



Bulletin de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision

Sommaire

Le mot du bureau (S. Elloumi)	1
Bernard Roy (1934-2017)	2
Entretien avec Jean-Charles Billaut	3
Prospective du monde de l'énergie : quelle contribution de la RO ? (N. Maïzi)	5
Approximation schemes for clustering and network design (V. Cohen-Addad)	10
Vie du GDR RO (P. Fouilhoux)	14
4ème Journée ROADEF/AFIA (M. Ozturk)	17
EJCO 2017 (C. Guéret, D. Rivreau, A. Rossi)	17
Prix de mémoire de master en RO/AD (M. Ozturk)	17
ROADEF 2018 à Lorient (M. Sevaux et A. Rossi)	18
ROADEF/EURO Challenge 2018 (E. Bourreau, S. Kedad-Sidhoum, E. Pinson, D. Savourey)	18
L'énigme de l'hiver 2018 : "Lapin" (D. Porumbel)	18

Le mot du bureau

par **Sourour Elloumi**

J'écris cet éditorial alors que je m'apprête à quitter mes fonctions au sein du bureau RoadeF dans quelques jours. J'ai eu l'honneur de servir comme secrétaire puis comme présidente. L'aventure fut riche et passionnante. C'est l'heure de passer la main au nouveau bureau, j'aime l'idée que les différents bureaux constituent des maillons d'une même chaîne inter-générationnelle et je suis heureuse d'avoir fait partie de ce maillon et de cette chaîne. Pendant mon mandat de présidente, une grande partie de mon travail a consisté à coordonner et soutenir les tâches effectuées par les autres membres du bureau. C'est Anna, Antoine, Aziz, Meltem, Nicolas et Sophie qui ont accompli des tâches plus ou moins gratifiantes et plus ou moins visibles du monde extérieur. Mais nous avons fait tout cela dans un esprit de concertation et de solidarité. Je tiens ici à remercier chacun d'entre eux et leur souhaiter bonne continuation dans leur vie personnelle et professionnelle.

Dans cette édition : Jean-Charles Billaut nous fait l'amitié de répondre aux questions d'Anna Robert sur son parcours professionnel de chercheur en RO, d'enseignant en informa-

tique, de directeur de laboratoire (informatique de Tours) et d'ancien président de la RoadeF. Jean-Charles nous fait aussi partager son goût pour l'interdisciplinarité, ses réflexions sur le courant de regroupement des pôles universitaires et sur la question éthique de nos recherches. Nadia Maïzi du Centre de Mathématiques Appliquées de Mines ParisTech nous présente une branche singulière de la RO, touchant à l'économie, à l'énergie et à l'environnement : la modélisation et l'optimisation de la planification des systèmes énergétiques sur le long terme dans une démarche prospective. Vincent Cohen-Addad, CNRS/LIP6, nous présente sa thèse « De la pratique à la théorie : schéma d'approximation pour le partitionnement de données et la conception de réseaux » qui a reçu le prix PGMO 2017. Ils complètent ce numéro : le bilan 2017 du GDR RO, les comptes-rendus d'événements soutenus ou organisés par la RoadeF et les annonces des événements à venir, enfin la traditionnelle énigme mathématique.

L'année 2018 a commencé : l'année des 20 ans de la RoadeF, et nous vous espérons nombreux pour la célébrer ensemble à Lorient du 21 au 23 février, avec quelques surprises en plus des nombreuses sessions scientifiques offrant un panorama varié de la recherche en RO/AD en France, des présentations du GDR RO, de la remise des prix (Robert Faure, Stage de Master et Meilleur Article Etudiant) et de notre assemblée générale ordinaire. Mais l'année 2018 a aussi commencé sans Bernard Roy. La RoadeF et sa communauté, qu'il a contribué à bâtir, lui rendront hommage et commémoreront son héritage scientifique lors du prochain congrès et dans la prochaine édition du bulletin qui lui sera consacrée.

Contactez le bureau

Écrire à l'ensemble du bureau : bureau@roadeF.org
ou individuellement à :

Sourour Elloumi, president@roadeF.org

Aziz Moukrim, secretaire@roadeF.org

Nicolas Jozefowicz, tresorier@roadeF.org

Anna Robert, vpresident1@roadeF.org (bulletin)

Antoine Jeanjean, vpresident2@roadeF.org (web)

Sophie Demasse, vpresident3@roadeF.org (rel. intl)

Meltem Ozturk, meltem.ozturk@dauphine.fr (promotion)

Éditeur	Sourour Elloumi, ENSTA ParisTech
Siège social	Institut Henri Poincaré, 11, rue Pierre et Marie Curie, 75231 Paris Cedex 05
Publication	Sophie Demasse, Mines ParisTech, et Anna Robert, ENGIE
Site web	http://www.roadeF.org
Langues officielles	Français et anglais

Bernard Roy (1934-2017)

par Alexis Tsoukias



Bernard Roy est né le 15 mars 1934 à Moulins (Allier). En 1954, il obtient un diplôme de Mathématiques à l'Université de Paris. Il a ensuite obtenu divers certificats en Mathématiques Appliquées à l'Institut de Statistiques de l'Université de Paris. Il obtiendra en 1961 un doctorat sous la direction de Claude Berge sur le sujet de la théorie des graphes.

Bernard a épousé Françoise en 1957. La même année, il commence à travailler, d'abord pour le CNRS, puis pour une société de conseil récemment créée et qui deviendra la SEMA-METRA International. Cette société de conseil a été l'une des premières à promouvoir en Europe continentale la RO comme moyen d'aborder des problèmes réels. En 1962, la Sema-Metra crée une direction scientifique, avec Bernard à sa tête, en charge du développement des outils et méthodes pour le conseil. De nombreux chercheurs opérationnels, aujourd'hui célèbres, ont connu le RO au travers de cette direction scientifique et de sa revue trimestrielle dont Bernard fût éditeur en chef de 1964 à 1977. L'intérêt de Bernard pour l'analyse multicritère date de cette époque.

En 1972, Bernard quitte la Sema pour rejoindre l'Université Paris Dauphine nouvellement créée. Il devient professeur en 1974. Il fonde la même année un laboratoire de recherche, le LAMSADE, et crée le premier diplôme de DEA en France consacré à la RO. Le diplôme (maintenant un master) ainsi que le LAMSADE existent toujours aujourd'hui avec une réputation d'excellence internationale. Bernard prend sa retraite en 2001 et devient professeur émérite. Jusqu'à ses tous derniers jours, Bernard est resté actif dans le domaine de la recherche et du conseil. Bernard a formé un grand nombre d'étudiants qui sont aujourd'hui les piliers de la RO en France et en Europe.

Les contributions de Bernard Roy à la RO ont d'abord concerné l'ordonnancement de projets avec la méthode dite « potentiels-tâches ». Il a obtenu des résultats en théorie des graphes qui ont été résumés dans un célèbre livre en deux volumes qui est toujours utile aujourd'hui. Bernard est internationalement reconnu comme le fondateur de l'école européenne de l'aide multicritère à la décision, fondée sur une approche constructive de la formulation de problème et le créateur des méthodes dites de surclassement qui font usage de techniques issues de la théorie du choix social et de la théorie des graphes.

EN 1975, Bernard Roy a fondé le groupe de travail européen sur l'aide multicritère à la décision, dans le cadre d'EURO, la fédération européenne des sociétés de recherche opérationnelle nouvellement créée. Le groupe se réunit deux fois par an depuis cette date. La 86ème réunion s'est tenue à Paris en octobre 2017. Bernard a été président de l'Afcet, la société en charge de la recherche opérationnelle en France à cette époque, de 1976 à 1978 et président honoraire de la RoadeF. Il a été président de EURO de 1985 à 1986. Il a reçu la EURO Gold Medal en 1992, la MCDM Society Gold Medal en 1995 et la EURO Distinguished Service Medal en 2015. Il a reçu un doctorat honoris causa de six universités (VUB, Liège, Fribourg, Poznan, Laval et Crète).

Bernard Roy a souffert de graves problèmes de vue dès son jeune âge. Ce problème a empiré avec le temps le laissant presque aveugle dès son adolescence et aveugle devenu adulte. Ce handicap n'a pas empêché Bernard d'être, au-delà de son exceptionnelle carrière scientifique, un père de famille heureux, un amateur de vins éclairé et un voyageur connaissant le monde. Depuis 2015, il était veuf de Françoise. Il laisse quatre enfants et de nombreux petits enfants.

L'héritage scientifique de Bernard est considérable. Les nombreux étudiants qu'il a formés et les innombrables chercheurs qu'il a influencés auront à cœur de faire fructifier cet héritage consistant en une conception originale de la RO.

Ce texte est essentiellement basé sur un article paru en 2011 : Denis Bouyssou & Daniel Vanderpooten, Bernard Roy, pp. 753–773, in Profiles in Operations Research : Pioneers and Innovators, A. A. Assad & S. I. Gass (Eds.), Springer, 2011.

Entretien avec Jean-Charles Billaut

par **correspondance électronique (A. Robert)**



Jean-Charles BILLAUT est professeur d'informatique à Polytech Tours. Il est directeur du Laboratoire d'Informatique Fondamentale et Appliquée de Tours (LIFAT anciennement LI) depuis 2007.

Tes débuts en RO...

Pour commencer, parlons de ta rencontre avec la RO : est-ce toi qui es venu à elle ou l'inverse ? Comment se sont passés tes premiers pas dans cette discipline ?

Après un DEUG de maths-info, fin des années 1980 (*Mac-Gyver, Retour vers le futur, Sabrina*, etc.) je me suis orienté vers l'informatique, car la rumeur disait que c'était une discipline dans laquelle on pouvait trouver du travail. Dans une formation de MST (Maîtrise de Sciences et Techniques) en informatique très orientée industrie, j'ai découvert la RO à Tours à travers un cours de GPAO (on parle aujourd'hui d'ERP, d'APS, de Lean management, etc.) où la partie « ordonnancement » du cours était très largement développée par le professeur qui l'enseignait, Christian Proust, un des pionniers de la communauté ordo dans les années 80-90. Ce qui m'a tout de suite plu, c'est le côté ludique des problèmes, qui me faisaient penser à des casse-têtes mathématiques, et surtout de voir des problèmes où les mathématiques tu-toyaient l'informatique.

Quelles sont les expériences ou les rencontres qui t'ont amené à faire le choix d'une carrière académique ? Était-ce déjà écrit dans ton projet professionnel ?

Après un DEA à l'Insa de Toulouse, j'ai fait une thèse de doctorat au LAAS-CNRS à Toulouse en Cifre. Ma société était à Besançon et je faisais le trajet de temps en temps, mais j'étais basé essentiellement à Toulouse. Au début, je n'envisageais pas une carrière académique, mais de rester dans l'entreprise. Et puis, les circonstances ont fait que j'ai demandé la qualif, postulé et obtenu un poste de MCF. Je pense que cet environnement de travail correspond mieux à mon caractère, que celui du privé. Après ma thèse, au lieu d'avoir un poste d'ATER ou un post-doc, comme ça arrive souvent aujourd'hui, mon année de transition s'est effectuée en treillis kaki « sous les drapeaux ». Je crois que j'étais le plus haut diplômé du régiment, cadres compris. Tout a un prix. Moi j'y ai laissé mes cheveux.

Aujourd'hui, ton expertise en ordonnancement est connue de tous, cette spécialité a-t-elle toujours été ton domaine de prédilection ?

Je ne me considère pas comme un expert en ordonnancement, je trouve chaque problème difficile, les preuves de complexité de plus en plus élaborées et les méthodes de résolution de plus en plus géniales. Ceci dit, oui, ça a toujours été mon domaine de prédilection, suite aux cours de GPAO où je suis tombé dans la marmite. Et j'aime encore travailler sur des problèmes apparemment vus et revus, qui s'énoncent très facilement, et montrer qu'en bousculant un tout petit peu les hypothèses, ou en cherchant quelque chose

de nouveau et d'inhabituel, on peut tomber sur des problèmes pour lesquels il n'est même pas évident de savoir s'ils sont NP-difficiles ou non. Je travaille aussi sur des problèmes super compliqués (mais réels) que personne n'a encore abordés, comme ça j'ai implicitement les meilleures méthodes connues à date. Bon, c'est pas pour autant qu'on peut les publier...

Ta carrière

Raconte-nous les étapes qui ont jalonné ton parcours : études, recherche, enseignement, collaborations significatives ?

