



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Comptes Rendus Physique

www.sciencedirect.com

From statistical physics to social sciences / *De la physique statistique aux sciences sociales*

Foreword



It is customary to date back the initial foray of physicists into economics to the September 1987 Santa Fe conference on “Economics as a complex evolving system”, organised by two famous physicists (Phil Anderson and David Pines) and one famous economist (Ken Arrow). When confronted with the theories of rational expectations and efficient markets, then at the peak of their glory, Phil Anderson (also at the peak of his art) famously quipped: *Do you guys really believe that?* Many inspiring and insightful ideas were discussed during that conference, suggesting a potentially productive cross-fertilization between economics and the (back then) nascent theory of complex systems. After all, economics (and social sciences) is primarily about inferring the coordination properties of large assemblies of heterogeneous, interacting individuals – a difficult endeavour that statistical physics has been grappling with for more than a century.

“Social-physics” or sociophysics has a history of its own, almost forgotten by many physicists working in the field. Actually, Auguste Comte first coined the term “social physics” for the new science that he had founded, before adopting the now-accepted term of “Sociology”. Several important sociologists in fact relied on physics concepts to develop their theories. Important contributions in social science from physicists have been in geography (the ‘gravity model’ derived from maximum entropy principle by Wilson in the 1960s), and more recently in sociology with the analysis of complex (social) networks. Other topics at the frontier between economics and non-economics contexts have been studied, such as social segregation, a topic for which a remarkable amount of works has been done for 15 years, elaborating on the model introduced in the early 1970s by the social scientist Thomas Schelling.

Unfortunately, this cross-fertilisation did not yet follow through, at least not on a large scale, in spite of the involvement of larger and larger cohorts of physicists in what is now called “econophysics”. For many years, economists’ inflexible insistence on Rational Expectations and Efficient Markets made it difficult for physicists to engage in a constructive conversation. This is no longer the case and a window of opportunity is opening up.

Had cross-fertilisation been rapidly achieved, the terms “econophysics” or “sociophysics” would probably not even exist: they emerged from work within the physics community in the absence of efficient interactions with other disciplines. Better interactions between communities should eventually make these terms obsolete. In the recent years, the field of “computational social science” seems to have become a well-accepted receptacle for interdisciplinary approaches, well suited for the complex system community.

It is maybe time to reflect on thirty years of econo/sociophysics and review some of the most successful studies in these fields, as well as some open questions. This is the ambition of the present special issue of *Comptes rendus Physique*.

One of the overarching themes of these studies is the crucial role of interaction between agents. We humans strongly interact with one another, either directly or indirectly through market prices or other aggregate indicators. Analogously to many complex systems they have learnt to deal with, physicists believe interactions plus heterogeneities should lead to unanticipated collective effects, instabilities, and crises. This may in the end be the most relevant contribution of physics to economics and social sciences: crises and discontinuities must be understood as interaction-induced, aggregate phenomena that cannot take place in a world of non-interacting, perfectly rational agents.

The present issue contains many models that can be called “metaphorical”, in the sense that such models do not necessarily attempt to faithfully describe reality, nor do they necessarily rely on very plausible assumptions. Rather, they aim to illustrate some non-trivial mechanisms, the scope of which goes much beyond the specifics of the model itself. A well-known example is the Ising model in physics, where the phenomenon of phase transition and collective effects appears in a bare bone model of magnetism. The Schelling segregation model can help understand how Adam Smith’s invisible hand (another time-worn metaphor) can badly fail when individual agents only follow their self-interest. Simple metaphorical network models for trust evaporation have been devised to help understand how the 2008 crisis unfolded so suddenly, and so violently.

Statistical mechanics models of interacting agents have a broad range of applications. This dossier contains three papers on opinion formation and behaviour of voters in the presence of interactions (Jedrzejewski and Sznajd-Weron, Artime et al. and Redner), two papers on statistical physics inspired model for city growth – at topic of obvious practical importance

<https://doi.org/10.1016/j.crhy.2019.05.001>

1631-0705/© 2019 Académie des sciences. Published by Elsevier Masson SAS. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

(Bettencourt and Barthélémy), and one on the complex dynamical organization of starling flocks (Cavagna et al.). The paper by Bertin and Jensen explains how interactions can make the whole “less than the sum of its parts”. Khedair and Kuhn propose a model where the interaction between different stocks can lead to a complex, chaotic dynamics. Burda et al. revisit the very topical problem of wealth inequalities, which is one of the issues on which econophysicists have produced a large number of papers in the last twenty years. Finally, Bardoscia et al. investigate how information theory can shed a new light on the problem of diversification, and Gravino et al. explore the fast-growing world of recommendation systems using ideas from statistical mechanics. We also welcome Pablo Jensen’s piece, which expresses some critical but constructive comments on the whole econo/socio-physics endeavour, in particular the use of metaphorical models.

