9 Mars 1999

DE LA MECANIQUE STATISTIQUE AUX SYSTEMES COMPLEXES

Gérard Weisbuch

Laboratoire de Physique Statistique

de l'Ecole Normale Supérieure

Tél : 44 32 34 75 - Fax : 44 32 34 33 - email : weisbuch@physique.ens.fr

site web http://www.lps.ens.fr/˜weisbuch

La mécanique statistique

jusqu'aux années 70

Les buts : description des propriétés globales (macroscopiques) d'un ensemble de (très nombreuses) particules à partir de celles des particules, atomes, molécules (microscopiques).

En entrée du modèle, les niveaux d'énergie des particules, et éventuellement les probabilités de transition,

en sortie, les variables globales, pression, magnét isation, chaleurs spécifiques par exemple.

- Les grands succès : les systèmes de particules sans interactions (gaz parfaits),
- ou ceux pour lesquels on a trouvé une description en quasi-particules sans interaction, en physique du solide par exemple.

Les semi-succès : les propriétés de transport, conductivité, diffusion, au voisinage de l'équilibre. Conjecture du temps de relaxation.

Les difficultés : les systèmes dans lesquels les interactions ne sont pas négligeables. Approximation du champ moyen (Weiss 1905) et théorie phénoménologique de Landau.

Transitions de phase

Exemples

- Solidification, évaporation.
- Ferromagnétisme
- Supraconductivité, superfluidité.

Avant RG:

Calculer les grandeurs thermodynamiques comme T_c ab initio.

Remarques tirées de l'expérience:

Même lois d'echelle pour des transitions différentes.

Exemple d'une loi d'echelle:

$$M\alpha(T_c - T)^\gamma \tag{1}$$

70's Wilson Application du groupe de renormalisation principe du calcul: comment change le paramètre d'ordre et les interactions lorsque change l'échelle?

Résultats: les classes d'universalité.

Les lois d'échelle ne dépendent pas des détails du modèle mais des dimensions de l'espace (3D le plus souvent) et de celles du paramètre d'ordre.

Conséquences au niveau conceptuel:

- En physique, explication de l’universalité des lois d’échelle.
- Pour les systèmes complexes dont la description des composantes est mal connue, certaines propriétés dites génériques (les lois d’échelle par exemple) sont indépendantes d’une description détaillée. (les idées de stabilité structurelle, Thom, d’universalité, RG, et de propriétés génériques, S. Kauffman, sont très proches).
- Même en physique, les théoriciens vont calculer sur des systèmes modèles: verres de spin, percolation, équations de Lorentz en hydrodynamique.

Les systèmes désordonnés

Avant: les propriétés d'un matériau composite sont la moyenne des propriétés de ses composants. Mais faux pour le problème de percolation par exemple.

Il existe des problèmes de grande importance technique pour lesquels:

- Certaines instances ont des propriétés très differentes de celles de la plus grande partie des autres.
- Pour l'immense majorité des instances, les propriétés sont prédictibles, mais peuvent être l'objet de transition de phase abruptes, par exple pour la percolation entre conducteurs et isolants.

Deux systèmes modèles de grande importance:

- La percolation: transition isolant-conducteur lorsqu'on mélange des sites isolants et conducteurs. Milieux aléatoires macroscopiques, écoulements dans les milieux inhomogènes.
- Les verres de spins dans lesquels le désordre structurels des verres est remplaçé par un désordre d'interaction entre spins. Caractérisés par une multiplicité de configurations attractrices.

Le social et les institutions

La rationalité complète est un concept qui impliquerait que les choix des individus sont faits en fonction d'une connaissance parfaite du monde, incluant en particulier la connaissance des connaissances des autres, et à partir de là leurs choix futurs. A chaque instant les choix individuels impliqueraient l'examen complet de toutes les options offertes.

En pratique, notre informations incomplète nous impose des comportements routiniers basés sur nos expériences passées ou sur notre culture: c'est le principe de la rationalité limitée. L'organisation cognitive et culturelle résultante constitue l'ensemble des institutions qui structurent notre vie sociale.

