



Réception des Membres élus en 2004 - le 14 juin 2005

Du désordre à la croissance
Bernard Derrida

La physique statistique est née de l'unification, à la fin du 19^{ème} siècle, de la mécanique et de la thermodynamique. Elle permet de réconcilier le caractère fluctuant, en perpétuel mouvement, du monde microscopique et les lois de la physique à notre échelle. Beaucoup des propriétés de notre monde macroscopique sont indépendantes des détails des forces qui agissent aux petites échelles ; en terme savant, cela s'appelle l'universalité. C'est une situation rêvée pour le théoricien qui peut simplifier à l'extrême les modèles qu'il étudie, sans renoncer à décrire des phénomènes observables dans la nature.

C'est au milieu des années 1970, voyant Yves Pomeau étudier sur des ordinateurs (préhistoriques) des systèmes dynamiques très simples, que se présenta pour moi l'occasion de mettre en oeuvre les idées d'universalité pour décrire la transition vers le chaos par doublements de périodes. Quelle révélation de constater qu'en jouant avec une application logistique, on pouvait à la fois se servir des outils de la physique théorique moderne, comme le groupe de renormalisation, et faire des prédictions quantitatives sur le monde réel !

Un séjour à l'École normale supérieure dans le groupe de Gérard Toulouse et Jean Vannimenus me permit de me familiariser avec un autre sujet alors en plein développement, les systèmes désordonnés. Cela fut l'occasion de réfléchir à l'une des grandes énigmes de l'époque, les verres de spin et leur théorie de champ moyen. Les verres de spin sont des matériaux dont les moments magnétiques élémentaires, les spins, se figent au dessous d'une certaine température dans des directions aléatoires, comme les atomes d'un liquide se bloquent dans des positions aléatoires pour former un verre à basse température. En 1975 David Sherrington et Scott Kirkpatrick avaient proposé et "résolu" un modèle de verre de spin, qui porte leur nom, le modèle SK. Si leur solution avait été correcte, leur modèle serait peut-être oublié depuis longtemps. Heureusement elle ne l'était pas, en particulier parce qu'elle prédisait une entropie négative à basse température. Les travaux qui suivirent pour remédier à cette entropie négative furent d'une portée et d'une richesse inimaginables ouvrant de vastes domaines de recherche dans la théorie des systèmes complexes. Giorgio Parisi proposa une solution du modèle SK fondée sur des méthodes de calcul non conventionnelles. Cette solution resta longtemps mystérieuse sur le plan mathématique et il fallut attendre près de 20 ans pour que Francesco Guerra et Michel Talagrand parviennent à la valider.

Ma contribution à ce domaine fut de généraliser le modèle SK, puis de proposer des modèles encore plus épurés, les modèles à énergies aléatoires. L'idée en était extrêmement simple : l'énergie d'un verre de spin possède un caractère aléatoire dû aux positions des impuretés magnétiques dans un métal. Dans les modèles à énergies aléatoires, on oublie tout sauf ce caractère aléatoire en choisissant pour les énergies des configurations des variables aléatoires indépendantes. Cela rend leur solution mathématique beaucoup plus facile, mais curieusement certaines propriétés des verres de spin comme la transition de gel ou la forme caractéristique

de la susceptibilité sont préservées. Les modèles à énergies aléatoires sont donc un peu aux verres de spin ce que la théorie des matrices aléatoires, inventée par Eugene Wigner en 1951 pour décrire les noyaux très excités, est à la physique nucléaire. De nombreux développements ultérieurs ont montré leur pertinence pour comprendre le repliement des protéines ou certains problèmes de codage.

L'effervescence autour de la théorie des verres de spin attira dans les années 1980 bon nombre de physiciens de domaines voisins. Ce fut le cas d'Élizabeth Gardner, jeune physicienne britannique venue à Saclay faire de la physique des particules, qui bien vite se mit à travailler sur la théorie des systèmes désordonnés. De cette période datent nos premiers résultats sur la localisation d'Anderson ou sur les verres de spin. À son retour à Edimbourg, elle était parfaitement armée pour jouer le rôle déterminant qui fut le sien dans le développement de la théorie des réseaux de neurones : elle fut la première à savoir calculer, grâce aux méthodes de la physique statistique, la capacité maximale d'un réseau. C'est par son biais que je fus embarqué à mon tour dans cette nouvelle aventure. Avec le recul, la vie de chercheur était alors incroyablement facile : nos outils théoriques étaient tout à fait adaptés à ce nouveau domaine et certains travaux, comme celui où nous identifions le taux d'erreurs d'un réseau à une énergie, ou celui, en collaboration avec Annette Zippelius, sur la dynamique des réseaux dilués, furent réalisés en quelques semaines à peine. Élizabeth mourut du cancer en 1988 à l'âge de 30 ans. Cela coïncida de fait avec la fin de mon activité sur les réseaux de neurones.

Au début des années 1990, un séjour à l'Institut Weizmann, dans le groupe d'Eytan Domany et de David Mukamel, fut l'occasion de m'intéresser à des modèles élémentaires de transport et de croissance. Ce fut une porte ouverte sur la théorie des systèmes hors d'équilibre, sujet que je n'ai pas quitté depuis, et le point de départ de nouvelles collaborations avec des collègues comme Vincent Hakim ou Vincent Pasquier en France et Martin Evans, Joel Lebowitz ou Eugene Speer à l'étranger.

Un miracle, qui se produit heureusement quelquefois en physique, est que des réalités a priori très différentes sont régies par exactement les mêmes équations. Les systèmes désordonnés et les problèmes de croissance en sont un exemple : la même théorie permet de décrire une ligne piégée par des impuretés, l'état stationnaire d'un système hors d'équilibre ou la croissance d'un milieu par sédimentation. Ces liens profonds entre des situations aussi différentes constituent, pour le physicien que je suis, une immense satisfaction intellectuelle. Le revers de la médaille est que, pensant aborder une nouvelle thématique, on se retrouve confronté aux problèmes non résolus que l'on croyait avoir laissés derrière soi. Une partie de notre travail est donc de s'acharner sur ces problèmes récurrents qui résistent, non sans rappeler cette réflexion de Jean Rostand : *Il est des problèmes qui tourmentent au point que nous aimerions de les voir résolus même par autrui.*

Ce bref aperçu montre combien mon parcours scientifique résulte des rencontres et des collaborations qui l'ont jalonné. Par mes aînés, j'ai eu la chance d'être mis très tôt sur les rails de problèmes fondamentaux passionnants. De mes plus jeunes collaborateurs j'ai bénéficié d'un enthousiasme et d'une patience sans faille. C'est donc aussi grâce à leurs efforts et à leur soutien que j'ai l'honneur et la joie, chers confrères, chères consœurs, d'être aujourd'hui parmi vous.