dans une direction, on finit par retrouver le même motif.

Puis, une fois que j'ai compris que mes résultats étaient exacts, je n'ai plus douté. Il fallait enfin faire preuve de courage pour affronter les pressions qui se sont effectivement révélées énormes. Sans oublier l'humilité : ne pas croire que tout – ou presque – avait déjà été découvert, pour rester ouvert à de nouveaux résultats, même dérangeants.

**Qu'a-t-on appris sur les quasi-cristaux depuis leur découverte ?**

Plusieurs centaines d'autres matériaux quasi périodiques ont été découverts. Je préfère ce mot au terme « quasi-cristaux », car ce sont des vrais cristaux, même s'ils obéissent à des équations quasi périodiques. Côté applications, c'est Jean-Marie Dubois, du Laboratoire de science et génie des matériaux et de métallurgie à l'université Nancy-II, qui a été le leader en déposant de nombreux brevets. Il n'y a pas beaucoup d'applications, car ces matériaux sont de mauvais conducteurs de chaleur et d'électricité. En revanche, comme ils possèdent un faible coefficient de friction, ils ont été utilisés par une société française dans la fabrication de poêles anti-adhésives. Mais la production a été stoppée après que la société a été rachetée. En fait, les matériaux quasi périodiques ont eu beaucoup plus de répercussions en maths. Les mathématiciens ont en effet énormément travaillé sur la quasi-périodicité, qui désormais ne concerne plus uniquement des matériaux réels : on peut ainsi disposer un réseau de particules de manière quasi périodique, ce qui lui confère des propriétés optiques étonnantes.

**Sur quoi travaillez-vous aujourd'hui ?**

Je change de sujet tous les cinq ans environ, tout en restant dans le domaine des matériaux. Je ne travaille donc plus sur les matériaux quasi périodiques mais je développe de nouveaux alliages à base de magnésium pour des applications dans l'industrie automobile, la médecine, la défense... J'aime bien bouger.

**Qu'est-ce qui vous a amené à la science des matériaux ?**

Enfant, j'étais très curieux, intéressé par tout ce qui était scientifique. Je me souviens que lorsque j'avais 10 ans, le professeur de sciences naturelles avait apporté un microscope en classe. J'étais si passionné par ce que je voyais que je ne voulais pas laisser la place aux autres élèves ! Finalement, je suis devenu un expert en microscopie. Dans une vie, on prend très peu de décisions vraiment importantes, de celles qui modifient le reste de son existence. Pour ma part, elles sont au nombre de deux : le choix de mon épouse, qui a conditionné ma vie de famille, et le fait de faire des sciences plutôt que de devenir ingénieur comme je le souhaitais initialement. En effet, la veille du jour où je devais prendre mon premier poste dans une usine, j'ai appelé le dirigeant pour lui dire que je ne viendrai pas car je souhaitais faire un doctorat. Il a compris, et m'a souhaité bonne chance. J'avais trouvé ma voie.

**Avez-vous songé à créer des start-up pour exploiter vos travaux ?**

J'ai créé plusieurs start-up, mais aucune n'a vraiment décollé. Je n'ai jamais réussi à être à la fois professeur et entrepreneur, chacune de ces fonctions réclamant 100 % de mon temps. Lorsqu'il m'a fallu trancher, j'ai choisi de rester dans le monde académique, et j'ai vendu mes sociétés. Mais j'ai apprécié d'être chef d'entreprise car j'ai

MA BIBLIOTHÈQUE ÉGOÏSTE

« Jules Verne a suscité ma vocation d'ingénieur »

Lorsque j'étais jeune, j'avais à peine fini un livre que j'en commençais un autre. Ces lectures ont eu un rôle très important. *L'Ile mystérieuse*, de Jules Verne a influé sur ma vie, puisque cette histoire est à l'origine de ma vocation d'ingénieur : le personnage principal, l'ingénieur Sirius Smith, était mon idole. Les autres livres ont construit ma vision du monde, à une époque où je n'avais pas la télévision, ni l'ordinateur ni Internet. J'ai particulièrement apprécié *Michel Strogoff*, de Jules Verne toujours, mais aussi *Les Misérables* de Victor Hugo, peinture éblouissante du peuple et des solidarités qui se nouent pour

survivre. J'ai aussi, bien sûr, une grande connaissance de la littérature israélienne, mais j'ai toujours veillé à m'intéresser aux auteurs étrangers, avec des goûts très éclectiques. Ainsi, en ce moment, j'ai en main la traduction en hébreu de *L'Élegance du hérisson*, de Muriel Barbery, ouvrage qui a connu un grand succès en France. En règle générale, j'apprécie surtout les nouvelles, pour leur concision, surtout quand les chutes sont inattendues. J'aime déconstruire ce travail d'écriture, pour comprendre comment l'auteur nous entraîne sur de fausses pistes avant de nous asséner sa vérité. »

beaucoup appris de mes échecs. Aujourd'hui, je ferais moins d'erreurs mais je n'ai définitivement plus le temps. L'innovation est très forte en Israël car l'échec n'est pas une honte. On dit juste : « *Recommence en tenant compte de l'expérience que tu as acquise.* » Cela pousse à prendre des risques.

**Avez-vous des regrets ?**

Oui. J'aurais aimé partager le prix Nobel que j'ai reçu. J'étais en effet pratiquement certain que si un jour j'obtenais cette récompense, ce serait avec d'autres chercheurs. Lorsque le comité Nobel m'a appelé, j'ai naturellement demandé qui étaient les autres nominés. Je pensais à Ilan Blech, John Cahn, Denis Gratias – dont j'ai déjà parlé –, mais aussi à Dov Levine et Paul Steinhardt, respectivement physicien et cosmologiste américains, à Roger Penrose, physicien britannique, ou encore à Alan Mackay, cristallographe britannique. Maintenant, je me sens un peu comme le représentant officiel des quasi-cristaux.

**Qu'allez-vous faire de votre prix ?**

Cet argent sera consacré aux études de mes petits-enfants. Dans ma famille, les études sont très importantes, tous mes enfants ont un doctorat, et mes petits-enfants sont à l'université. L'enseignement compte beaucoup pour moi, cela joue sans conteste un rôle très important dans la recherche.

Propos recueillis par Cécile Michaut  
Photos : Pierre Terdjman/Cosmos pour Sciences et Avenir