

Marie-Christine COSTA est aujourd'hui Professeur à l'*ENSTA Paris-Tech*, elle effectue ses recherches à l'*Unité de Mathématiques Appliquées* et au laboratoire *CEDRIC* du *CNAM*.

Ton histoire avec la RO

Avant de parler de ton activité d'enseignante et de chercheuse, raconte-nous comment tu as découvert la RO, et depuis quand tu la pratiques.

Après des études de mathématiques j'ai suivi le DEA (oui, c'est l'ancien temps!) de théorie des graphes dirigé par l'équipe de Claude Berge à Paris. Or, les graphes et la RO ont toujours été amis. En parallèle, Jean Moscarola, alors directeur de département à l'IUT d'Annecy, m'a confié les cours de Graphes et de RO prévus dans les programmes : il avait lui-même découvert la discipline à HEC. Chaque semaine, j'enseignais donc 12h à Annecy puis j'allais suivre des cours à Paris. Pas certain que mes cours aient été au top, mais en tout cas, ça plaisait autant aux étudiants qu'à moi.

La décision de t'orienter vers une carrière académique était-elle prise dès le départ ou s'est-elle plutôt dessinée au fil des rencontres et des expériences ?

J'ai toujours voulu enseigner, la recherche est venue plus tard. C'est Robert Faure, l'un des pionniers de la discipline et premier titulaire d'une chaire de RO en France, qui, grâce à Bernard Lemaire, m'a recrutée au CNAM comme "assistante 6/7" (six jours sur sept, cela ne s'invente pas). On était peu payé et on enseignait 360 heures par an tout en préparant une thèse, la plupart du temps sans véritable directeur (mon seul interlocuteur académique était un jeune assistant, devenu mon compagnon, Alain Billionnet). Mais on était titulaire, bien chanceux et bien loin des années de post-doc exigées par certains pour devenir MCF de nos jours.

Quels sont les sujets qui t'ont immédiatement passionnée et pourquoi ?

Robert Faure était un professionnel, spécialiste de RO à la RATP, et il m'a proposé une thèse, en partenariat avec Renault et Georges Billard, sur les découpes. Bien que davantage fan de graphes que de voitures, la découverte de la RO dans le monde industriel et celle des méthodes relativement récentes de relaxation lagrangienne, génération de colonnes et branch and bound m'ont captivée.

Ton parcours professionnel

Comment s'est déroulée ta carrière jusqu'ici ? Quels ont été tes lieux de recherche, ceux où tu as pratiqué l'enseignement ?

Maitresse auxiliaire en collège pendant mes études, vacataire à Annecy puis plus de trente ans au CNAM, assistante puis chef de travaux, MCF, prof... Une carrière assez linéaire mais dans un établissement où la recherche était souvent peu considérée et doit avant tout être "appliquée". Heureusement, le laboratoire CEDRIC a été créé : un havre pour les chercheurs en informatique. Depuis huit ans je suis à l'ENSTA où la RO est bien reconnue et où la recherche est fortement encouragée, dans un département de mathématiques, et toujours en lien avec le CEDRIC (chère équipe OC). Mes collègues au Cnam parlent bases de données ou réseaux, à l'ENSTA ils parlent optimisation et EDP : la RO est vraiment un pont entre info et maths.

La pratique de la RO dans le monde de la recherche académique a-t-elle évolué ?

Lancer un programme et attendre le lendemain pour récupérer les résultats sous forme de kilos de papier de listing, aller au CNRS ou à l'INRIA pour chercher les articles de bibliographie : une baguette magique a transformé les conditions matérielles. Et le travail en équipe s'est beaucoup développé ¹.

Mais parlons du fond. Aujourd'hui, beaucoup de chercheurs "académiques" en RO travaillent au moins en partie à des recherches appliquées. Il faut dire que la raréfaction des crédits institutionnels et des allocations de thèse oblige les chercheurs à se tourner vers les contrats et les thèses Cifre, qui au contraire se sont énormément développés. Dans l'immédiat, c'est une grande chance pour la RO qui est par nature appliquée, mais il me semble dangereux, à moyen et long terme, de freiner, en France, les chercheurs théoriciens. Comme dans beaucoup de domaines, l'utilité de certains travaux et résultats ne sera évidente que plus tard.