Ma carrière a débuté en 1994 comme maître de conférences à Tours. J'ai été professeur assez rapidement et j'ai assuré les fonctions qui allaient avec (pédagogiques mais aussi de co-animation puis d'animation d'équipe). Pendant plusieurs années, j'ai enseigné la théorie des graphes et la programmation dynamique, mais aussi le langage d'assemblage. Après une délégation CNRS au LAAS en 2011, mes enseignements ont un peu changé. J'ai repris le cours de théorie des graphes et le cours de gestion de production qui est optionnel en dernière année d'ingénieur. Je fais aussi un cours de langage Python à des étudiants de L2 et je suis responsable des stages de mon département.

Sur le volet « recherche », j'ai été responsable d'équipe, animateur du groupe de travail Bermudes et je suis devenu directeur de mon laboratoire en 2007, en même temps que je devenais éditeur en chef d'European Journal of Operational Research (EJOR) et alors que j'étais encore président de la Roadef pour un an. Bon, je dois dire que 2007 fut une année super chargée, mais les suivantes l'ont été aussi. Avec EJOR j'ai beaucoup appris mais j'ai arrêté en décembre 2014 (après 8 ans quand même), c'était trop de boulot. Je suis maintenant membre de la commission recherche de mon établissement. Plusieurs collaborations ont été importantes pour moi, nationales et internationales. Notamment, nous avons eu la chance de pouvoir inviter des collègues éminents comme Vitaly Strusevich, Federico Della Croce, puis Alessandro Agnetis et Roman Slowiński plus récemment. C'est toujours une chance de pouvoir travailler avec des personnes aussi brillantes. On apprend beaucoup.

Et aujourd'hui, à Tours depuis... plus de 20 ans, quelles sont tes activités principales, comment se déroule la journée-type du Directeur du Laboratoire d'Informatique de l'Université de Tours ? Le spectre est bien plus large que la recherche opérationnelle, peux-tu nous parler de tes missions vis-à-vis des autres disciplines ?

« Plus de 20 ans », merci du rappel... La fonction de directeur de labo n'est pas facile tous les jours. J'ai l'avantage d'être dans une petite structure (environ 50 permanents plus une petite trentaine de doctorants et post-doc). J'ai aussi l'inconvénient d'être dans une petite structure. L'avantage, car j'arrive encore à connaître tout le monde (mais pas tous les doctorants) et à savoir à peu près ce qui se passe dans le laboratoire, même si j'ai du mal à tout comprendre au *machine learning* ou aux ontologies du web sémantique. L'inconvénient, car nous sommes à une époque où « *big is beautiful* » et nos proches voisins en informatique (Paris, Saclay, Rennes, Nantes, Bordeaux...) sont beaucoup plus gros. Mes collègues sont sur tous les fronts, avec les charges administratives lourdes que l'on connaît dans les IUT et les

écoles d'ingénieurs, et il n'est pas facile de continuer à être au premier plan aussi sur le volet recherche. De mon côté, j'ai réussi à garder une certaine activité de recherche, grâce à un secrétariat de labo super performant.

L'ouverture aux autres disciplines fait partie des choses très agréables à soutenir voire à initier. Les collaborations dans le secteur médical sont très nombreuses (optimisation, imagerie, fouille, etc.) chez nous comme un peu partout en France. Nous avons aussi des collaborations avec des aménageurs, des historiens et des archéologues, ce qui est moins commun. Nous allons aussi peut-être travailler – c'est en cours – avec des sociologues et nous participons – c'est récent – avec des philosophes à des soirées débat et tables rondes destinées au grand public sur l'intelligence artificielle. Là, nous sommes assez éloignés des revues à bon *impact factor*, mais c'est aussi notre rôle, de débattre des questions qui intéressent les citoyens. Ceci dit, l'encadrement de thèses dans des domaines qui font appel à plusieurs disciplines pose, en dehors de la difficulté de publier, le problème du devenir du doctorant et de sa reconnaissance, dans notre milieu académique très cloisonné en secteurs disciplinaires.

Et en tant qu'enseignant-chercheur, voudrais-tu mentionner quelques projets qui t'ont marqué au cours de ta carrière ? Pour quelles raisons ont-ils été si importants ?

Je travaille depuis plus de 10 ans avec l'UBCO, l'unité du CHRU de Tours qui produit les préparations de chimiothérapie. Nous avons développé un logiciel de planification qui ordonnance les tâches sur la journée et qui fait une traçabilité complète des préparations. Je vais intégrer prochainement la problématique de la distribution des préparations, car elle se fait en continu dans la journée et elle a un impact important sur les heures d'administration aux patients. Je vais également intégrer la gestion des reliquats, qui sont les flacons de produits entamés. Mine de rien, l'enjeu ici est important, à la fois sur le plan écologique et économique. Ces produits sont toxiques, donc nécessitent un traitement spécifique et en plus ils sont extrêmement chers. Il s'agit donc de gérer au mieux ces produits pour éviter les pertes. Il va sans dire que les grands groupes pharmaceutiques font tout (notamment en essayant de faire passer des lois) pour qu'un flacon ouvert soit jeté après la première utilisation... et pas réutilisé. Ben voyons... Les enjeux financiers sont gigantesques. J'aimerais aussi que la solution que nous avons mise en place à Tours s'exporte. Des centres de production de chimiothérapies d'hôpitaux d'autres villes sont intéressés, mais il y a apparemment des problèmes financiers dans les hôpitaux... En tous cas, si ça pouvait se faire, ce serait une belle réussite.

Ta vision de l'enseignement et de la recherche

Comment a évolué l'enseignement de l'informatique à Tours ces dernières années ?

À Tours, nous avons revu les maquettes d'enseignement il y a peu de temps, pour coller davantage aux profils recherchés dans les entreprises proches de nous et friandes d'informaticiens. Par exemple, les cours de RO se sont réduits comme une peau de chagrin. L'aspect « industrie » (gestion de production, ordonnancement, robotique, etc.) que nous avions autrefois a quasiment disparu des profils de nos diplômés (il en reste des traces dans les options de dernière année). Les volumes horaires correspondants ont été remplacés au profit de thématiques qui résonnent plus « informatique »,

comme systèmes d'information ou architectures et réseaux. Mais bon, nous arrivons encore à parler un peu de RO à nos étudiants.

Quel regard portes-tu sur l'évolution du paysage de l'enseignement supérieur et de la recherche en France ces dernières années ?

Je ne veux pas remonter aux dinosaures, mais l'histoire a démarré il y a longtemps... lors du processus de Bologne amorcé en 1998 (rapprochement des systèmes d'études supérieures européens). Nous parlions à l'époque du « 3-5-8 » devenu ensuite « L-M-D ». C'était gentil, fleur bleue... Puis est arrivé le « Grand Emprunt » initié en 2008, appelé depuis « Investissements d'Avenir » (PIA), qui a structuré le paysage de l'enseignement supérieur et de la recherche d'une façon inédite. L'idée de soutenir fortement l'enseignement supérieur et la recherche, on ne peut que l'approuver, et ça aurait pu être une très bonne chose. Mais c'était sans compter sur le fameux « classement de Shanghai » (voir la page wiki sur cette bouillie infâme et le rapport [J.C. Billaut, D. Bouyssou, P. Vincke. *Should you believe in the Shanghai ranking ?*, *Scientometrics* 84 (1) : 237-263, 2010] cité dans cet article... du super boulot, Denis !). Ce classement est devenu un argument en or pour appuyer beaucoup de réformes et concentrer les moyens sur un petit nombre d'établissements. Avec l'autonomie des universités, l'apparition des PRES puis des COMUE et tous les Labex, Idex, Equipex, FHU, Isite, Initiatives d'excellence, Instituts de toutes sortes mais d'excellence et autres Trucs-ex, le paysage national a été complètement bouleversé. Aujourd'hui, nous avons des mégapôles d'enseignement supérieur, et nous n'aurons bientôt plus que de très grands établissements universitaires régionaux, bien identifiés sur le plan des disciplines et très attractifs. Certaines régions, un peu plus grosses que les autres, en auront peut-être deux ou trois et les plus petites n'en auront pas. Je ne sais pas si cela va dans le sens d'une recherche excellente. Mais que cela bouleverse les équilibres, ça c'est certain. Je ne suis pas sûr qu'on ait bien pris la mesure de toutes les conséquences de ces décisions. Sinon, la région Centre-Val de Loire est deuxième dans le palmarès des plus petites régions de France métropolitaine en population, juste après la Corse. Quel regard je porte sur tout ça, à votre avis... ?

Ton passage à la Roadef

Un bon souvenir j'espère ! C'était il y a 10 ans, tu étais président de la Roadef. Quelles étaient à cette époque les préoccupations de notre association ?

Alors, il y a 10 ans, le GDR RO naissait. Le président Chirac annonçait que toute la France allait passer à la TNT, qu'il y avait des *enjeux*, des *contraintes* et des *objectifs*, alors j'avais écrit au ministre pour que la Roadef soit partie prenante dans ce processus de décision (faut bien rigoler un peu...). On avait eu une réponse... disant que c'était gentil mais non merci. Nous avons contribué à un article dans *Science et Vie* sur le Sudoku avec Narendra Jussien, avec des photos de nous complètement improbables. Là aussi on avait rigolé. Et aussi, j'avais été reçu à l'Académie des Technologies avec Francis Sourd, grâce à un coup de pouce ("de pousse") de Catherine Roucairol, mais là, ça avait été nettement moins drôle. Je voulais leur expliquer ce qu'était la RO, mais ils s'y connaissaient très bien en optimisation, en méthode tabou, en algorithmes génétiques et tout ça. J'avais eu le sentiment

de me faire bizuter... En tous cas, eux, ils avaient dû bien rigoler. Les académiciens, ils sont trop forts... faut pas les chatouiller.

Que penses-tu que la Roadef pourrait faire aujourd'hui pour encore plus favoriser les interactions entre les chercheurs opérationnels et/ou avec d'autres disciplines ? Quelles doivent-être selon toi les missions principales de notre association, en 2018 ?

Ça, c'est une question super difficile. Les médias parlent sans cesse d'« Intelligence Artificielle » et d'« algorithmes » sans expliquer ce que c'est, mais ils en parlent, donc il y a un terreau pour le développement de la RO. On peut parler d'intelligence et d'algorithme sans (trop) effrayer – car nos algorithmes sont intelligents ! (dès lors qu'on ne définit pas les termes, on peut dire ce qu'on veut...). Ceci dit, la mouvance va plutôt vers les « *Data Science* », un terme anglo-saxon qui englobe beaucoup de choses là aussi et qui met un peu la panique dans nos secteurs disciplinaires bien bornés. Du coup, la société Informs explore « *the power of operations research and analytics* » et le groupe de travail *Data Science meets Optimization* d'EURO a été créé récemment. Il me semble que ce ne serait pas une bonne chose d'ignorer complètement cette déferlante et que nous devons trouver notre place dans ce paysage. On a beau mettre des calculateurs en parallèle, il faudra toujours des gens pour réduire la complexité des algorithmes ou proposer des approximations très performantes. Il y a beaucoup de choses à faire avec nos collègues spécialistes de fouille de données ou de *machine learning*, et on voit déjà passer beaucoup de projets collaboratifs qui vont dans ce sens. Je pense que c'est une direction à encourager.

Sinon, en dehors de cet aspect « fashion » à prendre au sérieux, je pense que les progrès du numérique ces dernières années doivent nous pousser à réfléchir aux aspects éthiques de notre métier. Il y a quelques années, les biologistes se sont penchés sur les questions liées aux organismes génétiquement modifiés, au clonage, au génôme... et des questions sont toujours d'actualité. Je pense que c'est à notre tour de nous pencher sur des questions éthiques. Pouvons-nous développer n'importe quelle application sous prétexte que le modèle mathématique est beau ou que l'algo est super performant, sans nous préoccuper de son application ? Ou bien devons-nous avoir notre mot à dire sur les applications de nos recherches ? À mon avis, il faut se poser des questions. D'ailleurs, la Cnil est « sur le dossier » depuis un an et particulièrement sur l'IA depuis... décembre 2017. Vaste débat, je sais, qui dépasse largement le cadre de notre association préférée, et les choses vont de plus en plus vite. Mais comme disait l'autre : « *Vieux motard que j'aimais !* ».

* * *

Je terminerai par une petite pensée pour Bernard Roy. J'avais fait sa connaissance pendant ma présidence de la Roadef. Avec Aziz Moukrim et Éric Sanlaville, nous l'avions aussi sollicité pour écrire un chapitre de livre. Comme à son habitude, il avait répondu avec enthousiasme. Sans être un proche de Bernard, il m'arrivait d'échanger un courrier de temps en temps avec lui. Je l'appréciais énormément pour sa bonne humeur constante et ses grandes qualités humaines et quelque part, le savoir là avait un côté rassurant. Nous avons perdu quelqu'un d'une très grande richesse.