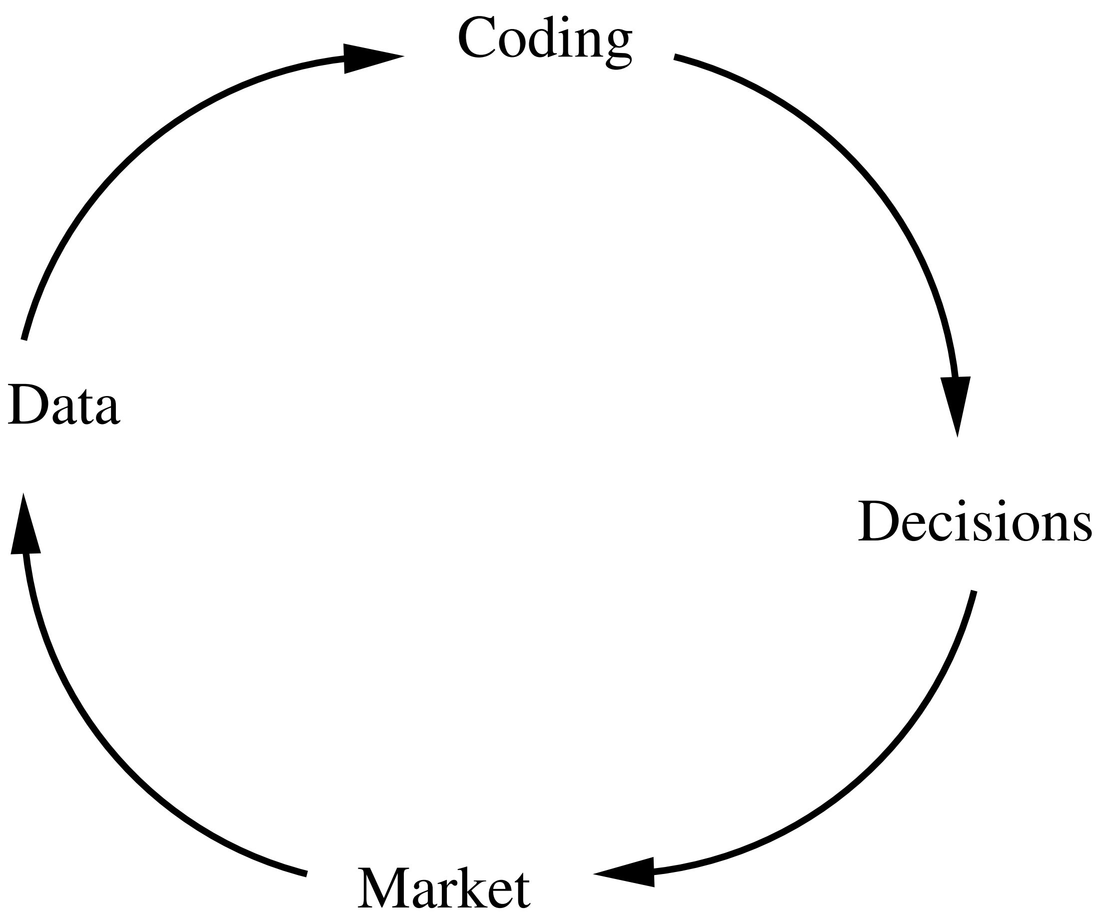
Exemples:

- croyances, normes, signes, choix, préférences.
- langage, culture, religion
- marchés, banques, école, hopitaux, état.

Des raisonnements simples permettent de comprendre le rôle des institutions. Les questions qui se posent:

- Origine des institutions: le problème de l'émergence.
- Evolution ou révolution vers de nouvelles institutions,
- Ressemblances et différences entre institutions: pourquoi les institutions tribales restent-elles invariantes de l'équateur à la toundra?

Rôles de l'environnement, de l'histoire, de l'information disponible?



Ces boucles (une par agent) constituent un système complexe dont les attracteurs de la dynamique s'interprètent en terme d'institutions.

Exemples modélisés:

- Préférences commerciales, émergence des normes.
- Réseaux sociaux et commerciaux.
- Sciences politiques, Axelrod.