Il m'est arrivé plusieurs fois d'avoir décidé de travailler sur de jolis problèmes d'école, avec des doctorants financés sur allocation, d'avoir publié quelques articles sur le sujet et d'avoir ensuite été contactée par des entreprises ayant des problèmes réels du même type. Je pense en particulier à une étude sur l'optimisation de la pose des câbles dans les centrales EDF suite à des résultats sur les multichemins et multiflots. En fait, j'ai toujours pensé que recherches "assez théoriques" et appliquées étaient fortement intriquées. Prenons un exemple : Alice (pourquoi pas elle ?) a trouvé des facettes pour un modèle mathématique du problème de localisation simple et elle en a déduit un algorithme performant quand on ne considère que des contraintes basiques. Elle va parler de ses recherches à Bob (évidemment) qui cherche à optimiser le placement d'équipements dans un réseau de télécommunications. Certes, Bob a tout un tas de contraintes pratiques à respecter mais s'il fait certaines relaxations, la prise en compte des facettes et autres idées d'Alice

¹Impossible de citer tous ceux avec qui j'ai eu la chance de travailler mais ils sont tous sur ma page web <http://perso.ensta-paristech.fr/mcosta/>

lui permettra sans doute d'accélérer la résolution de son problème. Réciproquement, le chercheur qui se plonge dans un problème industriel en fait souvent surgir de très jolis problèmes plus théoriques sous-jacents. Il ne s'agira pas simplement d'appliquer une méthode connue à un problème réel, il s'agira aussi de mener de véritables travaux de recherche.

Parle-nous de ces projets que tu as conduits, les satisfactions, les obstacles, les clés de la réussite, les leçons tirées peut-être ?

Mon premier projet a également été mon premier échec : après avoir mis au point un joli logiciel de découpe à deux dimensions adapté à une machine de découpe de panneaux de bois, à la demande d'un fabricant de meubles, j'ai compris que les vendeurs de la machine ne se sentaient pas concernés; et je n'avais aucun moyen de joindre les autres utilisateurs. Mon programme a eu un seul petit client... J'ai eu d'autres expériences où, malgré l'efficacité d'une résolution proposée par une équipe de chercheurs, elle n'a pas été utilisée directement par les industriels. Les raisons des échecs étaient multiples. Elles tenaient en partie aux utilisateurs : difficulté de remettre en cause des années de fonctionnement, scepticisme devant l'efficacité annoncée, difficulté de mise en œuvre; et en partie aux chercheurs : une certaine maladresse due à la conviction du bien-fondé de la méthode proposée, incapacité à faire passer les idées, à s'adapter au langage industriel... Mais cela a beaucoup évolué, des deux côtés. Les grandes entreprises ont créé des services de recherches appliquées qui interagissent avec les deux mondes (le terrain et l'académique) et les jeunes entreprises emploient de jeunes ingénieurs ouverts à nos méthodes. A cela on peut ajouter tout le savoir-faire des sociétés de service qui savent assurer les interfaces. Quant aux chercheurs, ils ont appris à changer de vocabulaire, proposer des solutions moins élégantes mais plus pragmatiques, tout en n'abandonnant pas les aspects théoriques. L'exemple le plus classique est la proposition d'une méta ou math-heuristique relativement simple pour résoudre un problème réel, garantie sur une batterie de tests par une borne complexe à obtenir.

En quoi cet équilibre est-il déterminant pour le succès d'un projet de recherche avec un partenaire industriel ? donne nous un exemple de réussite

Chacun doit trouver son compte dans un travail commun. L'industriel doit voir avancer la résolution du problème posé et le chercheur doit progresser scientifiquement (et publier) et "se faire plaisir". Les collaborations idéales sont souvent entre chercheurs académiques et chercheurs industriels, ces derniers maîtrisant le problème réel ou faisant l'interface avec l'utilisateur final.

Notre plus jolie réussite est sans conteste la longue étude menée avec Orange (Matthieu Chardy, Stanislas Francfort pour Orange, Alain Faye et moi-même pour le CEDRIC (Cnam-ENSIIE-ENSTA), Mathieu Tramont puis Cédric Hervet doctorants Cifre) sur le "Fiber to the home". J'ai vu que l'étude a été également citée

par Adam Ouorou dans le dernier bulletin. Un premier prix Orange labs awards (dans la catégorie "Réseaux" !) et la sélection aux pros de la RO. L'étude a eu tout pour faire plaisir à tous : de très jolis problèmes de multiflotts avec ou sans incertitude, des résultats théoriques, une application réelle, une interface "nickel" développée par Orange et de belles publications ... le tout dans une ambiance vraiment sympathique (Merci Matthieu!). Actuellement, PGMO (le programme Gaspard Monge pour l'optimisation et la RO) financé en partie par EDF pousse également aux liens académiques/entreprises. Nous travaillons en particulier (avec Cédric Bentz, Pierre-Louis Poirion, Alain Hertz, et le doctorant Thomas Ridremont) sur le câblage robuste de parcs éoliens, qui a des liens forts avec de superbes problèmes de Steiner sous contraintes de capacités.

Question???

