

JEAN-PIERRE BOURGUIGNON (66) directeur de recherche émérite au CNRS, professeur honoraire à l'Institut des Hautes Études scientifiques



UN NOUVEL ÂGE D'OR POUR LES MATHÉMATIQUES EN ENTREPRISE?

Les compétences mathématiques sont devenues stratégiques pour un grand nombre d'entreprises et les plus avancées mobilisent des scientifiques de haut niveau aux prises quelquefois avec des questions théoriques fondamentales. Mais le nouveau rôle dévolu aux mathématiciens dans ce contexte s'accompagne d'exigences nouvelles dans leur formation, et de prises de responsabilité inédites.

Jean-Pierre Bourguignon, alors que des programmes informatiques de plus en plus performants traitent des données de plus en plus complexes, y a-t-il encore besoin de mathématiciens dans les entreprises ?

J.-P.B. : Plus que jamais. Nous vivons même un moment historique. Pour le dire simplement, les secteurs économiques qui mobilisent des mathématiques avancées sont aujourd'hui bien plus nombreux qu'il y a vingt ans. Ils sont aussi plus stratégiques parce que correspondant souvent à de nouveaux domaines économiques à explorer.

Il y a trois ans, à l'université d'été du MEDEF, s'est tenu un atelier sur cette question animé par Philippe Martin, alors directeur de la recherche chez Veolia. Il était apparu que les secteurs où on avait besoin d'ingénieurs à profil mathématique

connaissaient une croissance considérable avec l'apparition de nouveaux métiers. Dans son entreprise où, il y a quelques années, les ingénieurs « matheux » représentaient 8 % à 10 % des effectifs, ils pourraient en représenter jusqu'à 20 % dans dix ans.

S'agit-il principalement de mathématiques appliquées ?

J.-P.B. : Pas seulement, car les avancées technologiques stimulent des travaux de recherche en mathématiques fondamentales, et des champs entièrement nouveaux, comme le *compressed sensing*, mêlant statistiques et traitement du signal, apparaissent du côté de la théorie.

En fait, dans ce nouveau contexte, les mathématiques fondamentales ne peuvent être disjointes de leurs applications.

« Les avancées technologiques stimulent des travaux de recherche en mathématiques fondamentales »

NOUVELLE ÉCONOMIE

Il faut faire la différence entre les secteurs économiques classiques, où des logiciels standardisés font une part croissante du travail, et des secteurs plus nouveaux, où le contenu mathématique mobilisé s'est élargi. Nous voyons aujourd'hui apparaître de nouveaux métiers et de nouveaux modèles économiques, dans lesquels, par exemple, les statistiques, le traitement d'images et le traitement des données jouent un rôle central. Nous assistons à une collecte de données de plus en plus nombreuses, et leur transformation et leur exploitation par des processus mathématiques de très haut niveau donnant lieu à de nouvelles activités à valeur économique. Derrière les graphes, les images et les aides à la décision ou à la localisation, il y a des algorithmes complexes, qui sont au cœur de la création de valeur.

CAPTEURS INTELLIGENTS

Les capteurs intelligents sont au cœur du concept de ville interactive. Ils équipent déjà des objets connectés, dont le nombre va exploser dans les années à venir et qui portent en eux aussi une fonction de compression des données pour faciliter leur insertion dans un réseau. Cela se fait au moyen de filtres dont la qualité ainsi que leur adaptation à la mission dévolue sont absolument décisives. Or ces filtres sont fondamentalement des algorithmes faisant appel à des mathématiques de divers types : la qualité du filtre et sa fonction exigent souvent qu'ils soient mathématiquement sophistiqués.

Ce n'est pas une grande nouveauté : dans le monde académique, après une période d'hésitation au milieu du XX^e siècle, l'école mathématique française a su garder les deux approches connectées. La partie la plus innovante du monde des entreprises est en train de changer de culture. Au-delà de Google et de spécialistes des flux de données, certaines sociétés, comme Mercedes ou Siemens, sont en pointe.

La mise en œuvre de ces technologies mobilisant toujours plus de mathématiques, au croisement de la recherche fondamentale et des applications, les mathéux ayant ces compétences sont très recherchés dans ces nouveaux secteurs émergents. Actuellement, en France, ce sont les étudiants ayant une formation avancée en mathématiques qui trouvent des emplois stables le plus rapidement.

Mais ces compétences, justement, ne sont-elles pas amenées en retour à évoluer, d'être ainsi placées au centre du jeu ?

J.-P.B. : Assurément. Il est devenu essentiel que les mathématiciens ayant une formation avancée puissent échanger et se comprendre avec des interlocuteurs issus d'autres disciplines ou exerçant

d'autres métiers. La formation classique des mathéux se posait peu ce genre de questions. Dans le nouveau paradigme, marqué par la continuité entre mathématiques fondamentales et applications et par la pertinence économique de connaissances mathématiques, la question de la capacité d'échange est centrale.

