



De l'importance du désordre

Par Thierry GIAMARCHI, Membre élu dans la section de Physique

Messieurs les président et vice-président,
Madame, Monsieur les Secrétaires Perpétuels
Chers collègues et amis,

C'est un redoutable honneur que de s'adresser à cette assemblée et d'espérer expliquer, en moins de huit minutes, la beauté de tout un domaine de recherche, et ce avec tout le sérieux et la solennité nécessaire à l'occasion. Je ne vais donc même pas essayer de tenter l'exercice et vais simplement me livrer à une courte apologie du désordre via quelques exemples.

En effet le désordre ou plus exactement un certain côté aléatoire a joué, et continue de jouer un rôle central dans mes sujets de recherche mais de façon plus subtile également dans ma propre trajectoire de physicien. A cela quelques prédispositions : dès le départ ne venant pas d'un milieu académique, je n'avais pas la moindre idée des trajectoires « optimales » à adopter, et par conséquent suivait au gré de mes fascinations les sujets qui me semblaient les plus intéressants. Aujourd'hui je suis très heureux d'avoir pu utiliser cet algorithme et j'espère être en mesure de continuer à le suivre encore longtemps dans le futur.

Au niveau de la physique les effets de désordre sont connus depuis longtemps, et très souvent perçus négativement, comme une imperfection à une théorie ou une expérience idéale. Quand l'expérience rate c'est le désordre, si la théorie ne colle pas à l'expérience c'est la faute au désordre. Eliminez le désordre et tout ira bien.

Et pourtant sans le désordre notre monde serait bien triste. Introduire un aspect aléatoire conduit à des effets radicalement nouveaux par rapport au cas « idéal ». Par exemple dans un matériau conducteur les impuretés servent d'obstacles au flot des électrons qui transportent le courant électrique, transforment leur mouvement en un mouvement nouveau dit de diffusion, et permet de convertir une partie de leur énergie sous forme de chaleur. Avec du désordre la nature quantique de la matière provoque des phénomènes encore plus fascinants, tels que la fameuse ``localisation'' prédite en 1958 par le physicien P. W. Anderson : les électrons étant en fait des ondes, les impuretés sont non seulement capables de les freiner mais en fait les



stoppent complètement donnant un matériau isolant. Cet effet me semblait totalement fascinant, et j'avais résolu d'y consacrer ma thèse. J'ai eu la chance énorme – le hasard encore -- de rencontrer un physicien exceptionnel, le regretté Heinz Schulz, qui non seulement a bien voulu que son futur étudiant propose son sujet, mais m'a également conduit sur le chemin de la recherche et fait profiter de son expertise et de sa fascination pour les systèmes de basse dimension en interaction,

Cette rencontre nous a naturellement conduits tous les deux à regarder les effets combinés du désordre et des interactions. L'une des questions les plus fascinantes de ce domaine est la façon dont l'interaction entre les particules modifie les effets du désordre. Nous savons en particulier qu'en présence d'interactions, il est possible de réaliser des états collectifs où toutes les particules « vibrent » ensemble. Le plus connu de ces états est l'état dit suprafluide ou supraconducteur où les particules peuvent « couler » sans être freinées par les impuretés. D'où un paradoxe: un supraconducteur doit être insensible aux impuretés, donc pas de localisation, mais si il y a des impuretés alors on doit avoir un isolant, et la supraconductivité est interdite. Nous avons pu résoudre ce paradoxe, montrer qu'il existait une transition de phase entre les états supraconducteurs et isolants et comprendre les propriétés d'une telle transition. Cette solution a conduit à des développements, que je ne peux exposer en détails ici, dans des domaines variés tels que les supraconducteurs, les systèmes magnétiques quantiques ou celui, très récent, des gaz d'atomes ultra-froids.

Un autre exemple : au gré d'une autre rencontre, celle de deux chercheurs français faisant un séjour postdoctoral dans deux instituts voisins aux Etats-Unis, nous avons commencé à explorer, avec Pierre le Doussal, d'autres aspects de cette merveilleuse compétition entre désordre et interactions, cette fois sur des systèmes classiques. Il y a en effet de nombreux cas pour lesquels une telle compétition existe, tels que des « parois » séparant des régions d'aimantation différente dans des aimants ou des cristaux désordonnés tels qu'on peut les obtenir avec des colloïdes, ou des supraconducteurs. Nous avons montré que ces systèmes possèdent également des phases où le désordre change radicalement les propriétés. Ces phases ont des caractéristiques que l'on associe normalement à des verres. La surprise est que contrairement à l'image naïve que l'on se fait d'un verre, c'est-à-dire quelque chose d'informe et d'amorphe, ces phases désordonnées venant de systèmes en interaction apparaissent presque aussi ordonnées que des solides parfaits. Ces résultats contre intuitifs ont été testés, et



continuent à être étudiés dans de nombreux systèmes expérimentaux de par le monde et en particulier par des équipes à Orsay, Paris et Genève.

Et comme le hasard fait parfois bien les choses, ces deux problèmes classique et quantique en apparence bien différents sont en fait reliés d'une façon très profonde et la compréhension et les méthodes développées pour l'un font progresser les deux domaines.

Ces phases désordonnées de la matière conduisent donc à de très beaux problèmes fondamentaux, mais de plus leur comportement conditionne fortement certaines propriétés cruciales des matériaux : la quantité de courant que peut transporter un supraconducteur, ou la vitesse du stockage d'informations et sa stabilité dans un système magnétique, ferroélectrique ou spintronique. Les comprendre n'est donc pas totalement dénué également d'intérêt pratique. L'étude de la compétition entre interactions et désordre est aujourd'hui un domaine en pleine activité tant du point de vue théorique qu'expérimental avec encore de grandes questions à résoudre.

Je n'en dirai pas plus sur les aspects de recherche. Je rajouterai simplement à ce qui précède que rien de tout ceci n'aurait été possible sans les environnements d'éducation et de recherche exceptionnels que sont l'Ecole Normale, l'Université d'Orsay et l'Université de Genève, sans oublier en leur temps les Laboratoires Bell, aujourd'hui disparus malheureusement victimes d'une vision politique à court terme tendant à trop privilégier les applications immédiates sur la recherche à long terme. De nombreux collègues et amis ont profondément influencé ma recherche et mes idées par leurs collaborations et leurs discussions. De même les étudiants et postdoctorants avec qui j'ai eu le plaisir et le privilège de travailler ont joué et jouent un rôle central dans ces aventures. Ils sont trop nombreux pour pouvoir tous les remercier dans ce court discours, mais je suis certain qu'ils ou elles se reconnaîtront.

Finalement une mention spéciale pour les personnes en habit vert (au moins virtuellement) qui se trouvent dans cette compagnie, et qui m'ont connu jeune physicien balbutiant, qui m'ont profondément influencé et guidé par leurs cours, leurs livres, leurs séminaires ou simplement par leur exemple : dire que vous avez joué un rôle central est un euphémisme et le fait que vous m'ayez permis de rejoindre votre compagnie est un honneur qui me touche énormément. Je tâcherai bien sûr d'en être digne et je peux d'ores et déjà vous assurer de fournir l'énergie nécessaire pour que cette compagnie ne se retrouve pas trop « ordonnée » dans certaines de ses habitudes. Et c'est un spécialiste du désordre qui vous parle.