Mais j'aime tout autant les recherches sur les graphes que nous menons avec Dominique de Werra et Christophe Picouleau : transversaux, bloqueurs, extensibles... Certes les applications sont moins immédiates mais ça fait du bien aussi de travailler sans but pratique. Bref, je m'éparpille... Sans doute que tous mes résultats s'en ressentent, mais je m'amuse beaucoup au travail !

Ta vision de l'enseignement de la RO

Comment l'enseignement de la RO a-t-il évolué ? Le mix entre théorie et application a-t-il changé ?

Je n'ai pas l'impression que l'enseignement des bases a tellement changé : Ford-Fulkerson, Dijkstra et le simplexe font toujours partie des bases indispensables à la compréhension des méthodes modernes abordées ensuite dans les cours plus pointus destinés aux futurs spécialistes de RO. Ces algorithmes, appréciés pour leur intérêt pédagogique par nos collègues informaticiens sont ludiques et attirants. Mais les cours plus avancés ont beaucoup évolué dans plusieurs directions.

Le développement de la discipline dans de nombreuses branches professionnelles permet d'illustrer les cours par des applications issues du monde réel, ou de partir d'applications pour en arriver aux méthodes.

L'accès à des logiciels très performants d'optimisation linéaire ou quadratique en nombres entiers, gratuits pour les écoles et universités, a eu d'importants effets dans l'enseignement. On ne peut plus imaginer des cours sans projets ou travaux pratiques.

Ces logiciels permettent aussi d'aborder facilement la discipline dans des filières variées (par exemple Energie, Transport, ...) : le but est alors de sensibiliser les futurs cadres à nos méthodes. Il s'agit alors de faire percer la RO dans les nombreuses entreprises et organismes où elle est méconnue. Le cours sera alors orienté

d'un côté sur la modélisation et l'utilisation des logiciels et d'un autre côté sur les approches par méta-heuristiques. D'autre part, si les futurs "spécialistes" de RO ont absolument besoin de connaître les bases théoriques, ne serait-ce que pour manipuler les logiciels de façon plus performantes (utilisation de l'algorithme approprié, ajout de coupes, de bornes,...), le fait de tester ces approches en projet est vraiment formateur.

L'enseignement de la RO est-il différent à l'Université et dans les Ecoles d'Ingénieur ? L'angle d'approche est-il le même ?

Je pense qu'il y a encore une différence, du moins avec certaines universités mais elle tend à disparaître, ne serait-ce que parce que les chercheurs ont développé les liens avec les entreprises et que les universités poussent vers la professionnalisation des cursus, actée depuis longtemps dans les écoles d'ingénieur. Notre master (le MPRO), axé sur les écoles d'ingénieur, a les deux étiquettes "Recherche" et "Pro".

[je suppose ici que tu as eu l'occasion d'intervenir à l'étranger] **Et à l'étranger, comment la RO s'enseigne-t-elle ? Parle-nous de tes expériences.**

Et non, je n'ai jamais enseigné à l'étranger mais lors de mes séjours nombreux à l'EPFL (Lausanne) ou au GERAD (Montréal) j'ai constaté en parlant avec les collègues que leurs approches étaient tout à fait similaires aux nôtres.

Penses-tu que la RO est suffisamment intégrée à des cursus ne relevant pas directement de l'informatique ou des mathématiques ?

J'en ai parlé plus haut. J'ai déjà vu qu'au Cnam et à l'ENSTA les choses évoluent vite : cours de RO pour le transport ou pour la gestion de l'énergie. Mais il y a encore pas mal de travail à faire. La finance ignore le monde du discret et dans les écoles de commerce-gestion les cours sont souvent éparpillés : par exemple, ordonnancements dans un cours de planification, heuristiques dans un cours de logistique,... Cela fait perdre beaucoup de visibilité. Il nous reste donc à convaincre nos collègues d'introduire des cours de RO dans leurs filières : en fait, j'ai pu tester que 30 heures suffisent à sensibiliser et intéresser les étudiants.

Comment vois-tu l'enseignement et la recherche en RO évoluer dans les 10 prochaines années ?

Commençons par un mot sur l'enseignement et les MOOC : Marie-Claude Portman avait dans l'idée de mettre à disposition tout un tas d'outils pédagogiques sur internet. Elle a bien commencé mais reconnaît elle-même qu'il y a un blocage des enseignants, qui préfèrent personnaliser leurs cours, et que la maintenance des outils demande un investissement constant. Dommage... De jolis jeux ont été proposés, par exemple pour la fête de la sciences par nos collègues tourangeaux

: c'est super pour sensibiliser les jeunes. Mais personnellement, je reste assez sceptique sur des enseignements totalement à distance. Même si les outils actuels sont sympathiques, j'ai du mal à croire à un réel investissement seul derrière son ordi. Donc, je laisse les nouvelles générations s'attaquer à cela.

