



Allocution de Benoit Perthame

Des équations motivées par les sciences du vivant

Elu dans la section des Sciences mécaniques et informatiques

La physique a fourni de nombreuses équations aux mathématiques car les principes fondamentaux de la physique s'écrivent souvent en termes d'équation aux dérivées partielles, cet objet qui relie les variations en temps et en espace d'une quantité physique telle une concentration, une vitesse, une fonction d'onde. C'est le cas de l'écoulement d'un fluide qui est décrit par les équations de Navier-Stokes, de la dynamique d'un plasma qui est décrite par les équations de Boltzmann ou de Vlasov, c'est aussi le cas de la mécanique quantique avec l'équation de Schrödinger. Ainsi, dans de nombreux départements de mathématiques en France, on trouve des équipes qui étudient ces équations complexes, riches et nombreuses, comme vous pouvez en juger sur cet écran avec quelques exemples de noms d'équations célèbres.

Il y a 20 ans, j'ai constaté que très peu de mathématiciens étudiaient les questions issues des sciences du vivant, biologie, écologie ou médecine. Avec quelques collègues nous avons donc décidé d'essayer de comprendre les questions qui se posent dans ces disciplines et de regarder les modèles mathématiques issus de la biologie. Il se trouve que de nombreuses équipes de physiciens avaient déjà, au début de ce siècle, étudié et modélisé ce que certains appellent la « matière vivante ». Dans divers domaines de la biologie, des objets mathématiques adaptés étaient donc prêts pour une analyse théorique.

La dynamique des populations, on parle ici de cellules, se prête fort bien à la modélisation mathématique avec plusieurs échelles de représentation, de la molécule, à la cellule puis à la population. Comment expliquer ces comportements collectifs surprenants observés expérimentalement, tel cette colonie de bactéries ? On est maintenant capable de modéliser le mécanisme moléculaire individuel qui est à l'origine de ce comportement collectif et ainsi de faire des simulations numériques précises illustrées par cette superposition d'une donnée expérimentale et d'une solution numérique du modèle.



Dans le domaine des neurosciences également, de nombreuses équations ont été proposées depuis les années 50 et le prix Nobel de Hodgkin et Huxley pour la propagation du signal électrique le long d'un axone. Plus récemment, des modèles de champs moyens ont été développés pour décrire l'activité d'assemblées de neurones sur des bases physiologiques. Ceci est illustré ici avec l'apparition d'une activité synchronisée du réseau.

Comment les systèmes vivants ont-ils pu développer de telles fonctions ? C'est peut-être dans la biologie de l'évolution que l'on trouve les plus surprenantes représentations mathématiques du vivant avec ici des équations aux dérivées partielles qui décrivent l'adaptation, la sélection et les mutations dans un espace de traits phénotypiques et qui permettent de générer ces arbres de la vie numériques.

Les fortes non-linéarités de ces équations aux dérivées partielles, les nombreuses échelles d'espace et de temps, les questionnements spécifiques à la variabilité et à la complexité des systèmes vivants ouvrent de vastes champs d'investigation nouveaux pour la modélisation, l'analyse mathématique et la simulation numérique.