These papers of course represent a biased choice among the current “social science” topics studied by physicists. We have not covered, for example, recent applications of Random Matrix Theory to economics and finance, or phase transitions in macroeconomic Agent Based Models, or else models of contagion for describing riots or social unrest, or feedback loops in financial markets. A short bibliography of some of our own papers in these directions is given below. We still hope that the reader will find this dossier useful.

Avant-propos

Il est d’usage de dater la première incursion des physiciens dans l’économie de la conférence de Santa Fe de septembre 1987 sur « l’économie en tant que système complexe en évolution », organisée par deux physiciens (Phil Anderson et David Pines) et un économiste (Ken Arrow) célèbres. Face aux théories des attentes rationnelles et des marchés efficaces, alors au sommet de leur gloire, Phil Anderson (également au sommet de son art) s’est illustré par un : *Vous y croyez vraiment à tout cela les gars ?* De nombreuses idées inspirantes et perspicaces ont été discutées au cours de cette conférence, suggérant une fertilisation croisée potentiellement productive entre l’économie et la théorie (à l’époque) naissante des systèmes complexes. Après tout, l’économie (et les sciences sociales) consiste avant tout à déduire les propriétés de coordination de grandes assemblées d’individus hétérogènes et en interaction – un problème difficile auquel la physique statistique est confrontée depuis plus d’un siècle.

La « physique sociale » ou sociophysique a une histoire qui lui est propre, presque oubliée par de nombreux physiciens travaillant dans ce domaine. En fait, Auguste Comte a d’abord inventé le terme « physique sociale » pour la nouvelle science qu’il avait fondée, avant d’adopter le terme désormais accepté de « sociologie ». Plusieurs sociologues importants se sont en effet appuyés sur les concepts de la physique pour développer leurs théories. Les physiciens ont apporté d’importantes contributions en sciences sociales dans le domaine de la géographie (le « modèle gravitationnel » dérivé du principe d’entropie maximale de Wilson dans les années 1960), et plus récemment en sociologie avec l’analyse des réseaux (sociaux) complexes. D’autres thèmes à la frontière entre les contextes économiques et non économiques ont été étudiés, comme la ségrégation sociale, un sujet pour lequel une quantité remarquable de travaux a été réalisée depuis 15 ans en développant le modèle introduit au début des années 1970 par le sociologue Thomas Schelling.

Malheureusement, cette fertilisation croisée ne s’est pas poursuivie, du moins à grande échelle, malgré l’implication de cohortes de physiciens de plus en plus nombreux dans ce que l’on appelle aujourd’hui « l’éconophysique ». Pendant de nombreuses années, l’insistance inflexible des économistes sur les anticipations rationnelles et les marchés efficaces a rendu difficile, pour les physiciens, d’engager une conversation constructive. Ce n’est plus le cas et une fenêtre d’opportunité s’ouvre.

Si une fertilisation croisée avait été rapidement réalisée, les termes « éconophysique » ou « sociophysique » n’existeraient probablement pas : ils sont issus d’un travail mené au sein de la communauté des physiciens en l’absence d’interactions efficaces avec d’autres disciplines. De meilleures interactions entre les communautés devraient à terme rendre ces termes obsolètes. Ces dernières années, le domaine des « sciences sociales computationnelles » semble être devenu un réceptacle bien accepté pour les approches interdisciplinaires, bien adapté à la communauté des systèmes complexes.

Il est peut-être temps de réfléchir sur trente ans d’économie/sociophysique et de passer en revue certaines des études les plus réussies dans ce domaine, ainsi que quelques questions ouvertes. Telle est l’ambition du présent numéro spécial des *Comptes rendus Physique*.

L’un des thèmes principaux de ces études est le rôle crucial de l’interaction entre les agents. Nous, êtres humains, interagissons fortement les uns avec les autres, directement, ou indirectement par le biais des prix du marché ou d’autres indicateurs agrégés. De la même manière que de nombreux systèmes complexes avec lesquels ils ont appris à travailler, les physiciens pensent que les interactions et les hétérogénéités devraient conduire à des effets collectifs inattendus, des instabilités et des crises. Ce sera sans doute en fin de compte la contribution la plus pertinente de la physique à l’économie et aux sciences sociales : les crises et les discontinuités doivent être comprises comme des phénomènes agrégés induits par l’interaction, qui ne peuvent se produire dans un monde d’agents non interactifs et parfaitement rationnels.