Pour le fond, au moins pour quelque temps, nous n'échapperons pas aux... Big Data et Data Science ! Une chaire en RO et Sciences des données a été créée à Montréal, les élèves matheux veulent tous faire du "data science", on nous a demandé d'ouvrir un nouveau cours en RO et données massives et les établissements cherchent à recruter des "perles rares" dans le double domaine. Ceci est vrai pour la recherche et pour l'enseignement car la puissance accrue des ordinateurs et les performances des logiciels ouvrent des perspectives nouvelles. Je vois en particulier deux domaines en plein développement.

Le premier vient de la possibilité de prendre en compte l'alea des données (robustesse, stochastique), ce qui était inenvisageable auparavant. Le nombre de publications sur le sujet ne cesse de croître. Cela nous conduit à un rapprochement avec les mathématiciens appliqués (optimiseurs et statisticiens) comme l'incite PGMO, mais il n'est pas si facile de dialoguer tant nos formations, notre vocabulaire et nos méthodes sont différents. Les optimiseurs n'ont pas notre approche algorithmique et connaissent mal nos outils : encore récemment, pour certains, travailler sur la programmation linéaire avait peu d'intérêt (le nombre de solutions étant fini, où est le problème ?). Les chercheurs opérationnels, eux, manipulent souvent mal les variables aléatoires et sont généralement peu à l'aise dans le stochastique et le continu. Pourtant, les problèmes réels relèvent souvent des deux domaines. Les étudiants formés sur les deux aspects ont un bel avenir!

Le deuxième est le traitement de très grandes bases de données, par exemple pour les grands réseaux comme le web. Il est clair que nos algorithmes usuels sont inapplicables et que chercher une solution "optimale" a peu de sens. Alors, faut-il se cantonner à des heuristiques ? Peut-être pas, même s'il faut les perfectionner et leur donner une place importante dans nos enseignements. Des recherches s'intéressent par exemple à des projections du domaine gigantesque initial vers un domaine de taille "praticable" dans lequel une bonne solution figure avec une probabilité garantie. Les méthodes de décomposition, au cœur des nouveaux algorithmes, et le traitement des grands graphes (clustering, recherche) sont aussi des domaines prometteurs.

Mais attention!! A mon avis, la RO classique conserve un bel avenir et ne doit pas se noyer sous la nouveauté. La maintenance des trains, l'affectation d'équipages aux avions, la conception de parcs éoliens, l'organisation des hôpitaux, celle des tournées de véhicules, la gestion d'espaces pour la biodiversité,... que de problèmes aux enjeux importants pour lesquels on aimerait, sinon une solution optimale, du moins une très bonne solution garantie. Les données y sont

grandes mais pas massives, et les nouveaux développements de la programmation mathématique (optimisation entière non linéaire, polynomiale,...) auront encore toute leur utilité.

Que penses-tu de la RO en Ile de France ?

Nous avons la chance d'être dans un vivier incroyable d'entreprises, d'universités et d'écoles pratiquant et développant la RO. Le MPRO est collégial (responsabilités et cours partagés entre 6 établissements Paris-Marne-la-Vallée-Saclay) mais mon grand regret est de n'avoir pas réussi à y intégrer les universités Pierre et Marie Curie et Dauphine, malgré le désir et l'investissement initial de nombreux collègues. L'idée était d'associer peu à peu dans un même master les universités et écoles de la région susceptibles d'y envoyer des étudiants, mais cela impliquait de ne pas développer la RO dans les masters locaux... difficile à admettre parfois.

Pour la recherche, les "Journées Franciliennes de RO" ont un rôle très fédérateur en IDF : c'est un vrai plaisir de voir travailler ensemble tous ces jeunes venus de tous les établissements. La "lutte" universités vs écoles d'ingénieurs qui se mène dans les hautes sphères a des effets regrettables. Celle qui est provoquée par les pouvoirs publics entre Paris et Saclay, voire même entre établissements parisiens, est totalement stérile face à la mondialisation et aux enjeux. Nous, les chercheurs, sommes le plus souvent amis, grâce à la ROADEF, au GDR RO, et aux liens créés lors de nos formations. La concurrence qu'on nous impose nous affaiblit au lieu de nous conforter : la joute avec les équipes étrangères serait bien assez stimulante, inutile d'en ajouter entre nous. Je vais régulièrement à Montréal, et mon rêve serait un grand laboratoire d'Ile de France regroupant tous les chercheurs de la discipline, comparable au GERAD (<https://www.gerad.ca/fr>). Quelle force cela donnerait à la RO en IDF! Rêvons un peu !!