Prospective du monde de l'énergie : quelle contribution de la RO ?

par Nadia Maïzi (CMA, Mines ParisTech)

Décrypter le futur : prévision vs prospective

Depuis les temps les plus anciens, le décideur obsédé par sa relation au futur a recours aux oracles. Ainsi, la première technique divinatoire, le *Yi King*, est attribuée au fondateur de l'empire chinois vers le quatrième siècle avant Jésus Christ. Comme plus tard la géomancie arabe, c'est une technique qui consiste à construire des récits du futur à partir de tirages aléatoires de passages des livres sacrés. Cette tradition divinatoire rencontre une difficulté intrinsèque, car « pré-voir » c'est toujours buter sur l'imprévisible et la futurologie, science de la prévision dont le décideur espère des certitudes, n'est pas infallible.

C'est pourtant par ce biais que les États-Unis, au sortir de la seconde guerre mondiale, inscrivent leur rapport au futur. Pour répondre à des préoccupations d'ordre militaire, dans le contexte de la guerre froide, des méthodes de « prévision technologique » sont déployées pour anticiper ce que pourraient être les inventions futures de matériels militaires. Ces travaux sont déclinés dans le cadre d'un organisme, la RAND (Research and Development) Corporation, dont la mission est en réalité beaucoup plus large puisqu'elle doit « *favoriser et [...] promouvoir des objectifs scientifiques, éducatifs et philanthropiques, en vue du bien-être et de la sécurité collective des États-Unis* » [21].

Dans le même temps, en France, émerge une attitude originale, qui pose les fondements de la prospective à la française [2]. Si elle se démarque de l'approche américaine, c'est déjà parce qu'elle ne concède pas la même centralité aux technologies dans la « pré-détermination » de l'avenir, certains les considérant plus comme une menace pour la société que comme une promesse. Alors que la France est à reconstruire, la planification nationale est initiée sous l'impulsion étatique. Pour concevoir ces plans de reconstruction (véritables programmes au sens de la RO), l'investigation de l'avenir à court terme ne suffit plus et émerge la nécessité de repousser l'horizon d'étude : à partir de la préparation du troisième plan pour la période (1958-1961), un glissement du court au long terme est opéré pour saisir les évolutions sociales et culturelles, car le Commissariat général du Plan, en collaboration avec le Service des études économiques et financières, juge nécessaire d'élaborer une projection économique dont l'horizon dépasse de quatre ans le terme du plan [12].

Les exercices de « planification » se transforment ainsi en des exercices de « prospective » dont l'ambition est de produire des scénarios permettant d'arbitrer entre différents choix de société. Cette évolution modifie profondément la société française, puisque la prospective va intégrer les administrations centrales (tous les ministères vont se doter d'une cellule de prospective) jusqu'à coordonner des programmes industriels. Au delà du plan organisationnel, sur le plan théorique, la contribution de quelques figures intellectuelles dans cette inflexion est centrale. Autour de Gas-

ton Berger, quelques précurseurs définissent la prospective comme l'attitude que le décideur, le « philosophe en action », doit adopter face à l'avenir, dans une période où un changement rapide et radical de société, impulsé par une mutation scientifique et technique sans précédent, initie le mouvement d'accélération du monde que nous connaissons aujourd'hui encore. Cet emballement justifie pour Gaston Berger la nécessité de s'intéresser au futur éloigné, dans une démarche où l'avenir n'est pas considéré comme « une chose déjà décidée, et qui petit à petit, se découvrirait à nous, mais comme une chose à faire » s'opposant ainsi définitivement à l'approche prévisionniste [2]. Le socle des disciplines prospectives établit le lien étroit entre futur et action et repose sur l'idée fondamentale que l'avenir n'est pas à subir, comme le sous-entend la posture fataliste, mais qu'il est à construire.

Les exercices de scénarisation du long terme : les modèles, leur histoire, les scénarios

L'attitude prospective recommande donc de regarder loin. Pour explorer ce long terme, il s'agit de s'appuyer sur des modèles élaborés, non pour chercher à « pré-voir », mais pour aider à fabriquer des futurs possibles. Les scénarios résultants doivent permettre au décideur d'arbitrer entre différentes décisions et stratégies, voire différents choix de société.

La première tentative de modélisation mathématique du long terme au niveau mondial revient au Club de Rome, *think tank* créé par un industriel éminent, l'Italien Aurelio Peccei (1908-1984) à la fin des années 60. Le questionnement sur l'impact du progrès technique émerge comme un des débats majeurs de cette organisation : est-il vecteur de bien-être, point de vue dominant à cette période, ou à l'inverse facteur de déstabilisation sociale ? Pour répondre à cette interrogation, cette équipe de précurseurs élabore un modèle pour évaluer au niveau mondial les effets de la croissance sur le long terme. Ce groupe constitué en majorité d'ingénieurs, de technologues et de scientifiques, identifie globalement et rationnellement les problèmes du monde, « la problématique mondiale » ou le complexe de problèmes, dont il souhaite évaluer l'évolution en s'inscrivant dans la lignée des disciplines prospectives pour voir loin [21].

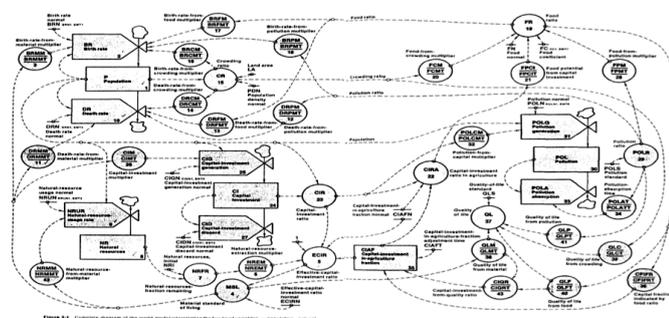


FIGURE 1 – Le modèle WORLD. [13]

De grande simplicité structurelle, ce modèle, baptisé WORLD (figure 1), décrit l'évolution d'un système dynamique dont l'état est composé de cinq variables : la pollution, l'investissement, la population, la qualité de la vie, les ressources naturelles.

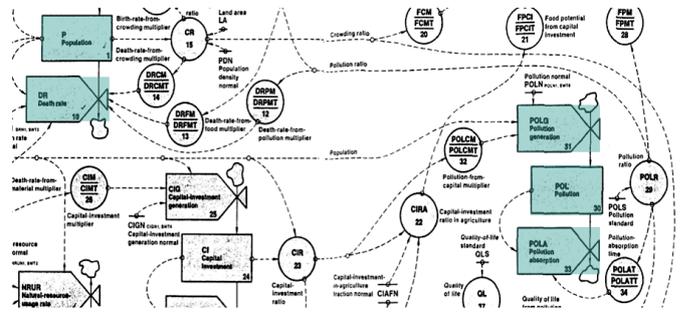


FIGURE 2 – Le modèle WORLD (détail). [13]

Le comportement de ce système est soumis aux interactions entre ses variables suivant le principe de rétroaction, principe selon lequel une certaine proportion de la sortie d'un bloc du système interagit avec son entrée. Par exemple, et comme on peut le suivre sur l'agrandissement du schéma global décrivant le modèle WORLD (figure 2), le bloc population (P) en haut à gauche est influencé par le gain associé au taux de mortalité, bloc (DR) juste au-dessous ; ce bloc étant lui-même sujet aux rétroactions issues des effets de la pollution représentés par les deux blocs de gains (POLA, POLG) et le bloc variable (POL), qu'on identifie à droite de la figure.

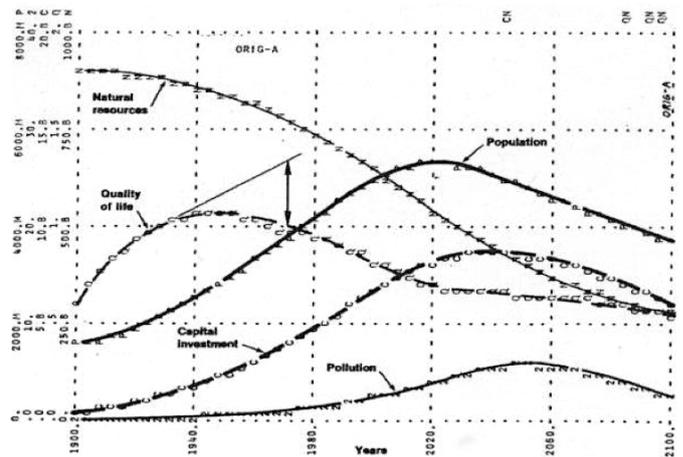


FIGURE 3 – Évolution des variables d'état. [13]

Au delà du modèle WORLD lui-même, ce sont ses résultats qui restent dans les mémoires, car le comportement des variables observées à l'horizon 2100 – comportement robuste aux analyses de sensibilité – est de type « *overshoot and collapse* », comme on peut le voir sur la figure 3 où l'on retrouve l'évolution, à partir de l'année 1900, des cinq variables d'état du système, de haut en bas : ressources naturelles, qualité de vie, population, capital investi, pollution. De quoi grandement inquiéter en effet, puisqu'après l'atteinte d'un plateau maximum à l'issue d'une phase de croissance, toutes ces variables s'effondrent. Cette tendance est d'abord suivie par la qualité de vie puis, quelques décennies plus tard, par les autres et notamment la population.

Une onde de choc accompagne la publication de ces résultats en 1972 dans le rapport du Club de Rome intitulé *Limits to growth* [13]. Les conclusions développées dans ce rapport prônent le retour à une *croissance zéro*, idée peu partagée à cette époque et qui déclenche des débats très animés.

La vue globale du modèle WORLD, si elle semble complexe, ne doit pas nous faire oublier qu'il repose sur des

hypothèses très simplificatrices : pas de rapports internationaux, pas de prise en compte de l'hétérogénéité des différentes parties du monde, pas d'amélioration des processus de production, pas de possibilités de substitutions pour les ressources naturelles et surtout, ce que ses détracteurs et en particulier l'économiste Nordhaus pointeront avec virulence, aucune représentation des mécanismes économiques. Ces critiques sont virulentes certes, mais constructives aussi, car elles donnèrent naissance à différentes tentatives de modélisation concurrentes, p. ex. [15], via une émulation intellectuelle fructueuse – à l'origine de la naissance d'une communauté de modélisateurs – en associant de façon pérenne à partir des années 1970 des spécialistes de la RO du Stanford Optimization Laboratory, des modélisateurs du International Institute for Applied System Analysis (IIASA) et des économistes de la Cowles Foundation.

La genèse de ces différents modèles, dont la vocation est d'éclairer le long terme, conduit à remonter aux années qui ont suivi la grande crise de 1929. Pour répondre au traumatisme créé par cet effondrement, les mathématiciens et économistes Ramsey puis Koopmans proposent de réaliser un arbitrage des décisions économiques afin de garantir de façon pérenne une économie « saine » et vecteur de « bien-être » [6, 18]. La formalisation associée maximise sur un horizon infini une fonction d'utilité traduisant la satisfaction des ménages, pilotée par une contrainte dynamique, élaborée sous forme d'équation différentielle, qui impose un équilibre entre le capital investi et la consommation concédée pour ces mêmes ménages. Ce problème de croissance optimale, résolu via le principe du maximum de Pontryagin [16], permet d'établir des trajectoires optimales. La famille des modèles de type *top-down*, qui se concentrent sur une représentation macro-économique de l'évolution de la société, dérive de cette approche. Dans la lignée des travaux de Von Neumann puis de Sraffa [20, 22, 23] sur la représentation atomistique (en opposition à la représentation phénoménologique), la famille des modèles *bottom-up*, quant à eux, proposent une représentation de l'activité économique décrite en une formulation optimale et centrée sur le déploiement technologique futur [14]. Cette approche s'avère particulièrement fructueuse dans le domaine de l'énergie, afin d'éclairer les enjeux de long terme complexes de ce secteur.

Modèle TIMES : outil de prospective pour éclairer la transition énergétique en France

C'est dans le cadre d'un programme de l'Agence Internationale de l'Énergie, lancé à l'issue des deux crises pétrolières des années 1980, que le modèle de type *bottom-up* TIMES (The Integrated Assessment Markal-Efom System) est développé [4]. Il s'agit pour l'agence de se doter d'un outil permettant d'envisager le long terme du système énergétique en se basant sur un paradigme d'allocation optimale. En 2005, la France désigne le Centre de Mathématiques Appliquées de l'École des Mines de Paris comme laboratoire de référence pour ce programme qu'elle vient de rejoindre. Au delà de l'expertise propre sur le modèle, le laboratoire propose des avancées méthodologiques pour questionner des enjeux de prospective énergie et climat dans différents contextes régionaux, parmi lesquels l'Europe, l'Amérique Latine, le monde, la France ou certaines régions comme l'île de La Réunion [5, 7, 9, 17].