C'est pourquoi la place des mathématiciens dans une entreprise est aujourd'hui une question qu'il faut aborder de plusieurs points de vue : il est de plus en plus évident que des entreprises

ont besoin d'eux, mais eux-mêmes, pour répondre à cette demande, sont appelés à développer de nouvelles compétences, à modifier quelque peu leur identité professionnelle. Les mathéux doivent désormais être capables de répondre à des demandes multiples. Leur fonction, de plus en plus, est d'identifier des approches, hors du domaine habituel de techniques disponibles dans l'entreprise, permettant de proposer des solutions.

ÉLARGISSEMENTS

On peut donner un autre exemple, qui atteste à la fois de la valeur ajoutée associée aux mathématiques et des choix stratégiques faits par certaines entreprises. Dassault Systèmes (3DS) est une entreprise qui conçoit et met en œuvre des systèmes informatiques, initialement étroitement associés au monde de l'aéronautique. Elle a connu un premier grand succès avec *Catia*, un logiciel utilisé

« Les mathéux doivent de plus en plus souvent être capables de répondre à des demandes multiples »

DES MATHÉMATIENS DANS UNE ENTREPRISE INDUSTRIELLE

L'évolution en cours a déjà eu lieu dans certaines entreprises. Pour donner un exemple : un directeur de la recherche de l'une d'entre elles a constitué, il y a une dizaine d'années, une petite équipe de mathématiciens. Au début, ils étaient peu sollicités mais, en quelques années, il a été reconnu que leur apport avait une grosse valeur ajoutée, au point d'être une des équipes les plus « rentables » (ils ne coûtent pas très cher en équipement), et ils reçoivent désormais des demandes de collègues venant de secteurs très différents de l'entreprise. Cela les amène à s'intéresser à des disciplines et à des activités très diverses, beaucoup plus que ce qui était envisagé lors du lancement.

ENJEU ÉCONOMIQUE

L'enjeu économique des mathématiques ne doit pas être sous-estimé. Et les exemples ne manquent pas. Le niveau de mathématiques intégré dans un produit comme un avion peut être un avantage compétitif. Je parlais récemment avec le directeur de la recherche de Nissan-Renault à Chennai. En Inde, l'enjeu principal est de produire des voitures peu chères tout en incluant des services de haut niveau comme celui de leur permettre d'éviter les embouteillages. Un élément différenciant déterminant, à grande valeur ajoutée, est de proposer des outils embarqués pour améliorer la navigation, ce qui peut être une contribution venant de mathématiques à inventer.

pour la conception des avions. Celui-ci a ensuite été transformé en progiciel, gérant un environnement de conception, puis par extension un environnement de construction décentralisé impliquant de multiples partenaires, qui pourtant ne veulent pas tout partager de leur savoir-faire, ce qui est extrêmement délicat. Cette intégration est déterminante aussi bien en termes de qualité que de tenue des délais et des coûts. Tant la conception que la construction sont faites par plusieurs entreprises, dont les activités sont intégrées dans un ensemble informatique nécessairement d'une grande complexité. La modélisation et l'intégration de toutes ces dimensions mobilisent des équipes intégrant des mathématiciens de haut niveau.

Mais l'histoire ne s'arrête pas là. Car Dassault Systèmes cherche aujourd'hui à se positionner sur de nouveaux marchés comme ceux liés à la ville intelligente, avec l'ambition de fournir à ses clients un outil informatique qui intègre toutes les dimensions pertinentes – des réseaux de transport à la biologie environnementale en passant par les flux énergétiques, etc. Ce projet comprend bien sûr une partie informatique au sens « classique » du terme, mais aussi une intégration de connaissances beaucoup plus fondamentales dans un modèle d'un autre ordre de sophistication. Et là encore, on ne parle plus

simplement de faire du développement logiciel au sens traditionnel du terme mais de faire appel à des modèles mathématiques de haut niveau. C'est ainsi qu'une entreprise peut se développer en se réinventant à partir de sa capacité de modélisation mathématique.

NOUVEAUX HORIZONS

Les mathématiciens se sont rapprochés du cœur de l'activité au sein des entreprises avec un travail en prise directe avec les réalités économiques. C'est une évolution considérable. Il y a encore dix ans, on avait l'impression que, l'informatique aidant, les ingénieurs pourraient oublier les mathématiques qu'ils avaient apprises et dédier leur attention au reste. La situation est aujourd'hui bien différente: les maths ont gagné en importance. Je ne suis pas sûr que les mathématiciens aient pris toute la mesure de cette évolution; ils gagneraient à élargir leur champ et à se montrer plus ambitieux. Il est fondamental qu'ils soient curieux d'aller vers d'autres savoirs et capables de comprendre des problèmes – souvent mal posés. Car c'est de cela qu'est souvent faite la vie en entreprise.

Faut-il alors faire évoluer la formation des mathématiciens ?

J.-P.B. : Sans aucun doute, en favorisant

les échanges et en ménageant dans leur cursus une ouverture vers d'autres disciplines.

