

École Polytechnique

CREA

CENTRE DE RECHERCHE
EN ÉPISTÉMOLOGIE APPLIQUÉE
Unité associée au CNRS (UMR 7656)

CREA-ENSTA

32, boulevard Victor F-75015 Paris

Tél.+33 (0)1 45 52 64 11

jean.petitot@polytechnique.edu

Jean Petitot

Paris 2030 : Colloque international sur l'avenir des villes

18 novembre 2011, Mairie de Paris

Organisation et émergence dans les systèmes complexes

Jean Petitot

CAMS-EHESS & CREA-Ecole Polytechnique

Je remercie les organisateurs du colloque et Denis Bertrand de m'avoir proposé de participer à vos travaux. Comme je ne suis pas un spécialiste des milieux urbains, je pense que ce qui les intéressait était que j'ai travaillé, au centre de mathématiques de l'EHESS (le CAMS) et au département de sciences sociales de l'École Polytechnique (le CREA), sur la modélisation mathématique des systèmes complexes. Il s'agit de systèmes hautement organisés, comportant plusieurs niveaux d'observation, d'analyse et de synthèse (échelles micro/méso/macro) et dont les structures et les fonctions *émergent* d'interactions compétitives et coopératives entre un très grand nombre d'unités élémentaires. Les causalités y sont très intriquées et les interactions des comportements individuels y induisent des états collectifs émergents qu'il est en général très difficile d'expliquer, de comprendre et de contrôler. D'où l'intérêt scientifique de leur étude.

Les organisations urbaines en sont des exemples typiques. Mais il en existe beaucoup d'autres, déjà en physique et en chimie. Les exemples sont évidents en biologie où le challenge est entre autres de comprendre et de modéliser l'embryogenèse,

la morphogenèse, l'organogenèse des organismes vivants. On peut également évoquer les recherches en neurosciences cognitives. Les neurones sont un peu comme des automates à seuil. Ils intègrent les signaux qu'ils reçoivent des voisins auxquels ils sont connectés à travers des synapses et si le résultat de l'intégration dépasse un certain seuil, ils s'activent et émettent à leur tour des signaux (des potentiels d'action). Ils sont reliés entre eux par des réseaux de connexions et des architectures fonctionnelles très spécifiques et toutes nos facultés cognitives : perception, action, mémoire, raisonnement, etc. sont implémentées dans de tels réseaux neuronaux. On voit là parfaitement la différence de niveaux micro-physique-neuronal VS macro-cognitif-psychologique.

D'autres exemples évidents concernent les systèmes *écologiques*, ou bien les marchés en *économie*, ou encore les réseaux de communication comme Internet, aujourd'hui très étudiés. Ces derniers sont particulièrement intéressants dans la mesure où ils font circuler les savoirs et les connaissances dans les circuits sociaux des échanges de façon beaucoup plus riche et féconde que ne pouvait le faire jusqu'ici la vulgarisation scientifique.

Certaines analogies entre les systèmes urbains et d'autres systèmes complexes sont assez irrésistibles. On se souvient de l'étonnante description de Paris « à vol d'oiseau » par Victor Hugo dans *Notre Dame de Paris* (aujourd'hui on utiliserait l'imagerie satellitaire). Hugo fait de la ville un organisme vivant et il s'agit là de plus qu'une métaphore. Il parle en fait de la *distribution spatiale* de modes d'organisation et de fonctions en trois divisions principales : la Cité, l'Université, la Ville, tissus urbains différenciés reliés entre eux par des artères.

Au-delà du bâti et de ses architectures, au-delà du développement industriel, économique et social, au-delà de l'histoire politique, c'est bien le problème de l'organisation spatiale et de l'aménagement de toutes ces dynamiques qui est ici en jeu. Comme en morphogenèse biologique, le développement urbain est fortement *anisotrope* et guidé par des gradients *morphogénétiques* et des polarisations positives ou négatives qui rendent insuffisants les modèles radio-concentriques classiques. Les morphologies spatiales urbaines ne sont pas des superstructures qui seraient épiphénoménales relativement à des infrastructures qui relèveraient de l'économie de subsistance, de l'acquisition de ressources et de satisfactions de besoins. Elles possèdent une logique et une dynamique sui-generis.