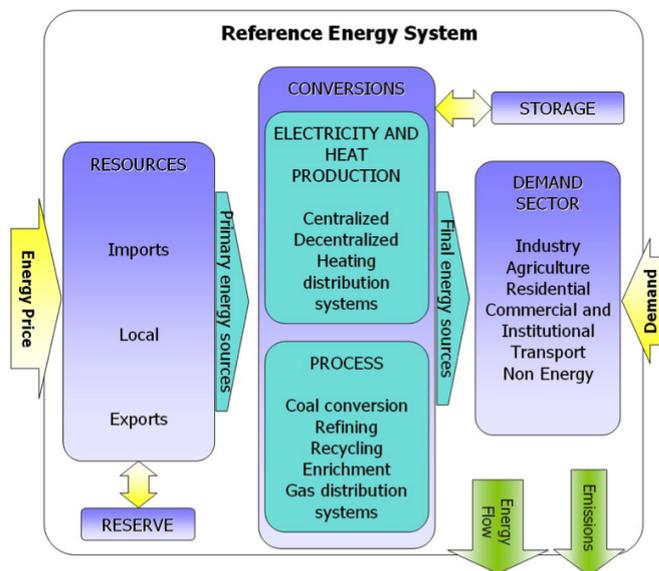


FIGURE 4 – Le système énergétique de référence pour TIMES. [1]

Le modèle TIMES est un programme linéaire pour l'optimisation du système énergétique piloté par la demande sur un horizon de plusieurs décades. Il est déployé pour le système énergétique dont la chaîne de transformation complète est représentée sur la figure 4 : à gauche, les prix des ressources en entrée et à droite, la demande décrite pour tous les usages qui nécessitent de l'énergie. L'offre technologique est évaluée par le modèle en minimisant le coût total actualisé du système énergétique sur l'horizon de long terme, c'est à dire dans le meilleur compromis coût/efficacité. Cette offre, déclinée dans une vision systémique globale, permet de gérer avec cohérence les compétitions et substitutions entre vecteurs énergétiques, tout en satisfaisant sur l'horizon prospectif la demande en usages énergétiques.

Il est important ici de souligner le point suivant : l'hypothèse de modélisation repose sur le fait que la décision d'investissement prise est centralisée et repose sur un critère d'optimalité. Bien que cela soit irréaliste dans un monde concurrentiel, l'indication fournie est précieuse pour la réflexion prospective. En effet, les résultats obtenus indiquent ce que l'on pourrait envisager de « mieux » pour une offre technologique satisfaisant la contrainte de demande : le système productif correspond donc en quelque sorte à une borne inférieure. Ce système productif étant défini par ses investissements, ses capacités de production en puissance installée, et son niveau de production en énergie, il devient simple de calculer la trajectoire d'émission de gaz à effet de serre ou de CO_2 équivalent associé. Donc, pour prolonger la remarque précédente, cette trajectoire d'émission peut être interprétée également comme une borne inférieure.

Pour mieux comprendre l'intérêt de disposer d'un tel modèle, revenons sur quelques résultats que nous avons élaborés en 2011 [10], dans le cadre de la Commission Besson, sur le futur du système électrique français. Notre contribution a consisté à réaliser des exercices prospectifs sur le modèle TIMES-France pour envisager différentes options relatives à la durée de vie des centrales nucléaires. Trois scénarios d'évolution de cette durée de vie ont ainsi été envisagés reprenant des hypothèses alternatives. La première (BAU) suppose le maintien de la capacité nucléaire installée à 65 GW jusqu'en 2050 : cela nécessite une extension de la durée de vie à 60 ans pour les capacités existantes puis le rem-

placement si nécessaire des unités arrivant en fin de vie. La seconde (PROG) envisage les déclassements dans le cas d'une première option de sortie du nucléaire, dite progressive : on a supposé dans ce cas que la durée de vie d'un réacteur sur deux serait limitée à 40 ans pendant que celle des autres serait prolongée à 60 ans, avec surcoût. Enfin, une troisième hypothèse (FAST) envisage une sortie rapide du nucléaire : tout réacteur voit sa durée de vie limitée à 40 ans.

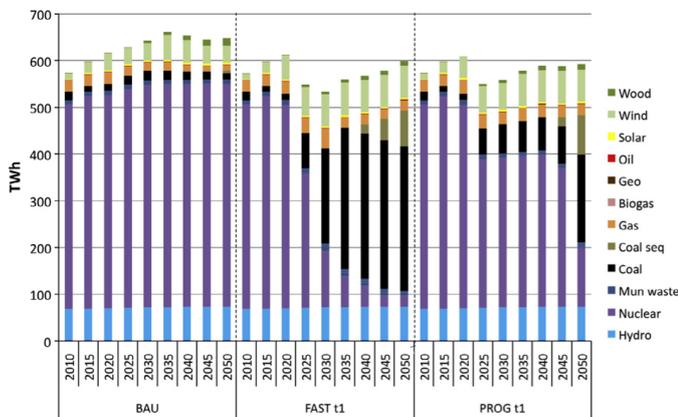


FIGURE 5 – Mix de production d'électricité avec une taxe de 20 euros/t_{CO₂}. [10]

Le premier résultat frappant est relatif au mix de production d'électricité déterminé par le modèle sur un horizon de 50 ans, représenté sur la figure 5. Ce mix correspond à la génération des centrales installées sur la période, exprimée en TWh, satisfaisant la demande électrique (dont on pourra remarquer qu'elle fluctue entre les scénarios car elle est élastique au coût de production de l'électricité). La part de nucléaire apparaît en violet. Elle est maintenue dans le scénario de gauche et disparaît pratiquement en fin d'horizon dans les deux scénarios de sortie, rapide au milieu et progressive à droite. On constate que malgré une taxe sur les émissions de CO₂ variant de 20 à 50 euros par tonne entre 2010 et 2050, le nucléaire sortant est remplacé par des centrales thermiques à charbon, en noir sur le graphe. Comme nous l'avons discuté longuement, l'outil n'a pas une vocation prédictive mais prospective : il faut donc prendre ce résultat comme une indication donnée sur le fait qu'une taxe carbone trop faible n'aura pas les effets environnementaux escomptés sur le mix de production électrique. Ceci fait écho à des situations observées aujourd'hui chez certains de nos voisins européens sortis du nucléaire.

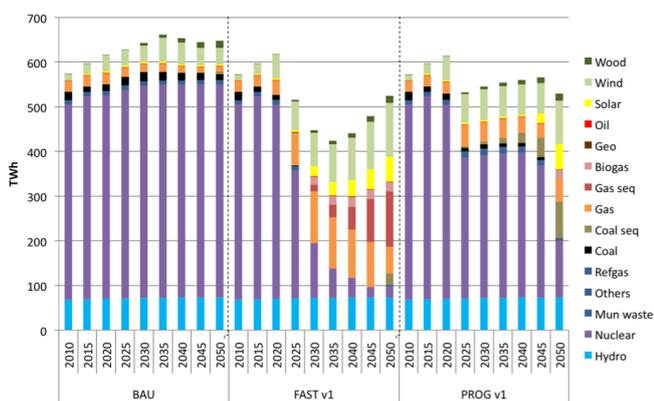


FIGURE 6 – Mix de production d'électricité avec une contrainte en volume d'émission. [10]

Pour aller plus loin, investiguons un autre type de contrainte : une contrainte en volume d'émission qui maintiendrait les trois scénarios au niveau d'émission de référence du scénario BAU. Dans ce cas là, comme l'illustre la figure 6, les centrales fossiles thermiques disparaissent au profit de centrales basées sur des énergies renouvelables (éolien, biomasse et photovoltaïque) et de centrales thermiques à gaz dont une partie est combinée à un procédé de capture et de séquestration d'émissions de CO₂. La chute notable de la demande en électricité satisfaite provient de l'hypothèse d'élasticité de la demande. Il faudrait bien sûr prendre le temps d'analyser le niveau de capacités installées, pour se demander si le rythme de déploiement des différents moyens de production sélectionnés est pertinent et également discuter les implications en matière de politique industrielle, d'importations, et de coûts, pour élaborer les mesures coercitives ou incitatives qui correspondraient à la déclinaison contrainte en volume.

D'autre part, pour renforcer cette réflexion autour de la plausibilité de l'exercice de prospective s'appuyant sur notre approche optimale, il faut souligner que lorsque l'on envisage le système électrique sur le long terme, on ne peut s'affranchir de considérer les contraintes opérationnelles sur le très court terme pour équilibrer instantanément l'offre et la demande. En effet, si un mix donné correspond à des critères environnementaux, la question reste entière sur sa capacité à satisfaire aux opérations système, de l'ordre de la milliseconde à la minute en ce qui concerne sa stabilité, permettant de garantir la fiabilité du réseau électrique et d'éviter les black-out. C'est un des enjeux pour lequel nous avons proposé des résultats originaux, en associant des modèles physiques, permettant l'agrégation spatiale et la réconciliation des échelles temporelles, et des méthodes de programmation linéaire en nombres entiers [3, 7, 11]. Nous avons développé des indicateurs de fiabilité liés aux niveaux de réserves cinétiques, qui assurent la génération, et magnétiques, qui assurent la transmission pour le système électrique. Intégrés comme contraintes dans le modèle linéaire TIMES discrétisé pour figurer les paliers de production, ces indicateurs nous ont permis de démontrer qu'un système fiable pouvait être garanti en relevant le seuil de pénétration des renouvelables de type intermittent. Le mix met alors en œuvre à la fois des moyens de stockage, des solutions d'effacement et d'amélioration de l'efficacité énergétique tout en diminuant les capacités installées [8, 19].

Conclusion

Les quelques exercices précédents, menés dans une démarche résolument prospective, démontrent comment la richesse des résultats de notre modèle nous permet de décrypter et d'analyser les réalités induites derrière ces trajectoires de long terme : les réalités régionales, les réalités techniques, et au delà, ce que nous n'avons pas abordé ici, les réalités liées aux modes de vie et aux comportements. Finalement, ce que nous avons discuté c'est l'art de décider. Afin d'acquiescer une attitude prospective, constructive et engagée vers le futur, il nous semble indispensable de disposer d'un outil comme « prothèse au décideur aveugle désireux d'une aventure calculée », afin d'élaborer une politique éclairée. Pour soutenir cette ambition, l'optimalité constitue un canevas pertinent afin d'envisager les enjeux d'une modélisation du long terme dans le contexte de l'énergie et du climat. Enfin

et au delà, ce choix de paradigme nous permet d'alimenter des perspectives de recherche méthodologiques et orientées dans la déclinaison que nous faisons des méthodes de RO aux enjeux énergie et climat.

Références

- [1] Assoumou, E. ; Bordier, M. ; Guerassimoff, G. ; Grange, C. ; Maïzi, N. (2004) La famille MARKAL de modèles de planification énergétique : un complément aux exercices de modélisation dans le contexte français. *Revue de l'énergie* 558.
- [2] Berger, G. ; de Bourbon-Busset, J. ; Massé, P. (2007) Textes fondamentaux de la prospective française 1955-1966. L'Harmattan.
- [3] Drouineau, M. ; Assoumou, E. ; Mazauric, V. ; Maïzi, N. (2015) Increasing shares of intermittent sources in Reunion Island : impacts on the future reliability of power supply. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- [4] Fishbone, L.G. and Abilock. H. (1981) Markal, a linear programming model for energy systems analysis : technical description of the bnl version. *International Journal of Energy research* 5 :353–375.
- [5] Kang, S. ; Selosse, S. ; Maïzi, N. (2015) Strategy of bioenergy development in the largest energy consumers of Asia (China, India, Japan and South Korea). *Energy Strategy Reviews* 8 : 56–65.
- [6] Koopmans, T. C. (1965) On the Concept of Optimal Economic Growth. *The Economic Approach to Development Planning*. Chicago : Rand McNally : 225–287.
- [7] Krakowski, V. ; Li, X. ; Mazauric, V. ; Maïzi, N. (2017) Power system synchronism in planning exercise : From Kuramoto lattice model to kinetic energy aggregation. *Energy Procedia* : 2712–2717.
- [8] Krakowski, V. ; Assoumou, E. ; Mazauric, V. ; Maïzi, N. (2016) Feasible path toward 40% - 100% renewable energy shares for power supply in France by 2050 : A prospective analysis. *Applied Energy* 171 : 501–522.
- [9] Le Gallic, T. ; Assoumou, E. ; Maïzi, N. (2017) Future demand for energy services through a quantitative approach of lifestyles, In *Energy*.
- [10] Maïzi, N. ; Assoumou, E. (2014) Future prospects for nuclear power in France. *Applied Energy*.
- [11] Maïzi, N. ; Mazauric, V. ; Assoumou, E. ; Bouckaert, S. ; Krakowski, V. ; Li, X. ; Wang, P. (2017) Maximizing intermittency in 100% renewable and reliable power systems : A holistic approach applied to Reunion Island in 2030. *Applied Energy*.
- [12] Massé, P. (1991) *Le Plan ou l'anti-hasard*. Hermann. (réédition).
- [13] Meadows, D. H. et D. L. ; Randers, J. ; Behrens, W.W. (1972) *III, The Limits to Growth*, Universe Books, New York.
- [14] Matarasso P. (2001) *Integrated Assessment Models of Global Change*, In : *Encyclopedia of Global Environmental Change (EGEC)*, vol 5, Wiley.
- [15] Nordhaus W. D. (1992) An optimal transition path for controlling greenhouse gases. *Science* 258.
- [16] Pontryagin, L. ; Boltyansky, V. ; Gamkrelidze, R. ; Mishchenko, E. (1962) *The Mathematical Theory of Optimal Processes*. New York : John Wiley.
- [17] Postic, S. ; Selosse, S. ; Maïzi, N. (2017) Energy contribution to Latin American NDCs : Analyzing sub-regional trends with a TIMES model. *Energy Policy* 101 : 170–184.
- [18] Ramsey, F. P. (1928) A Mathematical Theory of Saving. *Economic Journal* 38 (152) : 543–559.
- [19] Seck, G. ; Maïzi, N. ; Mazauric, V. (2008) Reliability-constrained scenarios with increasing shares of renewables for the French power sector in 2050. *Energy Procedia*.
- [20] Sraffa P. (1960) *Production of commodities by mean of commodities*. Cambridge University Press.
- [21] Vieille Blanchard E. (2011) *Les limites à la croissance dans un monde global : modélisations, prospectives, réfutations*. Thèse EHESS.
- [22] Von Neumann, J. (1945) A Model of General Economic Equilibrium. *Review of Economic Studies* 13 (1).
- [23] Von Neumann, J. (1948) The general and logical theory of automata. Hixon Symposium, in *Von Neumann Collected Works*.