Il ne s'agit pas simplement de développer la curiosité intellectuelle des étudiants mais bien de comprendre les exigences de l'époque. C'est vrai pour les mathématiques comme pour les autres disciplines. La sophistication technologique mobilise des compétences scientifiques plus profondes et plus variées. Dans un GPS, par exemple, il y a des corrections de relativité générale. Il y a vingt ans, à Stanford, j'avais été surpris de voir deux jeunes ingénieurs de l'aéronautique suivre les cours que je donnais sur ce sujet. Mais ils avaient simplement compris, avant les autres, que, au-delà de satisfaire leur curiosité, cela pourrait être pertinent pour leur futur métier.

Mais, s'il semble essentiel aujourd'hui de se frotter à d'autres disciplines, cela ne suffit pas toujours. Nicole El Karoui, dans un article paru dans ParisTech Review, pointait cette difficulté dans le domaine des mathématiques financières: il n'est pas facile, en quelques mois, de former des statisticiens de haut niveau qui aient aussi une bonne compréhension de l'économie financière.

J.-P.B. : Elle a raison. Mettons les choses en perspective. La finance est un domaine qu'il peut être intéressant d'examiner, car la sophistication mathématique de certains produits financiers a été mise en cause dans la crise des *subprimes*. Chaque banque d'investissement avait constitué son propre département de *quants*, et développait des produits adaptés à son secteur principal d'activité, aux marchés auxquels sa banque s'intéressait, en veillant jalousement à ce que les concurrents ne puissent pas profiter des informations collectées. Or ces modèles étaient fondés sur l'exploitation de modèles stochastiques: pour qu'ils soient robustes, ils doivent être nourris par des séries statistiques suffisamment significatives. Les

« Il est bon
que les mathématiciens
prennent toute la mesure
de cette évolution »



© SLAVKO SEREDA - FOTOLIA

La sophistication mathématique de certains produits financiers a été mise en cause dans la crise des subprimes.

données ont été privatisées au lieu d'être mises en commun, et il s'en est notamment suivi que l'étude des risques n'a pas pu être poussée suffisamment loin. La coexistence d'une sophistication théorique fondée sur du calcul stochastique et une pénurie de données partagées ont certainement nourri la crise. Les banquiers n'ont pas admis qu'il était de leur intérêt à moyen et long terme de partager plus de données pour augmenter la stabilité du système.

On peut en tirer plusieurs leçons : dans ce cas, la recherche a été complètement dominée par la volonté d'avoir des applications dans des cas particuliers sans laisser une place suffisante à une recherche plus théorique et plus globale ; il est ensuite essentiel que les données soient dans le domaine public – il s'agit ici clairement d'un bien commun. Enfin, les mathé-

matheux n'ont pas su se faire entendre. Il est essentiel que la communauté mathématique développe sa propre réflexion sur l'usage fait des mathématiques et puisse être entendue, car les enjeux économiques associés aux travaux de ses membres sont désormais considérables.

On peut entendre cela de deux façons. Pour les entreprises, il y a un intérêt particulier à faire « monter » des mathé-

« Il est essentiel que les mathémeux ne renoncent pas à se faire entendre sans compromission »

aussi stratégiques soient représentées au plus haut niveau. À l'envers, beaucoup de dirigeants font faire aux mathématiciens, par simple ignorance, des choses qui se révèlent dommageables pour l'entreprise au premier chef, mais aussi plus largement pour la société, comme l'a révélé la crise financière avec la généralisation abusive de produits mal contrôlés.

Mais le message s'adresse aussi aux chercheurs mathématiciens : ils forment une communauté très connectée d'environ 100 000 personnes dans le monde partageant une même culture et ayant l'habitude de fonctionner en réseau. Ils doivent se donner les moyens de se faire entendre lorsque les enjeux l'exigent, lorsque sur un sujet majeur – le climat, la finance, l'économie, etc. – des modèles mathématiques sont mal utilisés ou utilisés de façon abusive. Et, pour ce faire, ils doivent comprendre l'intérêt majeur de discuter, d'être à l'écoute et d'avoir une vue globale de l'impact de leur discipline. Un nombre significatif d'entre eux est désormais au cœur des entreprises et de la transformation du monde. Cela leur confère un pouvoir mais aussi de nouvelles responsabilités. ■

Interview révisée par l'auteur après qu'une première version (non révisée) a été publiée par ParisTech Review, qui a donné son accord pour la reprise

VALORISER LES COMPÉTENCES

Certaines entreprises ont compris l'importance de valoriser les compétences strictement scientifiques de certains de leurs employés : dans certaines d'entre elles, les scientifiques référents ont accès aux mêmes échelles de salaire que les dirigeants. Dans le même ordre d'idées, la forte reconnaissance dont bénéficient les docteurs et la place qu'ils occupent dans les plus hauts échelons de l'organigramme des entreprises allemandes est certainement un de leurs atouts.