Le présent dossier contient de nombreux modèles que l’on peut qualifier de « métaphoriques », en ce sens que ces modèles ne cherchent pas nécessairement à décrire fidèlement la réalité, ni ne reposent nécessairement sur des hypothèses très plausibles. Ils visent plutôt à illustrer certains mécanismes non triviaux, dont la portée va bien au-delà des particularités du modèle lui-même. Un exemple bien connu est le modèle de l’Ising en physique, où le phénomène de transition de phase et les effets collectifs apparaissent dans un modèle simple de magnétisme. Le modèle de ségrégation de Schelling peut aider à comprendre comment la main invisible d’Adam Smith (une autre métaphore bien connue) peut échouer complètement lorsque les agents individuels ne suivent que leur intérêt personnel. Des modèles de réseaux métaphoriques

simples pour l'évaporation de la confiance ont été conçus pour aider à comprendre comment la crise de 2008 s'est déroulée si soudainement et si violemment.

Les modèles de mécanique statistique des agents en interaction présentent un large éventail d'applications. Ce dossier contient trois articles sur la formation de l'opinion et le comportement des électeurs en présence d'interactions (Jedrzejewski et Sznajd-Weron, Artime et al. et Redner), deux articles sur le modèle inspiré de la physique statistique pour la croissance urbaine – un sujet d'importance pratique manifeste (Bettencourt et Barthélémy) et un sur l'organisation dynamique complexe des volées d'étourneaux (Cavagna et al.). L'article de Bertin et Jensen explique comment les interactions peuvent rendre l'ensemble « moins que la somme de ses parties ». Khedair et Kuhn proposent un modèle où l'interaction entre différents actifs peut conduire à une dynamique complexe et chaotique. Burda et al. revisitent le problème très actuel des inégalités de richesse, qui est l'une des questions sur lesquelles les économistes ont produit un grand nombre d'articles au cours des vingt dernières années. Enfin, Bardoscia et al. étudient comment la théorie de l'information peut jeter un nouvel éclairage sur le problème de la diversification, et Gravino et al. explorent le monde en pleine croissance des systèmes de recommandation à l'aide d'idées issues de la mécanique statistique. Nous avons également choisi de publier l'article de Pablo Jensen, qui exprime quelques commentaires critiques, mais constructifs, sur l'ensemble de l'effort d'économie/socio-physique, en particulier l'utilisation de modèles métaphoriques.

Ces articles représentent bien sûr un choix biaisé parmi les sujets actuels des « sciences sociales » étudiés par les physiciens. Nous n'avons pas abordé, par exemple, les applications récentes de la théorie des matrices aléatoires à l'économie et à la finance, ou les transitions de phases dans les modèles macroéconomiques fondés sur les agents, ou encore les modèles de contagion pour décrire les émeutes ou les troubles sociaux, ou les boucles de rétroaction sur les marchés financiers. Une courte bibliographie de certains de nos propres articles dans ces directions est donnée ci-dessous. Nous espérons que le lecteur trouvera ce dossier utile et inspirant.

For further reading/Bibliographie sélective

- J.-P. Bouchaud, Crises and collective socio-economic phenomena: simple models and challenges, *J. Stat. Phys.* 151 (3–4) (2013) 567–606.
- M.B. Gordon, J.-P. Nadal, D. Phan, V. Semeshenko, Entanglement between demand and supply in markets with bandwagon goods, *J. Stat. Phys.* 151 (3) (2013) 494–522.
- L. Bonnasse-Gahot, H. Berestycki, M.-A. Depuiset, M.B. Gordon, S. Roché, N. Rodriguez, J.-P. Nadal, Epidemiological modelling of the 2005 French riots: a spreading wave and the role of contagion, *Sci. Rep.* 8 (1) (2018) 107.
- S. Gualdi, M. Tarzia, F. Zamponi, J.-P. Bouchaud, Tipping points in macroeconomic agent-based models, *J. Econom. Dynam. Control* 50 (2015) 29–61.
- J. Bun, J.-P. Bouchaud, M. Potters, Cleaning large correlation matrices: tools from random matrix theory, *Phys. Rep.* 666 (2017) 1–109.
- P. Blanc, J. Donier, J.-P. Bouchaud, Quadratic Hawkes processes for financial prices, *Quant. Finance* 17 (2) (2017) 171–188.
- J.-P. Bouchaud, J. Bonart, J. Donier, M. Gould, *Trades, Quotes and Prices: Financial Markets Under the Microscope*, Cambridge University Press, 2018.

Jean-Philippe Bouchaud*
Capital Fund Management, 23, rue de l'Université, 75007 Paris, France
E-mail address: Jean-Philippe.BOUCHAUD@cfm.fr

Jean-Pierre Nadal
LPENS, ENS, 24, rue Lhomond, 75005 Paris, France

Available online 17 May 2019

* Corresponding author.