Approximation schemes for clustering and network design

par Vincent Cohen-Addad (LIP6, CNRS)

Ce texte est un résumé de la thèse de doctorat de Vincent "From Practice to Theory: Approximation schemes for clustering and network design", soutenue le 15 septembre 2016 et co-lauréate du prix PGM0 2017.

What are the performance guarantees of the algorithms used in practice for combinatorial optimization problems? Are the standard, routinely-used heuristics as good as the best "theoretical" algorithms? This thesis aims at answering those questions by focusing on classic problems such as the traveling salesman problem (TSP) and clustering problems.

A gap between theory and practice.

The usual theoretical approaches for designing provably-correct and provably-efficient algorithms, consists in proceeding at an abstract level by: (1) *distilling* the problem and the inputs arising in practice by proposing a model (2) *designing and analyzing* an algorithm for the problem in that model and (3) *applying* this algorithm to practical instances. Then, the feedback obtained in (3) allows a better distilling step and so, to finally design provably-correct algorithms that are competitive in practice. However, if the model introduced at the distilling step is too general, it induces a two-fold gap between theory and practice: on the one hand no guarantee on the algorithms that are efficient in practice can be proven to hold in general; on the other hand, the best theoretical algorithms turn out to be noncompetitive in practice because they are focused on unrealistically hard instances that do not happen in practice. This gap can be observed in various contexts.

The traveling salesman problem. The traveling salesman problem is one of the most studied problems in combinatorial optimization. Its study has led to the development of new algorithmic techniques over the years such as for example the new approaches for designing approximation schemes for Euclidean problems, e.g., in the late 90's, the results of Arora [3] and Mitchell [28]. In 2000, Johnson et al. organized the 8th DIMACS implementation Challenge on TSP [20] whose goal was to rigorously compare the different heuristics used in practice using a benchmark of random and real-world Euclidean instances. They analyzed more than 30 heuristics on thousands of instances. Quite surprisingly the best known theoretical algorithms for Euclidean TSP, which have been proven to achieve a $(1 + \varepsilon)$ -approximation and for which Arora and Mitchell received the Gödel price in 2010 are absent from the challenge. Johnson and McGeoch explain that it is likely that those algorithms are not competitive on real-world instances, quoting [20]: "*The versions of the heuristics guaranteeing $1 + \varepsilon$ worst-case ratios are likely to be off by a significant fraction of ε even in the average case [...]. This is likely to make the running times prohibitive, given overheads involved and the fact that the running times are exponential in $1/\varepsilon$.*"

Therefore, for the traveling salesman problem, there is a clear gap between the algorithms that are nearly-optimal in theory and the algorithms used by practitioners to solve the real-world instances.

Clustering problems. The gap between theory and practice is also present in the context of clustering. Clustering algorithms are fundamental, and routinely-used to analyze, classify and pre-process big datasets. Given a dataset and the most important features of the data, a clustering is a partition of the data such that data elements in the same part have common features. Thus, a clustering provides very useful information on the data that can be used e.g., to divide a digital image into distinct regions, to identify communities in social networks, or to classify genes according to their expression patterns.

Hence, the need of efficient clustering algorithms has arisen in a variety of research areas, such as machine learning, big data analysis, and bioinformatics. The problem of computing a clustering has received a considerable amount of attention from both practical and theoretical perspectives.

The variety of contexts in which clustering problems arise makes the problem of computing a "good" clustering hard to define formally. From a practitioner's point of view, the appropriateness of a particular clustering depends on the underlying structure of the data.

This induces a gap between theory and practice for clustering problems. On the one hand, with an appropriate model a benchmark algorithm often yields a "good" clustering. On the other hand, many clustering objectives are difficult to approximate and the practical algorithms difficult to compare rigorously.

Contributions of this thesis

The previous attempts to bridge the gap between theory and practice for TSP (and more broadly network design problems) and clustering resulted in various characterizations of real-world instances, see [11, 13, 30]. However, those approaches mainly resulted in either a class of instances for which the theoretical analysis still yields bounds that are very far from what is experienced in practice or ad-hoc algorithms that leverage the properties of a class of instances but that are not used in practice.

From practice to theory. We proceed in the reverse order. We consider a simple, all-purpose algorithm that is widely-used in practice for hard combinatorial optimization problems and investigate in which contexts this algorithm performs well. The algorithm? A simple local search heuristic. We aim at showing that for various types of the real-world inputs, this algorithm achieves nearly-optimal performances.

The local search heuristics proceed almost naively. Initially, the algorithm starts with an arbitrary solution S to the problem. Then, while there exists a *neighboring* solution S' – a solution obtained via a slight modification of S – of smaller cost, it replaces S by S' and repeats.

Local search is easy to implement, easy to run in parallel, and easy to tune. Hence, it belongs to the toolbox of any practitioner for solving combinatorial optimization problems. It has received a considerable amount of attention over the years, from both practical and theoretical points of view (see the book of Aarts and Lenstra [1]). Yet, the theoretical analysis of this algorithm for clustering problems and TSP is very unsatisfactory. For clustering problems, Arya et al. [5] (see also Kanungo et al. [21]) showed strong theoretical guarantees but still quite far from the performances experienced in practice. Similarly, the theoretical understanding of local

search for TSP does not fit the experimental results obtained by Johnson et al. during the DIMACS Challenge; According to their experimental results, local search is very close to the optimum for low-dimensional Euclidean instances, whereas the best known theoretical guarantees are $O(\log n)$.

Clustering. Similarity between data is often modeled by a distance function: two data points are close if and only if they are similar. This defines a metric space in which each data point is associated to a point of the space. Thus, a clustering according to similarity is a partition of the points such that the distance between two points in the same part, called *cluster*, is small. From a theoretical perspective, clustering has mainly been modeled by the following combinatorial optimization problem:

Given a metric space (A, dist) , a finite set of points $A \subseteq \mathcal{A}$, a set of candidate centers $F \subseteq \mathcal{A}$, and a positive integer k , the k -clustering problem asks for a set of centers $S \subseteq F$, of cardinality at most k , that minimizes $\text{cost}(S) = \sum_{x \in A} \min_{c \in S} \text{cost}(x, c)$.

In the famous k -median problem, $\text{cost}(x, c) = \text{dist}(x, c)$, while in the k -means problem, $\text{cost}(x, c) = \text{dist}(x, c)^2$. Given a solution to the k -clustering problem, partitioning the points according to the closest center in the solution induces a clustering of the data: points that are close from the same center belong to the same cluster and are close to one another.

The k -clustering problem is known to be NP-hard: there is no polynomial time algorithm that produces an exact solution unless $P = NP$. Even if the input points lie in the Euclidean plane, k -median and k -means are already NP-hard (see e.g., [27]). Thus, researchers have tried to design approximation algorithms. The current best approximation factor for metric k -median is $2.675 + \varepsilon$ [14]. Unfortunately, both problems are APX-hard (there exists a constant $c > 1$ such that no polynomial-time c -approximation algorithm exists unless $P = NP$) for general metrics [7]

Nevertheless, the worst-case scenario of general inputs is not very relevant in practice: for many applications, one can assume that the instance is more structured. For example, several inputs stemming from machine learning and image compression consists of points lying in a low-dimensional Euclidean space. Thus, one major 15-year old open question is $Q1$: Is there a polynomial-time approximation scheme (PTAS) (an algorithm that approximates the optimal solution within a $1 + \varepsilon$ factor in polynomial time for being any constant ε) for low-dimensional Euclidean instances of the k -clustering problem?

Another significant part of the real-world instances of the k -clustering problem consists of road networks. Suppose that we are asked to build several warehouses to serve a set of shops. We would like to optimize the distance from each shop to its closest warehouse. Thus, we look for a clustering of the shops: each cluster contains points that are close to one another and therefore, that could be served by the same warehouse. This was one of the original motivation for the k -clustering problem. Since it is often the case that a road network can be modeled by a planar graph (more generally a graph drawn from a minor-closed family of graphs), researchers have tried since at least 2001, (see [2, 16] for example), to answer the question $Q2$: Is there a PTAS for planar instances of k -means ?

Finally, we then consider various characterizations of real-world instances (see [6, 13, 25]), defining the so-called *stable* instances. Each characterization is motivated by a particular type of instances stemming from data science that induces a “ground-truth” clustering. For each of them, an ad-hoc algorithm leveraging the properties induced by the characterization has been designed. We identify three main characterizations of real-world instances: *distribution stability* [6] *perturbation-resilience* [25], and *separability* [13]. Thus, one natural question that was arising from this line of work was $Q3$: Is there a unified approach for those types of real-world inputs? We answer the three questions $Q1 - Q3$ mentioned above:

Local search achieves nearly-optimal performances for low-dimensional Euclidean, planar graphs, and stable inputs.

This solves two 15-year old open problems. We summarize the results in Table 1.

Network Design. We make a significant step to bridge the gap between the experimental results of Johnson et al. and the theoretical results of Arora and Mitchell on TSP. We prove that the simple local search algorithm that achieves very good experimental results on low-dimensional Euclidean instances according to Johnson et al. achieves nearly-optimal performances:

For random low-dimensional Euclidean inputs of TSP, local search achieves a $(1 + \varepsilon)$ -approximation.

The separation property. The proofs of our results on clustering and network design problems rely on the notion of “cheap separators”: the existence of a way to split the instance at small cost.

This leads us to the study of separators and their limitations. Separators are the cornerstone of three central algorithmic paradigms for combinatorial optimization in planar graphs. Three techniques [10, 15, 22] jointly yield most approximation schemes known for planar graphs.

However, we identify a variety of network design problems, for which no PTAS is known and for which those approaches fail. Arguably, the failure lies in the lack of structure of the separator theorems proved so far. For example, when dealing with a network design problem whose solution has to be a connected network, a *good* separator often needs to be both connected and of small length so that combining two solutions can be done by simply adding the separator to the solutions.

We then show how to compute a more structured separator tailored to network design problems. From this, we deduce a new framework that yields the first PTAS for several problems on planar graphs. We summarize our results in table 2.