Prenons une autre analogie, peut-être plus parlante puisqu'elle concerne l'éthologie d'espèces animales *sociales*. Par exemple une termitière. Les termites sont cognitivement assez limités... Et pourtant l'évolution biologique les a rendus capables de construire, en agrégeant des comportements élémentaires, de très grandes structures spatiales collectives (à notre échelle, une dizaine de kms) hautement sophistiquées dont l'architecture est fonctionnelle pour la population avec des piliers, des murs externes, des galeries, des membrures et des spirales pour la ventilation et le refroidissement, des chambres (chambre royale, nursery), une base terrassée avec conduits et vannes, etc. Là aussi, on voit bien le changement de niveau.

Quelle que soit la société, son intelligence collective est *incommensurable* avec les intelligences individuelles. La civilisation urbaine a permis une fantastique démultiplication de l'intelligence initiale du primate humain.

Les différents systèmes complexes multi-agents (i.e. dont les unités élémentaires peuvent être traitées comme des agents) ont de nombreuses propriétés communes. L'auto-organisation et l'auto-régulation y jouent un rôle dominant, les compétences y sont différenciées par une division du travail et y sont *distribuées*. Cela engendre une « intelligence collective » transcendant l'intelligence individuelle des agents, ce qui rend la dynamique interne du système *non conceptualisable* par les agents. Une conséquence de cette complexité auto-organisationnelle est que ces systèmes ne sont pas rationnellement contrôlables et planifiables par les individus, ou plutôt que leur contrôle externe appauvrit en général leur complexité interne.

Ce problème délicat du contrôle des systèmes complexes est bien connu par exemple des écologistes, qui insistent sur le fait qu'il faut respecter la dynamique interne sui-generis de la complexité auto-organisée et auto-régulée des écosystèmes. Il est également bien connu des économistes tenants de l'individualisme méthodologique, qui insistent sur le fait qu'il faut respecter la dynamique interne sui-generis de la complexité auto-organisée et auto-régulée des échanges.

En ce qui concerne la morphogenèse urbaine proprement dite, je connais peu de choses. Mais j'aimerais quand même évoquer « la théorie de la forme urbaine » du géographe canadien Gilles Ritchot, qui a publié ces jours-ci un ouvrage sur la morphogenèse de Rome depuis l'antiquité. Son thésard Gaëtan Desmarais avait publié en 1995 un bel ouvrage sur *La morphogenèse de Paris* où, comme en morphogenèse biologique, il s'agissait de théoriser ce que l'on appelle *l'information positionnelle qui permet de coupler des différenciations fonctionnelles à des localisations spatiales*. Un

des intérêts du livre est d'introduire une dimension anthropologique et de tenir compte des dynamiques d'appropriation territoriale concernant des espaces foncièrement valorisés parce que symboliquement investis. La valorisation n'y est pas qu'économique. Elle dépend de valeurs symboliques, anthropologiques et sémiotiques qui, elles aussi, se spatialisent. Cela remonte au début des sociétés humaines. Pensons au déploiement spatial de l'organisation symbolique des villages primitifs si bien décrit par Claude Lévi-Strauss.

Pour conclure, j'insisterai sur le fait que, dans la gestion des systèmes complexes, une difficulté est de respecter leur complexité interne. Cela ne va pas de soi, car l'expérience empirique et les modèles mathématiques montrent à quel point, à cause de la créativité et de l'innovation, les dynamiques internes de l'auto-organisation et de l'auto-régulation ne sont pas mécaniques et déterministes, mais souvent imprévisibles, voire chaotiques, parce que très riches en inventions et en expériences. Comme la médecine, la gestion de la complexité est tout un art, un art difficile, et je crois que c'est de cet art que vous allez parler.