Conclusion. This thesis is a step toward the understanding of both the algorithms used in practice for clustering and network design problems and the complexity of those problems. We have shown that the popular local search heuristic achieves nearly optimal performance for a variety of characterizations of practical instances. Furthermore, local search is, so far, the only algorithm that achieves the best possible theoretical bounds (i.e., PTAS, though it might be possible to improve the running time) for clustering instances consisting of graphs excluding a fixed minor or points in a

k -clustering	best known approximation guarantee	
	prev.	new (by local search)
d -dimensional Euclidean instances	$1 + \varepsilon$ (k -median) [4, 23] 9 (k -means) [21]	$1 + \varepsilon$
H -minor free graphs (includes planar graphs)	$2.675 + \varepsilon$ (k -median) [14, 26] 25 (k -means) [19]	$1 + \varepsilon$
$\alpha\sqrt{k}$ -separability	$1 + \alpha$ [8]	$1 + \varepsilon$
β -distribution-stability	$1 + \varepsilon$ [6]	$1 + \varepsilon$
γ -perturbation-resilience	Opt if $\gamma \geq 1 + \sqrt{2}$ [12]	Opt for $\gamma > 3$

Table 1 – Summary of our results on local search for clustering. There is no PTAS in general metrics for this problem unless P = NP.

network design	best known approximation guarantee	
	prev. (for general graphs)	new (by local search)
(Edge-weights) Tree Cover	2 [29]	$1 + \varepsilon$
(Edge-weights) Tour Cover	3 [24]	$1 + \varepsilon$
(Vertex-weights) Connected Dominating Set	$O(\log(n))$ [18]	$1 + \varepsilon$
(Vertex-weights) Maximum Leaf Spanning Tree	$O(\log(n))$ [18]	$1 + \varepsilon$
(Vertex-weights) Connected Vertex Cover	$O(\log(n))$ [17]	$1 + \varepsilon$
(Vertex-weights) Feedback Vertex Set	2 [9]	$1 + \varepsilon$

Table 2 – Summary of our results on local search for network design. None of the problems admit a PTAS in general graphs unless P = NP. All the problems are NP-hard in planar graphs.

low-dimensional Euclidean space. We also proved theoretical bounds on the approximation guarantee of local search for TSP that match the performances experienced during the DIMACS TSP Challenge. Thus, the main message is that:

local search occupies a sweet spot between practical performances and theoretical guarantees for several models of practical instances of clustering (including planar graphs, low-dimensional Euclidean space, and “stable” instances) and low-dimensional Euclidean instances of TSP and Steiner tree.

We have also shown how to compute a more structured separator that yields a general approach for obtaining PTASs for various network design problems in planar graphs. This gives the first PTAS for connected dominating set, connected vertex cover, tour and tree cover and feedback vertex set in weighted planar graphs.

References

- [1] Emile Aarts and Jan K. Lenstra, editors. *Local Search in Combinatorial Optimization*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, 1st edition, 1997.
- [2] A. A. Ageev. An approximation scheme for the uncapacitated facility location problem on planar graphs. In *12th International Baikal Workshop*, pages 9–13, 2001.
- [3] Sanjeev Arora. Nearly linear time approximation schemes for euclidean TSP and other geometric problems. In *38th Annual Symposium on Foundations of Computer Science, FOCS '97*, pages 554–563, 1997.
- [4] Sanjeev Arora, Prabhakar Raghavan, and Satish Rao. Approximation schemes for euclidean k -medians and related problems. In *30th Annual ACM Symposium on the Theory of Computing*, pages 106–113, 1998.
- [5] Vijay Arya, Naveen Garg, Rohit Khandekar, Adam Meyerson, Kamesh Munagala, and Vinayaka Pandit. Local search heuristics for k -median and facility location problems. *SIAM J. Comput.*, 33(3):544–562, 2004.
- [6] Pranjal Awasthi, Avrim Blum, and Or Sheffet. Stability yields a PTAS for k -median and k -means clustering. In *51th Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science, FOCS'10*, pages 309–318, 2010.
- [7] Pranjal Awasthi, Moses Charikar, Ravishankar Krishnaswamy, and Ali Kemal Sinop. The hardness of approximation of Euclidean k -means. In *31st International Symposium on Computational Geometry, SoCG'15*, pages 754–767, 2015.
- [8] Pranjal Awasthi and Or Sheffet. Improved spectral-norm bounds for clustering. In *Approximation, Randomization, and Combinatorial Optimization. Algorithms and Techniques - 15th International Workshop, APPROX'12, and 16th International Workshop, RANDOM'12*, pages 37–49, 2012.
- [9] Vineet Bafna, Piotr Berman, and Toshihiro Fujito. Constant ratio approximations of the weighted feedback vertex set problem for undirected graphs. In *Algorithms and Computations*, pages 142–151. Springer, 1995.
- [10] B. Baker. Approximation algorithms for NP-complete problems on planar graphs. *J. of the ACM*, 41(1):153–180, 1994.
- [11] Maria-Florina Balcan, Avrim Blum, and Anupam Gupta. Approximate clustering without the approximation. In *20th Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms, SODA'09*, pages 1068–1077, 2009.
- [12] Maria-Florina Balcan and Yingyu Liang. Clustering under perturbation resilience. *SIAM J. Comput.*, 45(1):102–155, 2016.
- [13] Yonatan Bilu and Nathan Linial. Are stable instances easy? *Combinatorics, Probability & Computing*, 21(5):643–660, 2012.
- [14] Jaroslaw Byrka, Thomas Pensyl, Bartosz Rybicki, Aravind Srinivasan, and Khoa Trinh. An improved approximation for k -median, and positive correlation in budgeted optimization. In *26th Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms, SODA'15*, pages 737–756,

- Philadelphia, PA, USA, 2015. Society for Industrial and Applied Mathematics.
- [15] Erik D. Demaine and MohammadTaghi Hajiaghayi. Bidiimensionality: new connections between FPT algorithms and PTASs. In *ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms, SODA'05*, pages 590–601, 2005.
- [16] David Eisenstat, Philip N. Klein, and Claire Mathieu. Approximating k -center in planar graphs. In *25th Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms, SODA'14*, pages 617–627, 2014.
- [17] Toshihiro Fujito. On approximability of the independent/connected edge dominating set problems. *Inf. Process. Lett.*, 79(6):261–266, 2001.
- [18] Sudipto Guha and Samir Khuller. Improved methods for approximating node weighted Steiner trees and connected dominating sets. *Inf. Comput.*, 150(1):57–74, 1999.
- [19] Anupam Gupta and Kanat Tangwongsan. Simpler analyses of local search algorithms for facility location. *CoRR*, abs/0809.2554, 2008.
- [20] David S. Johnson and Lyle A. McGeoch. *The Traveling Salesman Problem and Its Variations*, chapter Experimental Analysis of Heuristics for the STSP, pages 369–443. Springer US, Boston, MA, 2007.
- [21] Tapas Kanungo, David M. Mount, Nathan S. Netanyahu, Christine D. Piatko, Ruth Silverman, and Angela Y. Wu. A local search approximation algorithm for k -means clustering. *Comput. Geom.*, 28(2-3):89–112, 2004.
- [22] Philip N. Klein. A linear-time approximation scheme for planar weighted TSP. In *Symp. on Foundations of Computer Science*, pages 647–656, 2005.
- [23] Stavros G. Kolliopoulos and Satish Rao. A nearly linear-time approximation scheme for the euclidean k -median problem. *SIAM J. Comput.*, 37(3):757–782, June 2007.
- [24] Jochen Könemann, Goran Konjevod, Ojas Parekh, and Amitabh Sinha. Improved approximations for tour and tree covers. In *Approximation Algorithms for Combinatorial Optimization*, pages 184–193. Springer, 2000.
- [25] Amit Kumar and Ravindran Kannan. Clustering with spectral norm and the k -means algorithm. In *51th Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science, FOCS'10*, pages 299–308, 2010.
- [26] Shi Li and Ola Svensson. Approximating k -median via pseudo-approximation. In *Symposium on Theory of Computing Conference, STOC'13*, pages 901–910, 2013.
- [27] Nimrod Megiddo and Kenneth J. Supowit. On the complexity of some common geometric location problems. *SIAM J. Comput.*, 13(1):182–196, 1984.
- [28] Joseph S. B. Mitchell. Guillotine subdivisions approximate polygonal subdivisions: A simple polynomial-time approximation scheme for geometric tsp, k -mst, and related problems. *SIAM J. Comput.*, 28(4):1298–1309, 1999.
- [29] Viet Hung Nguyen. Approximation algorithms for metric tree cover and generalized tour and tree covers. *RAIRO - Operations Research*, 41(3):305–315, 2007.
- [30] Rafail Ostrovsky, Yuval Rabani, Leonard J. Schulman, and Chaitanya Swamy. The effectiveness of Lloyd-type methods for the k -means problem. *J. ACM*, 59(6):28, 2012.
-

Vie du GDR RO

par **Alain Quilliot**

1 GDR RO (CNRS 3002) : bilan et perspectives

Bilan 2017.

Le GDR RO a connu une année 2017 particulièrement riche. Parmi les principaux faits marquants, on mentionnera :

- l'organisation de l'école d'été jeunes chercheurs 2017 conjointe de l'Association for Constraint Programming et du GDR RO, pilotée par le GT RO et Contraintes, à Porquerolles du 18 au 22 septembre, avec comme thème directeur la programmation par contraintes et ses applications (65 participants) ;
- l'organisation par le GDR RO d'une demi-journée au congrès Roadef à Metz le 23 février : assemblée générale (45 min.) suivie de 6 tutoriels d'une heure (60 participants par tutoriel) ;
- l'organisation conjointe par le GDR RO et le pré-GDR IA, en partenariat avec la Roadef, d'une journée industrielle à l'Institut Henri Poincaré à Paris le 5 décembre ; cette journée, qui a accueilli une centaine de participants, a été animée par 8 intervenants industriels :
 - Christophe Labreuche, Thales : *Multi-Criteria Industrial Decision Aiding*
 - Vincent Lemaire, Orange : *Cluster Prédicatif et Fouille de Données en Télécoms*
 - Kevin Jacquemin, Criteo : *Du CPM au Target CPO*
 - Philippe Laborie, IBM : *CP Optimizer : un solveur générique à la croisée de IA et RO*
 - Arnaud Lallouet, Huawei : *Constraint Games*
 - Laurent Cosserat, Renault : *Configuration et compilation de connaissances*
 - Alessandro Lazaric, Facebook : *Artificial Intelligence at and for Facebook*
 - Cédric Hervet, NP6 : *Optimisation de programme d'envoi de campagnes marketing email* ;
- l'organisation à l'initiative du GT Gotha et du pôle Problèmes Opérationnels du GDR RO d'une école en ordonnancement à Angers du 20 au 22 novembre (30 participants) ;
- l'organisation par le GT GT2L d'une école en logistique à Gardanne les 23 et 24 mai (69 participants) ;
- l'organisation par le GT ATOM d'une école sur la programmation multi-objectif à Lille du 12 au 16 juin (50 participants issus de 18 pays) ;
- l'organisation par le GT POC d'une école sur les méthodes semidéfinies en optimisation combinatoire à Villetaneuse du 12 au 14 juin (60 participants) ;
- l'organisation par le GDR RO d'une session invitée lors des Journées PGMO à Saclay les 13 et 14 novembre (intervenants : A. Quilliot, directeur du GDR RO, C. Artigues, membre du comité de direction du GDR RO, et E. Hyon, responsable du GT COSMOS) ;

– les 20 ans du GT Bermudes ont donné lieu à une journée spéciale à Clermont-Ferrand le 19 décembre 2016.

On mentionnera aussi, dans le registre des programmes collaboratifs, la poursuite du projet européen H2020/MSCA/RISE *Geo-Safe*, à l'intérieur duquel le GDR RO constitue l'interlocuteur français sur la planification réactive en situation de catastrophe naturelle (feux de forêts). Déplacements d'un mois à Melbourne de chercheurs du LAAS, de l'Université du Havre et de l'Université Paris Dauphine.

Au plan organisationnel, le GDR RO s'est rapproché du pré-GDR IA, via non seulement la journée industrielle, mais aussi via la mise en commun du GT TADJ (Théorie Algorithmique de la Décision et des Jeux) du pôle Décision. L'équipe d'animation a été de ce fait renforcée par l'arrivée de Jérôme Lang qui rejoint Stefano Moretti et Patrice Perny. Parallèlement, Philippe Lacomme et Caroline Prodhon ont succédé à Frédéric Semet et Christian Prins à la tête du GT GT2L (Transport/Logistique) du pôle Problèmes Opérationnels ; tandis que Laurent Deroussi a rejoint Patrick Siarry et Talbi El Ghazali pour l'animation du GT META commun aux GDR RO et MACS.

Au plan des actions Jeunes enfin, le GDR RO a, outre l'effort réalisé au niveau des écoles thématiques et des tutoriels Roadef, financé 4 bourses de mobilité (resp. Lucie Galand) : Mathieu Gondran (LIMOS, dir. N. Tchernev, 500 euros), Micheli Knechtel, (LMA-Avignon, dir. P. Michelon, 700 euros), Nicolas Kullman, (LI-Tours, dir. J. Mendoza, 700 euros), Tangi Migot, (IRMAR-Rennes, dir. M. Haddou, 700 Euros).

Perspectives 2018 : actions et réflexion scientifique.

Le GDR poursuivra sa réflexion sur les défis émergents de la RO et sur la façon dont le GDR peut répondre à ces défis : nouveaux applicatifs (énergie, tarification/revenue management), nouvelles problématiques de nature fondamentale (robustesse/gestion des incertitudes, couplage optimisation et simulation, décision collaborative, décision dynamique), nouvelles interfaces pluridisciplinaires (big data, IoT, RO embarquée)...

Le GDR RO s'impliquera en tant que tel au sein des organismes de pilotage (bureau et conseil scientifique) de PGMO (EDF/Institut Hadamard) et travaillera afin de faire émerger un pôle de rencontre autour des applications de la recherche opérationnelle au management de l'énergie.

Une démarche sera engagée aux fins de la réalisation d'une cartographie de la RO en France (laboratoires, équipes, formations, entreprises).

Le travail aux interfaces avec d'autres GDR se poursuivra : la journée industrielle 2018 fera, à l'instar des précédentes, l'objet d'un partenariat. L'école jeunes chercheurs du GDR RO pourrait en 2019 se tenir sur le thème « Jeux et Décision », en partenariat avec les GDR IA et IM.

L'école jeunes chercheurs 2018 du GDR RO se tiendra à Troyes du 14 au 16 mai 2018 sur le thème des problèmes d'opérations intégrés. Elle est organisée en partenariat avec les laboratoires LOSI et LIMOS sous la responsabilité de Caroline Prodhon et Philippe Lacomme.

Le GDR RO sera, par l'intermédiaire du GT POC (R. Mahjoub, P. Fouilhoux, S. Martin), directement impliqué dans l'organisation d'ISCO 2018 à Marrakech du 11 au 13 avril 2018 et de la

Spring School associée (les 9 et 10 avril 2018) qui se tiendra sur le thème *Advanced MIP formulations and computations*. Comme chaque année, le GDR RO prendra en charge l'organisation d'une demi-journée au congrès **Roadef 2018** à Lorient le 22 février 2018, composée de 6 tutoriels semi-pléniérs. Dans la même logique, il organisera deux tutoriels semi-pléniérs au congrès **Mosim 2018** à Toulouse du 27 au 29 juin 2018 : Frédéric Semet sur le transport et Thierry Garaix et Yann Kergosien sur RO et santé. En outre, le GDR RO soutiendra l'organisation du workshop international **Matheuristics 2018** par le LI à Tours du 18 au 20 juin 2018, et il poursuivra l'effort relatif au soutien à la mobilité des jeunes chercheurs et doctorants.

2 Présentation du groupe « Optimisation de Ressources et Grands Systèmes Distribués » (ORGSD)

Les plates-formes (de calcul ou de stockage) ont évolué considérablement ces dernières années vers plus d'hétérogénéité, d'interactivité avec des nombres de processeurs toujours plus élevés. Les outils pour gérer efficacement les diverses ressources doivent s'adapter à ces évolutions (on peut même parler de révolutions dans la façon de considérer les problèmes).

De plus, les objectifs à optimiser dans ces systèmes complexes sont de plus en plus divers pour refléter les différents points de vue (utilisateurs/développeurs d'applications, administrateurs système ou opérateurs de plates-formes) ou mettre l'accent sur des nouvelles caractéristiques en complément des critères classiques comme la performance ou la qualité de service pour prendre en compte la consommation énergétique ou la fiabilité.

Le groupe Optimisation de Ressources et Grands Systèmes Distribués (dont il faut reconnaître que l'acronyme ORGSD n'est pas d'une grande clarté...) a été créé au sein du GDR RO par des chercheurs venant du domaine du parallélisme. À l'origine, le groupe était naturellement hébergé par le GDR ASR (Architecture, Systèmes, Réseaux) qui correspondait au domaine d'application. Il a été initié et dirigé par Yves Robert de l'ENS Lyon et Denis Trystram de Grenoble INP. Les thématiques étaient déjà à cette époque à l'interface entre les domaines du parallélisme, de l'algorithmique et de l'optimisation combinatoire. Nous avons souhaité nous rapprocher, puis finalement rejoindre la communauté de la recherche opérationnelle pour avoir un ancrage plus méthodologique. Actuellement, le groupe est uniquement rattaché au GDR RO.

Le groupe s'intéresse à la modélisation des caractéristiques des nouvelles plates-formes parallèles et distribuées (clusters de calcul à haute performance, data-center, clouds, internet des objets) et à la résolution de problèmes d'optimisation des ressources par des outils de la recherche opérationnelle (le terme « ressources » s'entend ici très largement, des processeurs de calcul et accélérateurs, aux éléments d'interconnexion en passant par l'énergie). Le groupe est actif et regroupe quelques chercheurs et doctorants dans une dizaine de sites français (LIG Grenoble, LaBRI Bordeaux, LIP ENS-Lyon, LIP6 Paris, LRI Orsay, Femto Besançon, IRIT

Toulouse, et ponctuellement les universités du Luxembourg, Tours et Le Havre). Il reste stable autour de son noyau historique en privilégiant le fait de faire vivre les liens existant entre ces sites et en les renforçant. Sa dynamique repose surtout sur les jeunes chercheurs et doctorants. Il est caractérisé par des réunions fréquentes entre les membres des différents laboratoires sur des sujets communs ciblés (Bordeaux-Grenoble, Lyon-Grenoble, Grenoble-LIP6, Bordeaux-Lyon, Besançon-Lyon, avec un graphe d'interactions très dense).

L'objectif principal du groupe ORGDS reste la diffusion rapide au sein de la communauté française de techniques et résultats marquants récents et des nouvelles orientations (en particulier au niveau des modèles) pour la gestion de ressources. Les thèmes importants du moment sont l'optimisation énergétique, l'impact de l'hétérogénéité, les algorithmes d'approximation garantis à faible coût et les liens entre l'apprentissage sur les données massives des workflows (ensembles de jobs soumis par des utilisateurs) et l'ordonnancement de ces jobs. Le groupe se réunit plusieurs fois par an.

Le soutien constant du GDR RO a toujours été important pour nous. Il a servi essentiellement à aider à l'organisation et à l'animation de journées de travail (exposés scientifiques suivis de discussions). Il a permis à notre petite communauté de conserver sa visibilité et de se restructurer en douceur au fil des années en suivant l'évolution dans les domaines d'application (calcul à haute performance, clouds, systèmes embarqués, contraintes énergétiques, etc.). Les retombées sont tout d'abord de produire des résultats visibles (théoriques mais aussi logiciels) via en particulier des publications dans les meilleures revues ou conférences. Une autre retombée importante a été d'être en mesure de proposer des projets communs entre les centres (ANR, projets européens ou avec des entreprises comme Atos-Bull).

Pour conclure, comme toute structure qui évolue, nous nous posons bien entendu la question de la suite. Le groupe existe depuis longtemps et doit évoluer. Il existe des groupes aux thématiques connexes (conception et analyse d'algorithmes) ciblés sur des domaines d'applications différents (comme les telecoms) avec lesquels il serait intéressant de collaborer, ou des groupes du GDR RO plus ouverts sur des sujets généraux comme l'approximation ou l'optimisation multi-objectif dans lesquels nous participons. Nous invitons toutes personnes intéressées à nous contacter et elles sont les bienvenues pour nous rejoindre. La prochaine réunion est prévue à Aussois la première semaine d'avril 2018.

Animateurs :

Pierre-François DUTOT, Univ. Grenoble Alpes - Inria LIG
Denis TRYSTRAM, Grenoble INP - Inria LIG

3 Présentation du groupe « Théorie et Applications des Métaheuristiques » (META)

Le groupe META a été créé en 2002 comme groupe de travail de la Roadef. Il est devenu en 2003 GT du GDR MACS (Modélisation, Analyse et Conduite des Systèmes dynamiques), puis a été intégré au GDR RO, en 2006.

Objectifs scientifiques. Nous nous intéressons à un groupe de méthodes, dénommées métaheuristiques, comprenant notamment la méthode du recuit simulé, les algorithmes évolutionnaires, la méthode de recherche tabou, les algorithmes de colonies de fourmis, l'optimisation par essaim particulaire, les algorithmes à estimation de distribution... apparues, à partir des années 1980, avec une ambition commune : résoudre au mieux les problèmes dits d'optimisation difficile. Les métaheuristiques se prêtent, en outre, à des extensions diverses, qui ont été proposées pour faire face à des particularités de l'optimisation. Pour illustrer la vitalité du domaine, on peut citer quelques-unes de ces extensions : modèles parallèles, optimisation multiobjectif, adaptation aux problèmes à variables continues, optimisation multimodale, méthodes hybrides et matheuristiques, optimisation dynamique et stochastique. Cette présentation ne doit pas éluder la principale difficulté à laquelle est confronté l'utilisateur, en présence d'un problème d'optimisation concret : celui du choix d'une méthode efficace, capable de produire une solution optimale – ou de qualité acceptable – au prix d'un temps de calcul raisonnable. Face à ce souci pragmatique, la théorie n'est pas encore d'un grand secours, car les théorèmes de convergence sont souvent inexistantes, ou applicables sous des hypothèses très restrictives. Les efforts de recherche en cours visent à remédier à cette situation, périlleuse à terme pour la crédibilité des métaheuristiques. Nous mentionnons en particulier trois enjeux importants de ces travaux. Le premier est l'exploitation systématique d'hybridations et de coopérations entre méthodes. Le second concerne les possibilités d'analyse systématique des métaheuristiques sur les plans de la convergence, la complexité, la robustesse et les garanties de qualité. Le troisième enjeu porte sur les tentatives d'unification du domaine.

Actions récentes. Depuis 2014, le GT META a organisé quatre conférences internationales : deux conférences Int. Conf. on Metaheuristics and Nature Inspired Computing META, en 2014 et 2016, à Marrakech, réunissant à chaque fois une centaine de participants ; et deux conférences Int. Conf. on Swarm Intelligence Based Optimization ICSIBO, en 2014 et 2016, à Mulhouse, dont les meilleures contributions sont rassemblées dans les volumes 8472 et 10103 de la collection LNCS de Springer. Sur le plan national, le GT participe régulièrement aux Journées Sciences et Techniques de la Production (STP) du GDR MACS, en organisant des sessions de recherche, en commun avec d'autres GT : notamment, les GT Giseh et Bermudes, en 2016, à Colmar ; le GT Bermudes, en 2015, à Nantes. Des sessions sont en outre organisées dans les principales conférences internationales et nationales du domaine, telles que EMO 2015, MCO 2015, LION 2015, ROADDEF 2015, GECCO 2014, IPTA 2014, MOSIM 2014, pour citer quelques exemples récents. Le groupe a une activité éditoriale importante. En particulier, il dirige la revue OpenScience Métaheuristiques (Iste), la col-

lection Metaheuristics, éditée chez Iste-Wiley (10 livres parus en 2015-2016), et il a organisé la publication de numéros spéciaux dans plusieurs revues internationales : Computers and Operations Research (2017), IEEE Computational Intelligence Magazine (2015), Computerized Medical Imaging and Graphics (2015), Engineering Applications of Artificial Intelligence (2014), IEEE Computational Intelligence Magazine (2014). Enfin, sur la période récente (2014-2017), le GT a coordonné l'édition chez Springer d'une dizaine de livres, portant sur des aspects théoriques (optimisation dynamique, optimisation à deux niveaux, techniques hybrides) ou sur des domaines applicatifs (biomédecine, systèmes de production, processus industriels, électronique).

Perspectives. Les utilisateurs s'orientent de plus en plus vers des méthodes de résolution hybrides, associant les métaheuristiques à d'autres méthodes d'optimisation ou à des méthodes d'évaluation de performance ; nous mentionnons en particulier les matheuristiques, nées d'une hybridation entre une métaheuristique et la programmation mathématique. Plus généralement, les hyperheuristiques cherchent à automatiser la conception de méthodes heuristiques.

Les efforts du GT s'articuleront principalement vers les jeunes chercheurs et les doctorants, via l'organisation de journées à thème, comprenant des présentations de chercheurs confirmés et des modules de formation destinés aux doctorants : ainsi, avec d'autres GT, nous réfléchissons à l'organisation en mai 2018 d'une école de printemps du GDR RO.

<http://www.isbs.fr/META>

Animateurs :

Laurent DEROUSSI, LIMOS, Univ. de Clermont-Ferrand
Patrick SIARRY, LiSSi, Université Paris-Est Créteil
El-Ghazali TALBI, CRISTAL, Université de Lille 1

4ème Journée ROADEF/AFIA

par **Meltem Ozturk**

Une centaine de chercheurs et industriels en intelligence artificielle (IA) et en recherche opérationnelle (RO) se sont retrouvés le 18 septembre 2017 à Paris Dauphine pour une journée d'interventions de spécialistes de ces deux domaines.

Si de nombreuses initiatives communes en IA et en RO sont menées en France et ailleurs, via des groupes de travail et des réseaux de recherche, les journées Roadef/Afia sont organisées conjointement par les deux associations françaises en RO/AD et IA pour favoriser l'interaction entre ces deux spécialités et l'échange entre les différents acteurs.

Cette quatrième journée a ainsi permis un échange sur la variété des techniques, les applications communes et les synergies envisageables, en se focalisant sur l'enrichissement mutuel et les nouvelles interactions entre RO, apprentissage et fouille de données. Cinq présentations ont animé cette journée :

- Axel Parmentier, CERMICS, ENPC : *Learning to decompose : supervised learning for column generation*
- Gérald Petitjean, Sarah Bugalho, Toufic Zaraket, Eurodecision : *30 ans d'intelligence dans les données*
- Yann Chevaleryre, LIPN, Université Paris 13 : *Apprentissage des modèles de score*
- Jin Kao-Hao, LERIA, Université d'Angers : *Apprentissage et fouille de données pour l'optimisation combinatoire : quelques cas d'études*
- Lakdar Sais, CRIL, Université d'Artois : *Towards cross-fertilization between Data Mining and Constraints*

Une captation des interventions a été réalisée : elles sont accessibles sur la [page Facebook de la Roadef](#).

EJCO 2017

par **Christelle Guéret, David Rivreau, André Rossi**

L'Université d'Angers a accueilli du 20 au 22 novembre 2017 une [école jeunes chercheurs en ordonnancement](#). Cet événement était organisé, sous l'égide du Groupe d'Ordonnement Théorique et Appliqué (GOThA) du GDR RO, par la SFR MathSTIC (regroupant entre autres les laboratoires LARIS et LERIA) de l'Université d'Angers. Elle était sponsorisée par, par ordre alphabétique : le GDR RO, le GOThA, le LARIS, le LERIA, LocalSolver, le RFI Atlanstic 2020 (région Pays de Loire), la Roadef, l'Université d'Angers, l'Université Bretagne Loire et l'Université Catholique de l'Ouest.

30 doctorants ou jeunes docteurs de 16 laboratoires français ont été sélectionnés pour assister aux 7 modules proposés. Ceux-ci se composaient de 12h de cours et de 6h de TP. Durant la première matinée, Philippe Chrétienne (LIP6, Université de Paris VI) a dressé un panorama des problèmes d'ordonnement. La journée s'est poursuivie par une présentation de Christian Artigues (LAAS, Université de Toulouse) portant sur les différentes méthodes exactes utilisées pour résoudre ces problèmes, puis par celle de Vincent T'Kindt (LI, Université François Rabelais de Tours) sur les problèmes d'ordonnement multi-objectif. La deuxième journée a été consacrée aux méthodes approchées avec un

cours de Stéphane Dauzère-Pérès (LIMOS, Ecole des Mines de Saint-Étienne - centre de Gardanne), suivi d'un TP de LocalSolver (solver d'optimisation mathématique) proposé par Frédéric Gardi (LocalSolver, Paris). Enfin, la troisième journée a démarré par une présentation des méthodes de programmation par contraintes par Pierre Lopez (LAAS, Université de Toulouse), complétée d'un TP de Choco, solver de programmation par contraintes, proposé par Éric Bourreau (LIRMM, Montpellier).

Les organisateurs remercient tous les orateurs pour leurs interventions de qualité, ainsi que la Roadef et les autres sponsors pour leur soutien.

Prix de mémoire de master en RO/AD

par **Meltem Ozturk**

La Roadef a reconduit cette année le prix de mémoire de master en RO/AD.

La lauréate de cette seconde édition est [Adèle Pass-Lanneau](#), étudiante du master MPRO-ENSTA ParisTech, pour son mémoire intitulé « *Solving the firefighter problem on trees* » réalisé au laboratoire CERMICS.

Nous tenons à sincèrement féliciter nos 6 finalistes pour la qualité de leur travail et de leur présentation. Nous sommes sûrs qu'une belle carrière les attend en RO/AD.

Voici nos finalistes par ordre alphabétique :

- Adèle Pass-Lanneau
- Antoine Perraudat
- Esteban Salgado
- Gaël Guillot
- Mathieu Mari
- Nadjat Bourdache

Ils viendront présenter leurs travaux dans une session spéciale de la conférence Roadef le vendredi 23 février 2018 à Lorient.

ROADEF 2018 à Lorient

par **Marc Sevaux et André Rossi**



Rendez-vous pour les 20 ans de la Roadef

Chaque année, la communauté de la recherche opérationnelle et de l'aide à la décision prend plaisir à se retrouver lors de notre congrès national, et la 19^{ème} édition de la Roadef ne dérogera pas à cette règle. Cette conférence est organisée par le laboratoire Lab-STICC et l'Université Bretagne Sud, mais des partenaires de toute l'Université Bretagne Loire viennent renforcer le comité d'organisation.

Le congrès se déroulera du 21 au 23 février 2018 à Lorient. Nous avons la chance, cette année, de nous retrouver en plein centre-ville au Palais des Congrès de la ville de Lorient. Cela vous permettra de découvrir une ville atypique, reconstruite totalement après la seconde guerre mondiale, et qui a obtenu le label « ville d'art et d'histoire » en 2006. Lorient est d'ailleurs l'une des rares villes reconstruites à obtenir ce précieux label. Le palais des congrès est situé sur le port de plaisance du centre-ville et toutes les activités de la conférence se feront à pied. Pour ceux d'entre vous qui le souhaitent, à quelques encablures, vous trouverez le musée de la compagnie des Indes, la cité de la voile Éric Tabarly et tant d'autres sites d'exception. N'hésitez pas à profiter avant ou après le congrès de toutes ces merveilles.

Comme chaque année, le congrès Roadef 2018 intéresse tous les thèmes de la recherche opérationnelle et de l'aide à la décision, à la fois sur les aspects méthodologiques et sur les applications. Nous espérons attirer de plus en plus d'industriels à nos côtés et plus particulièrement des locaux. Nous serons aussi honorés de la présence de deux conférenciers plénières : Cristina Bazgan (Université Paris Dauphine) et Kenneth Sørensen (Université d'Anvers).

Cette année, nous profiterons de la conférence pour fêter les 20 ans de la Roadef. Alors venez nombreux. Toutes les informations sont sur le site de la conférence :

<http://roadef2018.labsticc.fr>

ROADEF/EURO Challenge 2018

Lancement de l'édition 2018 à Lorient !

Le lancement du challenge ROADEF/EURO 2018 est imminent. Le porteur industriel sera dévoilé lors du prochain congrès Roadef à Lorient et pour cette édition le sujet y sera également présenté. Après la publication du sujet au cours

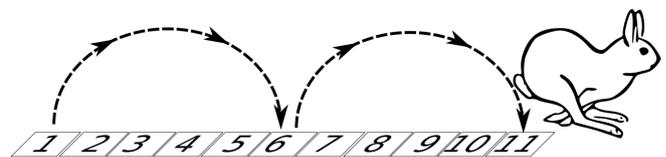
du congrès, une mise à disposition d'un premier ensemble d'instances et d'un vérificateur de solutions sera en ligne sur le site dédié à la compétition. Surveillez le site du challenge pour disposer des informations et actualités sur la compétition :

<http://challenge.roadef.org>

L'équipe Challenge : Éric Bourreau (LIRMM/UM), Safia Kedad-Sidhoum (CEDRIC/CNAM), Éric Pinson (LARIS/IMA) et David Savourey (HEUDIASYC/UTC).

L'énigme de l'hiver 2018 : "Lapin"

par **Daniel Porumbel (CNAM)**

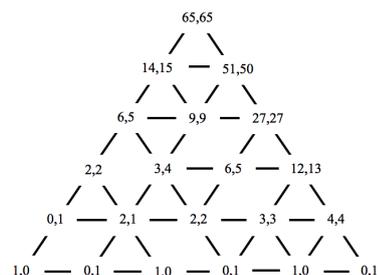


Un lapin saute sur les positions entières (cases) numérotées 1, 2, 3, 4, etc. La case de départ A_0 n'est pas connue, mais elle appartient à l'intervalle $[1, 10000]$. Au fur et à mesure, le lapin saute sur les positions $A_0 \rightarrow A_1 \rightarrow A_2 \dots$ selon l'algorithme suivant : si A_i est un carré parfait $A_i = x^2 > 1$ supérieur à 1, sauter à $A_{i+1} = x$, sinon sauter à $A_{i+1} = A_i + 5$. On a la possibilité de placer des pièges sur différentes cases. Si le lapin saute sur un piège, il est capturé. S'il arrive à dépasser la case 10500 sans être capturé, il s'échappe et il n'est plus possible de le capturer. S'il fait un cycle périodique sans tomber dans un piège, il est impossible de le capturer. Déterminer le nombre minimum de pièges qu'on doit placer sur des cases dans l'intervalle $[1, 10500]$ pour être certain-e de capturer le lapin.

Note : Cette énigme est adaptée du premier problème posé à l'Olympiade Internationale de Mathématiques 2017, résolu par environ 500 des 600 participants.

Solution de l'énigme du numéro 38 : "Parcours" (J.Y. Lucas)

Réponse : 65. Le nombre de chemins aboutissant à un nœud N est la somme des nombres de chemins aboutissant aux 3 nœuds (s'ils existent et s'ils sont reliés à N) situés à gauche, au-dessous à gauche et au-dessous à droite de N . Par récurrence et en distinguant les chemins ayant un nombre p pair ou i impair d'arêtes, on obtient pour chaque nœud un couple (p, i) :



Les PROS de la RO 2018

La RoadeF organise « les PROS de la RO 2018 », la deuxième édition du concours du meilleur projet de RO/AD en entreprise.

Le projet vainqueur du concours sera désigné par vote des participants lors d'une soirée festive à l'Université Paris Dauphine le **vendredi 6 Avril 2018**. Cette soirée sera une occasion de rassembler les membres de la communauté RO/AD intéressés par les applications autour d'un cocktail, et de promouvoir les succès concrets de la RO auprès de managers, industriels et décideurs d'entreprise. Nous aurons également le plaisir de retrouver notre collègue Philippe Baptiste, directeur de cabinet de la ministre de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation.

Le dépôt des candidatures est maintenant clos et les finalistes du concours seront annoncés lors de la conférence ROADEF 2018 à Lorient. Le jury de sélection des finalistes est, cette année, composé de :

- Rodrigo Acuna Agost (Amadeus, gagnant du prix 2015)
- Laurent Alfandari (ESSEC)
- Sandrine Charousset (EDF)
- Dominique de Werra (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse)
- Guillaume Erbs (ENGIE)
- Caroline Prodhon (Université de Technologie de Troyes)
- Francis Sourd (Sun'R Smart Energy)

Les informations sur le concours et sur la soirée du vendredi 6 avril sont disponibles sur la page de l'événement :

<http://www.roadef.org/lesprosdelarof/>

Journées Franciliennes de Recherche Opérationnelle

La trente-huitième journée thématique des « Journées Franciliennes de Recherche Opérationnelle » (JFRO) se tiendra, dans le cadre d'une collaboration entre les sociétés SMAI-MODE et ROADEF, le **vendredi 8 juin 2018** sur le thème commun « Optimisation dans les réseaux ».

Pour cette édition, les intervenants seront :

- Sandrine Charousset (EDF, Responsable PGMO)
- Merouane Debbah (Huawei)
- Claire Mathieu (CNRS, ENS Paris)
- Frédéric Meunier (École Nationale des Ponts et Chaussées, CERMICS)
- Panayotis Mertikopoulos (CNRS, Inria/LIG)
- Kevin Scaman (Microsoft Research – Inria Joint Center)

Cette journée se déroulera à l'Institut Henri Poincaré : 11 rue Pierre et Marie Curie, Paris 75005 France.

Attention, il est nécessaire de s'inscrire pour des contraintes d'organisation :

<http://www.lamsade.dauphine.fr/~jfro/ProchaineJFRO/>



Retrouvez toute l'actualité de la ROADEF et de ses partenaires sur Facebook, Twitter et LinkedIn.



ROADEF : LE BULLETIN

Bulletin de la société française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision
association de loi 1901

Procédure technique de soumission : Pour soumettre un article pour parution dans le bulletin, contacter Anna Robert (vpresident1@roadef.org).

Comité de rédaction : S. Demassez, S. Elloumi, A. Jeanjean, N. Jozefowicz, A. Moukrim, M. Ozturk, A. Robert.

Production du Bulletin : S. Demassez et A. Robert.

Ce numéro a été tiré à 550 exemplaires. Les bulletins sont disponibles sur le site de la ROADEF.